



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
TALLINN UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



Eesti tingimustesse sobivate biogaasi metaaniks puhastamise tehnoloogiate rakendatavus ning keskkonna ja majanduslikud mõjud

Laiendatud kokkuvõte

Väljaandmist toetanud:



KESKKONNAINVESTEERINGUTE
KESKUS

Eesti tingimustesse sobivate biogaasi metaaniks puhastamise tehnoloogiate rakendatavus ning keskkonna ja majanduslikud mõjud

Laiendatud kokkuvõte

Sisukord

Sissejuhatus	3
1. Ülevaate koostamine maailmas kasutatavatest ja uuringu faasis olevatest biogaasi puhastamise tehnoloogiatest ja kasutatavatest seadmetest.	5
Biogaasi puhastamine autokütuseks	5
Nõuded puhastatud biogaasile	5
Biogaasi biometaaniks puhastamise eesmärk	5
Biogaasi puhastusmeetodid	6
Puhastustehnoloogiate keskkonnamõjud	7
Puhastusmeetodite ökonoomilisuse võrdlus	7
Kokkuvõte	8
2. Tehnoloogiavaliku maatriksi koostamine ja Eestile tehnilis-majanduslikult ja keskkonnakaitse seisukohalt sobivama(te) puhastustehnoloogia(te) valik	9
Biogaasi puhastustehnoloogiate võrdlus	9
Eestis kasutusele võetavad puhastustehnoloogiad	9
3. Biogaasi ressursi hindamine piirkondlikult ja üle Eesti	11
Senised biogaasi koguste hinnangud Eestis	11
Biogaasi ressursside piirkondlik hinnang	11
Metoodilised aspektid	11
Piirkondade valimine ja farmide kaardistamine	14
Raplamaa biogaasigrupp	14
Viljandimaa biogaasigrupp	15
Rohtse biomassi olemasolu loomakasvatusfarmide lähikonnas	15
Potentsiaalsete biogaasijaamade asukohad maagaasimagistraalide suhtes	16
4. Biometaaniki kui mootorikütuse kasutamiseks vajalike tehniliste tingimuste väljatöötamine	18
Üldist	18
Biometaaniki standardid	20
5. Juhtumi analüüsid	22
Sissejuhatavad selgitused	22
Majandusarvutuste taustaandmed ja eeldused	22
Juhtum 1 -	
Biometaaniki tarne tootmise/vääristamise koha lähedal asuvas tanklas	23
Juhtum 2 -	
Biometaaniki tarnimine maagaasivõrgu kaudu	25
Juhtumianalüüside kokkuvõtte	26
Kirjandus	xx

Sissejuhatus

Eestis töötab ja on lähiajal käiku minemas kokku ligi 15 biogaasijaama. Saadava biogaasiga käitatakse peamiselt soojust ja elektri koostootmisseadmeid. Koostootmisjaamade rajamist piirab soojuste tarbimise puudumine, mida saaks olulisel määral korvata biogaasi puhastamisega biometaaniks ja saadava biometaani kasutamisega kas transpordikütusena või suunamisega maagaasivõrku. Et Eestil on kohustus 2020. aastaks kasutada transpordisektoris 10% ulatuses taastuvaid energiaallikaid, siis võiks biometaaniks puhastatud biogaas seda kohustust olulisel määral aidata täita. Eestis puudub aga praegu piisav teadmine maailmas kasutatavatest biogaasi puhastamise tehnoloogiatest, kasutatavatest seadmetest, nende hindadest ja tootmise omahindadest. Ühtlasi puuduvad gaasiettevõtetele ja -tootjatele vajalikud biometaani kui mootorikütuse kasutamise tehnilised tingimused. Kuigi biogaasi ressursi Eestis on hinnatud, on neid hinnanguid oma üldisuse tõttu praktilisteks vajadusteks sageli raske kasutada. Biogaasi ressursside kaardistamine peaks olema tunduvalt täpsem, arvestama vaid reaalselt kättesaadavaid ressursse ning biogaasi (biometaani) potentsiaalsete kasutusala ja -kohtadega. Senistes hinnangutes on valdava osa biogaasi toormest moodustanud rohtne biomass kas kasutamata maadelt või 5% põllumaalt (Oja, 2010; Regionaalne biogaasistrateegia... 2012). Reaalselt kättesaadavad biogaasi ressursid on aga biolagunevad jäätmed suurfarmidest, reoveepuhastusjaamadest, prügilatest, tööstuslikud biojätmed jms ning rohtne biomass vaid looduslikelt, poollooduslikelt rohumaadelt ja märgaladelt.

Viimastel aastatel on Eestis EL rahalise toega teostatud üle kümne biogaasi/biometaani alase projekti, nt Biogas-highway, BioGasBus, From Waste to Traffic Fuel, Spin, Baltic Manure, Biogas and Networks (BaN, BioEnArea alamprojekt) jpt. Selle tulemusena on praegu olemas valdkonda esindavad uurimis-arendustöö tegijad (valdkondlik esindusorganisatsioon Eesti Biogaasi Assotsiatsioon), aktiivne osalemine rahvusvahelistes projektides, hea infovahetus ja info kättesaadavus ning ettevõtete ja ülikoolide koostöö. Projektide käigus on põgusalt käsitletud biogaasi saamise tehnoloogiaid, võimalike jaamade asukohti, on tehtud tasuvusarvutusi, kuid seda eelkõige soojuste- ja elektri koostootmist silmas pidades. Palju vähemal määral käsitletuks on jäänud biogaasi biometaaniks puhastamise tehnoloogiad, samuti keskkonnamõjud ja majanduslikud arvutused tanklate võimaliku paiknemise ja/või biometaani gaasivõrku suunamise kohta.

Käesolev SA Keskkonnainvesteeringute Keskus poolt

rahastatav ja TTÜ soojustehnika instituudi poolt tehtud uurimis-arendustöö „Eesti tingimustesse sobivate biogaasi metaaniks puhastamise tehnoloogiate rakendatavus ning keskkonna ja majanduslikud mõjud“ keskendub peamiselt biometaani teemale.

Töö esimeses peatükis kirjeldatakse nii kasutusel olevaid kui ka arendusjärgus olevaid biogaasi puhastustehnoloogiasid nende tõhusust ning tuuakse välja eeliseid ja puudusi. Paljude kirjandusallikate alusel on peatükki koondatud andmed tabelite ja graafikutena kasutatavate puhastustehnoloogiate ja -seadmete tehniliste parameetrite, käiduefektiivsuse ja puhastusastme kohta. Välja on toodud tehnoloogiate ja seadmete keskkonnamõjud, esitatud seadmete ja kasutustehnoloogiate käidu maksumused, ühikhinnad.

Teises peatükis on peamiselt esimese peatüki teabe alusel valitud välja eeldatavalt Eestis kasutamiseks kaks sobivat biogaasi biometaaniks puhastamise tehnoloogiat, milledeks leiti olevat füüsilise absorptsiooni ehk konkreetsemalt skraberis veega puhastamise ehk lühidalt vesipesu tehnoloogia ja teiseks maailmas kiiresti arenev ja kasutust leidev membraanpuhastuse tehnoloogia.

Kolmandas peatükis antakse esmalt ülevaade viimastest uuringutest biogaasi teoreetilise ja praktilise potentsiaali kohta, hiljem on keskendutud konkreetsete piirkondade farmigruppide biogaasi potentsiaali väljaselgitamisele. Koostatud on kaardid Eesti suuremate loomapidamisfarmide ja sigalate kohta, samas on ka kaardid piirkondlike (Raplamaal, Viljandimaal ja Jõgevamaal) kuid paljulubavate tuleviku biogaasijaamade asukohtadest. Eraldi kaardile on kantud farmide gruppide juurde eeldatavalt rajatavate biogaasijaamade asukohad paralleelselt maagaasi magistraalvõrgustikega ja valitud farmigruppide läheduses asuv maagaasivõrgustik. Nende alusel saab hinnata, kus oleks sobivam ühendada biogaasijaam maagaasivõrguga või kuhu rajada sõltumatu biometaani tankla.

Neljandas peatükis on koostatud teiste riikide biometaani kasutamist puudutavatest dokumentidest. Tuuakse välja ASi Eesti Gaas (AS Gaasivõrgud) poolsed nõudmised ja tingimused biometaani maagaasivõrku sisestamise lubamiseks ning kohalike omavalitsuste ja transpordiettevõtete poolsed nõudmised ja tingimused biometaani kasutusele võtmiseks transpordivahendite kütusena. Eelnevalt kirjeldatud ja sidusrühmadelt saadud info alusel on koostatud biometaani kui mootorikütuse kasutamise tehnilised tingimused Eestis.

Viiendas peatükis on koostatud nn juhtumi analüüsid, milleks valiti välja kaks potentsiaalset piirkondlikku farmigruppi, milledest saadava toorme baasil saaks toota biogaasi ja puhastada seda biometaaniks tehnilis-majanduslikult mõistlikus mastaabis. Valiti välja kaks piirkonda üks Raplamaal ja teine Viljandimaal, kus oli ka asjast huvitatud põllumajandustootjaid. Arvutused tehti juhtumile, kus biometaan puhastatakse kasutades vesipesu tehnoloogiat ja juhitakse seejärel maagaasivõrku ja juhtumile, kus kasutati membraanpuhastustehnoloogiat ja biometaani turustatakse kohalikus tanklas. Kalkuleeriti mootorikütuseks sobiva biometaani tootmise omahind ja võimalik tarbijahind. Hinnast lähtuvalt peaks selguma, kas ja mis mahus tuleks biometaani tootmist riiklikult ergutada ja toetada.

Projekti käigus korraldati tutvustavaid seminare, anti teemast põhjalik ülevaade TTÜ magistritaseme üliõpilastele loengute käigus ja koostati töö laiendatud kokkuvõte, mis ilmus eraldi brošüürina.

Töö valmimises osalesid TTÜ poolt projektijuhina Ülo Kask, täitjatena Sulev Soosaar, Livia Kask, Karin Pachel. Töösse oli kaasatud Tiit Kallaste SEI Tallinna Keskusest, Anne Menert Tartu Ülikoolist ja TTÜ magistritaseme üliõpilased Merle Saaliste ja Villem Vohu.

Projekti meeskond tänab paljusid ministeeriumide ja ettevõtete spetsialiste eriti Siim Meeliste't (MKM) ja Roman Bogdanovitš'it (AS Gaasivõrgud), kes andsid oma panuse viljakate koosolekute korraldamise ja nendel osalemise ning neilt saadud informatsioonis eest.

1. Ülevaate koostamine maailmas kasutatavatest ja uuringu faasis olevatest biogaasi puhastamise tehnoloogiatest ja kasutatavatest seadmetest

Biogaasi puhastamine autokütuseks

Biogaasi on võimalik kasutada mootorikütusena nn gaasautodes või tavaautodes, millele on lisatud täiendavalt gaasiseadmestik ja kütusemahuti. Selleks tuleb ehitada vastavad tanklad. Kui on tegemist ainult gaaskütusel sõitva autoga, siis peab arvestama sellega, et sõidukaugus on piiratud (rajada tuleb tanklakett). Eestis on kaks maagaasi tanklat, kus tangitakse sõiduautosid ja busse.

Siiski on biogaasi laialdane kasutamine mootorikütusena veel uurimis- ja arengustaadiumis, kuid mitmetes riikides kasutusel. Samuti on vaja biogaasi eelnevalt puhastada (eemaldada nt väävelvesinik - H_2S , CO_2 jm kahjulikud komponendid) ning saavutada maksimaalselt suur metaani sisaldus (95-98%). Näiteks Rootsis ja Šveitsis kasutatakse biogaasi mootorikütusena ja samuti on Rootsis kehtestatud biogaasi koostisele nõuded, millised tuleb täita, et biogaas oleks autokütusena kasutuskõlbulik. Soomes on näiteks olemas biogaasi tankla Kalmari farmis Jyväskyläst 12 km kaugusel, mis varustab surugaasiga aastaringelt 7-8 sõiduautot. Läbisõit ühe paagitäiega (20-26 kg metaani) ulatub kuni 400-450 kilomeetrini. Autod (mootorsõidukid) töötavad nii bensiiniga kui biogaasiga vastavalt soovile ja vajadusele ning ühelt kütuselt teisele üleminek toimub nupulevajutamisega.

Nõuded puhastatud biogaasile

Biogaasi puhastamine ja vääristamine biometaaniks ning selle sisestamine maagaasivõrku suurendaks biogaasi turupotentsiaali oluliselt, sest tänu sellele tekiks biogaasi (biometaanina) kasutamise võimalus sisuliselt kõigil gaasivõrku ühendatud tarbijatel. Biometaani andmine maagaasivõrku on viimasel ajal eriti suurenenud Saksamaal, Hollandis ja Rootsis. Võrku andmise eelduseks on, et biogaasi tootja täidab gaasi kvaliteedi ja omaduste kohta kehtestatud nõudeid. Mitme riigi praktika on näidanud, et põhiline on kütteväärtuse ja Wobbe'i arvu tagamine, kuid täita tuleb kõiki maagaasile kehtestatud nõudeid. Kuna ka maagaasi kvaliteedi kohta ei ole veel kehtestatud ühtset rahvusvahelist standardit, siis lähtutakse riiklikest standarditest. Maagaasivõrku antava gaasi kohta kehtestatud Austria, Hollandi, Prantsusmaa, Rootsi, Saksamaa ja Šveitsi riiklike standardite võrdlus näitab, et põhiliste parameetrite (süsinikdioksiidi, vesiniksulfiidi ja veesisaldus), Wobbe'i arvu, (kütteväärtuse) piirväärtuste osas on nõudmised üsna sarnased. Võrku andmisel tuleb biometaan ka odoreerida, vajadusel lisatakse propaani.

Teise suurema võimalusena saab biogaasi kasutada

otseselt mootorikütusena. Surugaasi kasutatakse Euroopas ligikaudu 1,85 mln sõidukis (sh 1,1 mln sõidukit neist asuvad EL28-s). Surugaasiga sõidavad autod peamiselt Itaalias, Saksamaal, Rootsis, Austrias ja Soomesaga ka Šveitsis ja Ukrainas. Mootorikütusena kasutamise võimaluse võib kombineerida võrku andmisega või kasutada maagaasivõrgust sõltumatut tarnimist. Biometaani tarbitakse sellisel juhul sõidukites, mis saavad kütusena kasutada kas veeldatud (LNG) või surve alla viidud (CNG) maagaasi. Vastavalt kasutatakse siis kas surubiometaani (CBM, ka CBG) või veeldatud biometaani (LBM).

Biogaasi biometaaniks puhastamise eesmärk

Võimalused ja ELi tugi (ka Eesti Majandus- ja Kommunikatsiooniministeerium on ette näinud perioodiks 2014–2012 summasid biometaani kasutusele võtmise toetamiseks) biometaani kasutamiseks mootorikütusena on olemas. Järgnevalt tutvustame lühidalt biogaasi puhastustehnoloogiaid, kuid esmalt on vaja teada, mida peame biogaasist eemaldama, et saaks kvaliteetse mootorikütuse.

Biogaasi kääritites toimuvate biokeemiliste protsesside tulemusel on tekkivas biogaasis (gaaside segu) mahuliselt umbes 2/3 metaani (CH_4) ja 1/3 süsihappegaasi (CO_2), veeauru ning teisi gaasilisi komponente, millest võiks nimetada väävelvesinikku (H_2S) kui mootoritele väga korrodeerivalt mõjuvat komponenti. Metaani hulk võib olla vahemikus 50–65% ja sõltub peamiselt sellest, kui palju on kääritatavas substraadis rasvasid, proteiine ja süsivesikuid 1/1.

Süsihappegaas ei ole küll mürgine ega põhjusta korrosiooni, kuid on ballastaine ja alandab biogaasi kütteväärtust. **Veeaur kondenseerudes veeks** võib koguneda torustikesse, põhjustades seal korrosiooni, moodustab koos teiste gaasis leiduvate ainetega happeid, mis on kahjulikud mootoritele, võib külmuda jne. Üks ebasoovitavamaid ühendeid on **väävelvesinik**, mis põhjustab korrosiooni, on teatud kontsentratsioonides mürgine, moodustab põlemise käigus sulfaate ja sulfiide, mis on veelgi mürgisemad ja põhjustavad samuti korrosiooni. Väävelvesiniku sisaldust biogaasis saab oluliselt vähendada juba käärimise käigus, kas hapnikuga, mis võib aga anda ebaõigel doseerimisel ohtliku gaasisegu, või lisades substraati raudkloriidi või muud rauasoola või -oksiidi, mis reageerivad väävelvesinikuga ja saaduseks on raudsulfaat või puhas väävel tahkel kujul.

Peale eelnimetatud kolme, mahult suurima ebasoovitavate ainete hulga tuleb biogaasist eemaldada ka seal

vähemal määral sisalduvad **tolm, vaht ja muu tahke osis** (peamiselt prügilagaasis), **vesinikkarbonaadid**, mis moodustavad soojuse koosmõjul korrodeeriva keskkonna, **ammoniaak** (NH_3 , mis koos veega moodustab korrodeeriva keskkonna), **hapnik või õhk**, mis vähendab kütteväärtust ja võib moodustada koos metaaniga plahvatusohtliku segu, **lämmastik** (vähendab kütteväärtust), **vingugaas** (CO vähendab segu kütteväärtust, see on küll põlevgaas, aga madalama kütteväärtusega kui metaan), **siloksaanid** (räniorgaanilised ühendid (CH_3)₃ $\text{SiO}_{0,5}$, (CH_3)₂ SiO , (CH_3) $\text{SiO}_{1,5}$), mis sadestuvad kristallilisel kujul mootori osadele ja põhjustavad oma abrasiivsest omadustest tingituna kulumist, **halogeenühendid** (kloori- ja fluoriühendid HCl , HF).

Biogaasi puhastamise eesmärk on saavutada gaasise-gus metaanisaldus vähemalt 98% (mõnes riigis ka alates 80–85% CH_4). See, millise puhtusastmeni on vaja biogaasi puhastada, sõltub riigi maagaasivõrgus kasutatava gaasi metaanisaldusest. Venemaalt saabuvas gaasis on metaanisaldus suur, 98% ringis, kuid nt Hollandis piisab, kui puhastada biogaasi metaanisalduseni 81%, et seda saaks riigi gaasivõrku suunata.

Biogaasi puhastamine on defineeritud kui CO_2 (ballastaine) eraldamine biogaasist või prügilagaasist. Puhastamise järel kasvab saadava gaasi energiatihedus (ka kütteväärtus), sest metaanisaldus suureneb kuni 98 protsendini.

Maailmas on kasutusel hulk puhastusmeetodeid, millest osa on nn kaubanduslikud ja osa arendusfaasis (pilootjaamad).

Biogaasi puhastusmeetodid

Tööstuslikult toodetavates puhastites kasutatakse mitmeid erinevaid tehnoloogiaid (Joonis 1.1), mida kirjeldatakse peatüki järgnevas alapunktides.

Kõikuvrõhuadsorber (PSA) - adsorbendiks on aktiivsüsi või silikageel, alumiiniumoksiid või muu vaja-

like omadustega aine. Süsinikdioksiid adsorbeerub rõhu all ja gaasi jääb alles metaan. Seda tehnoloogiat kasutades peab enne eraldama vee ja väävelvesiniku, sest vesi rikub adsorbendi struktuuri ja väävelvesinik ei eraldu regenereerimise käigus. Regenereerimiseks kasutatakse rõhu alandamist, mille käigus eraldubki süsinikdioksiid.

Füüsikaline absorptsioon - see tehnoloogia kasutab ära erinevate gaaside lahustuvuse sõltuvuse vee temperatuurist, eriti jahedas vees lahustub süsihappegaas hästi. Et süsihappegaas lahustub vees hästi ja metaan mitte siis on saadusteks süsihappegaasirikas vesi ja metaan. Samas lahustuvad vees ka väävliit sisaldavad ained.

Protsess on lihtne ja sobib eriti reoveepuhastusjaamadele, kus on palju vett ja selle korduvkasutus ei ole vajalik. Protsessiga on võimalik saavutada 98%-line metaani sisaldus ja on enamlevinud tehnoloogia. Seda kasutavad enamik Rootsi reoveepuhastusjaamasid.

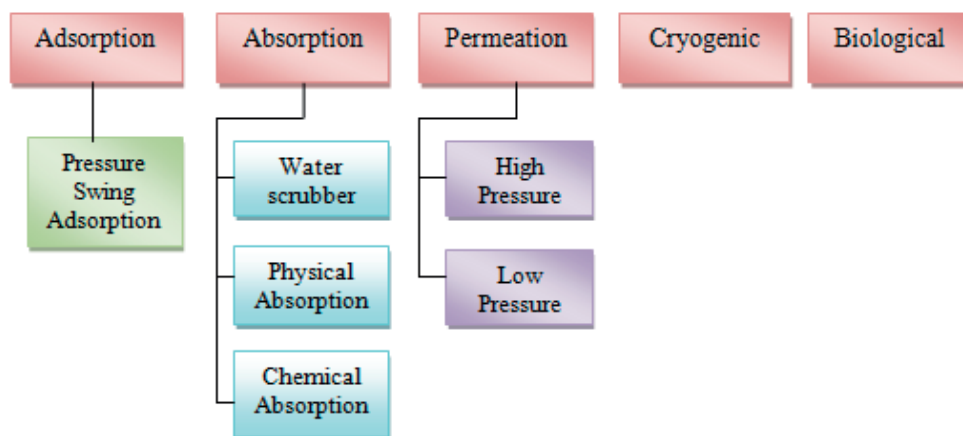
Orgaanilis- füüsikaline puhastus - sama põhimõte, mis eelmisel, kuid absorbeeriv aine pole vesi vaid polüetüleenglükool. Eemaldab gaasist vee, väävelvesiniku, hapniku ja lämmastiku.

Keemiline puhastus - süsinikdioksiid mitte ainult ei absorbeeru lahusesse, vaid reageerib lahuses olevate amiinidega. Regeneratsioon toimub lahuse soojendamise teel. Kui gaasis leidub ka väävelvesinikku, kulub regenereerimiseks rohkem soojust.

Membraanpuhastus (põhineb materjalide metaani läbilaskvusel – ingl k *permeation*) - kasutab ära gaasimolekulide erinevaid suurusid. Metaani kaotused suhteliselt suured. Uuemad membraani tehnoloogiad on suutnud kaotusi mõnevõrra vähendada.

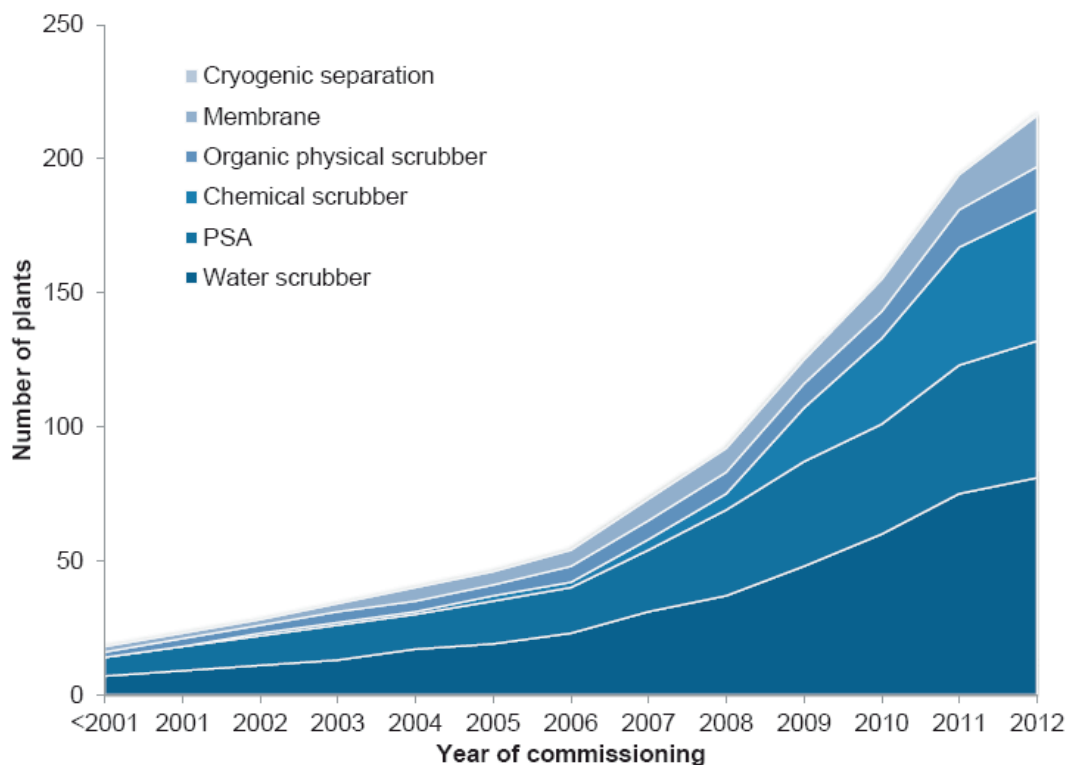
Peale eelnimetatute on arendamisel veel mitmed biogaas puhastustehnoloogiad nagu bioloogiline rikastamine, rikastamine kääritusprotsessis, puhastamine ensüümidega (nn ökoloogiline kops), kõrgrõhupuhastus käärimisprotsessis.

Erinevaid puhastustehnoloogiaid kasutavad biogaasijaamade arv 2012. aasta seisuga esitatakse joonisel 1.2.



Joonis 1.1. Võimalikud biogaasi puhastustehnoloogiad

(K. E. H. Warren. A techno-economic comparison of biogas upgrading technologies in Europe. Master thesis. University of Jyväskylä. 2012. pp 62)



Joonis 1.2. Eri tehnoloogiaid kasutavad biogaasi puhastusjaamad maailmas (ainult käesoleval ajal töötavad)

Allikas: IEA Task 3: F. Bauer, Chr. Hulteberg, T. Persson, D. Tamm. *Biogas upgrading – Review of commercial Technologies (Biogassupgradering – Granskning av kommersiella tekniker)*. SGC Rapport 2013:270.

Puhastustehnoloogiate keskkonnamõjud

Puhastustehnoloogiate kasutamise ja vastavate seadmetike käitamise keskkonnamõjudena tuleks käsitleda metaani lekkimist ja lõhnu, kuna need võivad mõjutada protsessi ja olla ohuks ümbritsevale loodusele. Metaani leke on oluline, et vältida seda mistahes suurusega puhastusjaamas, sest metaani kui kasvuhoonegaasi maalt tagasiikiirgava soojuse neelamise võime (mõju kliimamuutustele) on 25 korda (100 aasta perspektiivis) suurem kui süsinikdioksiidil. Kõik piirkonnad, mis toodavad gaasi, gaasihoidlad ja digestaadi hoidlad tuleks tihendada protsesside toimumise ajaks.

Mõnede biogaasi jaamade jaoks on lõhna probleemid teiseks oluliseks teemaks. Lõhnad levivad jäätmete saabumisel, segamisel ja nende edastamisel käärititesse. Lõhna püüdmiseks kasutatakse mitmesuguseid filtreid (nt biofiltreid, kus kasutatakse hakitud puitu).

Puhastustehnoloogiatel esineb kas üks (esmane) või kaks (teisene) jäätmevoogu. Kõikuvrõhuadsorberiga tehnoloogial ja membraanpuhastusel on ainult üks jäätmevoogu. Keemiline adsorptsioon ja vesipesu omavad kahte jäätmevoogu. Jäätmete (jäädike) hulka on samuti oluline arvesse võtta. Keemilise adsorptsiooni jäägid on kasutatud kemikaalid ja süsihappegaas. Mõned jäätmevoode vajavad täiendavat töötlemist enne, kui neid saab protses-

sist välja juhtida, näiteks krüogeensuskastuse jäätmevoode vajavad edasist töötlemist (de Hullu et al, 2009). <http://students.chem.tue.nl/ifp24/BiogasPublic.pdf>. Accessed 03.03.2012.

Puhastusmeetodite ökonoomilisuse võrdlus

Allikas: www.dmt-et.nl

Väikesemahulistest puhastusjaamadest on kõige ökonoomsem viis puhastatud biogaasi (biometaani) kasutamiseks tarbida seda kohapeal autokütuseks. Minimaalse tootmismahu juures on see kasutusviis majanduslikult elujõuline (nt Kalmari farm Soomes, Laukkas, Jyväskylä lähedal). Üks Nm³ puhastatud biogaasi võrdub energaetiliselt umbes ühe liitri diislikütusega ja on seetõttu väärt umbes 0,65 € (maagaasi hind tanklasse) kuni 1,20 € (diislikütuse hind). Kasum ühe Nm³ puhastatud biogaasi (biometaani) kohta peaks olema umbes 0,35 € kuni 0,45 € projekti 5 aastase tasuvusaja juures. See tähendab, et o biogaasi puhastamise omahind peaks olema väiksem kui 0,20 € kuni 0,30 €/Nm³.

Paljud ettevõtted pakuvad puhastusjaamade süsteeme, mis on sobiv ja optimeeritud suuremahuliseks biogaasi puhastamiseks. Kõrgete investeerimiskulude tõttu ja praeguse toetuste ja gaasihindade juures oleks vaja toor- gaasi kulu umbes 500-1000 Nm³/h et saada puhastusjaam

majanduslikult elujõuliseks. Kuid enamik biogaasi toodetakse põllumajandusettevõtetes ja reoveepuhastites, kus biogaasi kulu on palju väiksem. See toob kaasa potentsiaalse puhastatava biogaasi kasutamata mootorikütusena kasutamata jätmise. Seetõttu on firma DMT töötanud välja süsteemi, mis võimaldab puhastada biogaasi väikesemahuliselt ja säästlikult (Lems & Dirkse, 2010).

Joonisel 1.3 esitatakse sõltuvused biogaasi puhastusjaamade eriinvesteeringu ja puhastamise maksumuse kohta sõltuvana jaama tootlikkusest (puhastusvõimsusest). Näeme, et hind ja sellest lähtuv tasuvusaeg lähevad liiga suureks, et nende paigaldamine oleks meie maal veel majanduslikult mõttekas.

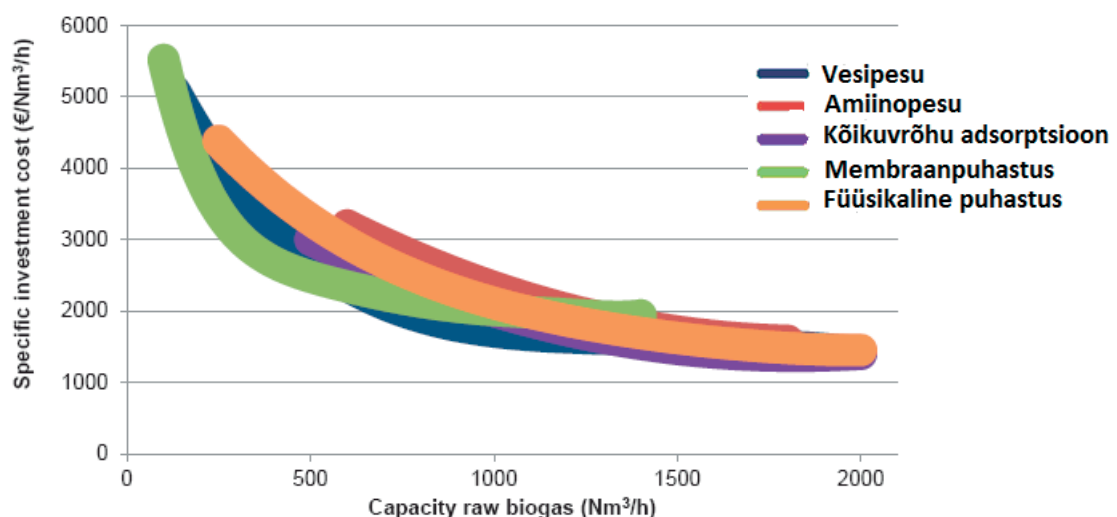
Tabelis 1.1 tuuakse ära erinevate meetoditega puhastatud biometaani rahaline kulu nii eurodes kui USA dollarites ühe normaalkuupmeetri biogaasi kohta. Odavamad on membraanpuhastus ja vesipesu.

Allikas: Biomethane for Transportation: Opportunities for Washington State. Copyright © 2011 Western Washington Clean Cities Coalition. WSUEEP11-052 Rev 1, January 2013.

Kokkuvõte

Biogaasi tootmine on ilmselt parim viis muuta algselt kasutatud ja koormavad biojätmed puhtaks energiaks ja toitaineaks taimekasvatustes. Biogaasi parema kasutamise eesmärgil on välja töötatud mitmeid tehnoloogiaid, mille abil algselt 40-60% metaanisisaldusega biogaas puhastatakse ja vääristatakse üle 80-90% biometaaniks. Puhastamise vajadus tuleneb gaasi kasutusvaldkonnast. Eestis töötavad biogaasijamad teadaolevalt oma gaasi ei puhasta, välja arvatud peale Salutaguse pärmitehase juures oleva jaama (vesiskraberiga puhastus). Puhastamine annab võimaluse kasutada gaasi efektiivsemalt koostootmisjaamas (CHP), kuid lisab võimaluse juhtida biometaanit otse gaasivõrku, kui soojataribijaid läheduses pole või kasutada transpordikütusena.

Tähelepanuta ei tasu jätta meetodeid, mille abil saadakse kõrgema metaanisisaldusega biogaas ilma puhastamise ja vääristamiseta. Sellisel viisil on teoreetiliselt võimalik saada samast kogusest substraadist suurem kogus biometaani, kui puhastamist kasutades, sest puhastamise käigus eraldatakse biogaasist ka potentsiaalne metaaniallikas CO₂.



Joonis 1.3. Puhastusmeetodite võrdlus investeeringu maksumuse järgi

Allikas: F. Bauer, Chr. Hultberg, T. Persson, D. Tamm. Biogas upgrading – Review of commercial Technologies (Biogasuppradering – Granskning av kommersiella tekniker). SGC Rapport 2013:270.

Biomethane Technology	Economics	
	Euros/ Nm³ biogas	US\$/1000 scf biogas
Membrane	0.12	4.47
Water scrubbing	0.13	4.74
Chemical absorption	0.17	6.32
Pressure swing adsorption	0.25	9.21
Bio-filter	NA	NA
Cryogenic separation	0.44	16.32

Tabel 1.1. Erinevate puhastustehnoloogiate ökonoomiline võrdlus (Allikas: de Hullu, et al., 2008)

2. Tehnoloogiavaliku maatriksi koostamine ja Eestile tehnilis-majanduslikult ja keskkonnakaitse seisukohalt sobivama(te) puhastustehnoloogia(te) valik.

Biogaasi puhastustehnoloogiate võrdlus

Tabelis 2.1. on toodud mõnede puhastustehnoloogiate eelised ja puudused (järjekorras: kõikuvrõhuadsorber – PSA, vesipesu, membraanpuhastus ja krüogeenpuhastus). Esimesed kaks tehnoloogiat on maailmas seni enamlevinumad ja kaks viimast on viimasel ajal hakanud rohkem arenema. Krüogeenpuhastuse tähtsus võib tulevikus suurenedada, kui biometaani saab osaks rahvusvahelises kütusekaubanduses ja seda hakatakse veeldatud kujul transportima (sarnaselt veeldatud maagaasile – LNG).

Eestis kasutusele võetavad puhastustehnoloogiad

Füüsikaline adsorptsioon ehk vesipesu ja vahelduva rõhuga adsorptsioon on meetodid, mille puhul on olemas maailmas enim kogemusi ja teavet. Teisalt pööratakse üha rohkem tähelepanu metaanikadudele rikastamisfaasis (puhastuse käigus).

Käesolevas alapunktis püütakse välja tuua sobivamad biogaasi biometaaniks puhastamise tehnoloogiad ja seadmed, mis vastaksid paremini meie oludele ja majanduslikele võimalustele. Lähtuvalt Eesti maagaasivõrkudes kasutatava maagaasi kvaliteedist, tuleks kasutada tehnoloogiaid ja seadmeid, mis võimaldavad tehnilis-majanduslikult optimaalselt ja keskkonnasäästlikult biogaasi puhastada meil kasutatava maagaasi kvaliteedini (esmlt lähtuda sellest, et metaani sisaldus puhastatud gaasis oleks vähemalt 98%).

Teiseks tuleks lähtuda asjaolust, et Eestis on vähe kohti, kus oleks majanduslikult (ja logistiliselt) põhjendatud rajada suuri biogaasi puhastusjaamu (biogaasi kulu suurem kui 500 Nm³/h) loomapidamisfarmide baasil. Mõnedes tööstuslikes biogaasijaamades juba kasutatakse biogaasi muuks otstarbeks kui puhastamine biometaaniks.

Puhastustehnoloogiate ja nende baasil biogaasi puhas-

Protsess	Kirjeldus	Eelised	Puudused
Adsorptsioonpuhastus (Kõikuvrõhuadsorber - PSA)	CO ₂ , C _x H _y (kõrgemad süsivesinikud), H ₂ S, Si-, Fl-, Cl-ühendid ja lõhnad eemaldatakse aktiivsõe või molekulaarsõelte abil.	- Kõrge gaasi kvaliteet, - Kuiv protsess, - Ei vaja kemikaale, - Ei vaja vett, - Puudub heitvesi, - Osaliselt eemaldatakse O₂ ja N₂, - Heitgaasis puudub bakteriaalne saast, - Väljaarendatud tehnoloogia.	- Vajab H₂S eelpuhastust, - Vajab 3 kuni 4 paralleelset liini, - CH₄ sisaldus väljuvas gaasivooluses ei ole stabiilne - Keeruline protsess, - Suured investeeringud.
Gaasipesu (skraber)	CO ₂ ja H ₂ S absorbeeritakse skraberis vedelikesse (nt vesi, amiinid, glükool, etaan jt).	- Kõrge gaasi kvaliteet, - Madal investeeringu kulu, - Ei vaja eelpuhastust, - CO₂ taaskasutuse võimalus, - Kompaktne protsess, - Väljaarendatud tehnoloogia.	- Heitvee käitluse probleem, - Protsessivee kasutamine.
Membraanpuhastus	CO ₂ eraldatakse tänu membraani selektiivsele läbilaskevõimele.	- Kuiv protsess, - Ei kasutata kemikaale, - Madal mehaaniliste vigastuste oht, - Kompaktne protsess ja seadmetik.	- Vajalik eelpuhastus, - Madal CH₄ eraldamise tõhusus, - Suur energia erikulu, - Suur investeeringu vajadus, - Ebastabiilne pikaajaline toimimine, - Veel vähe edukaid näiteid.
Krüogeenpuhastus (CO ₂ veeldamine)	CO ₂ veeldatakse kõrge rõhu ja madala temperatuuri juures ja eraldatakse rektifikatsioonikolonnis.	- Väga kõrge biometaani kvaliteet, - Ei kasutata vett, - Ei kasutata kemikaale, - CO₂ taaskasutuse võimalus, - Kompaktne protsess.	- Vajalik eelpuhastus, - Väga suur energiavajadus, - Suur investeeringu vajadus, - Keeruline protsess, - Seni üksikud pilootprojektid.

Tabel 2.1. Biogaasi puhastusprotsesside eelised ja puudused

Allikas: Biogas upgrading using the DMT TS-PWS® Technology. Dirkse, E.H.M. B.Sc. DMT Environmental Technology

tusjaamade rajamine sõltub mitmetest asjaoludest, milles võiks nimetada:

- Puhastatava biogaasi kulu (Nm^3/h) ja kvaliteet;
- Kasutatava puhastustehnoloogia tõhusus, keskkonnaohutus ja seadmestiku maksumus;
- Saadava biometaani kvaliteet ja maksumus;
- Biometaani kasutusvõimalus (juhtimine maagasiivõrku – võrkude olemasolu läheduses; juhtimine tanklasse, veeldatud biometaani transport);
- Riiklikud regulatsioonid ja toetusskeemid biometaani kasutusele võtmiseks transpordis mootorkütusena.

Käesolevas töös pakutakse üheks Eesti oludele sobivaks biogaasi puhastustehnoloogiaks füüsikaline absorptsioon (veega pesemine skraberis ehk vesipesu), kui maailmas üks levinumaid tehnoloogiaid, mis on hästi välja arendatud ja suhteliselt väikeste investeeringu ja käidukuludega. See sobib nii küllaltki väikeste biogaasi kulude juures kasutamiseks (Metener tehnoloogia Soomes, mida kasutatakse Laukkal Kalmari farmis juba aastaid) kui ka suuremate biogaasijaamade juures (Rootsis).

Teiseks tehnoloogiaks soovitakse kasutada maailmas hoogsalt arendatavat ja kasutust leidnud membraanpuhastus tehnoloogiat, mille hinnad pidevalt langevad ja kasutustõhusus tõuseb (näide Eestist Kõo Agro OÜ Siimani farmi projekti kohta). Need on ka keskkonnasäästlikud ja ohutud kasutada.

Keemiline absorptsioon (puhastamine amiinidega)

tundub olevat ainus saada olev tehnoloogia, mis suudab toota kvaliteetset metaani väga väikeste kadudega. Uuringus (Ü. Kask, J. Andrijevskaia, L. Kask, P. Heinla, T. Kallaste, A. Laur, A. Menert, S. Pädam. Biogaasi tootmise ja kasutamise pilootuuring Lääne-Virumaal. MTT Raport nr 53, Tallinna Tehnikaülikool, SA Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus. 2012.) valitigi Lääne-Virumaal biogaasi rikastamise tehnoloogiaks amiinopesu. Amiinopesu eelised on suur tõhusus (biometaan > 99 % CH_4 sisaldusega), odav talitlus, protsessi regeneratiivne olemus, rohkem lahustunud CO_2 mahuühiku kohta vesipesuga võrreldes, ja ülimadalad CH_4 kaod (< 0,1 %). Puudusteks on aga kulukad investeeringud, regeneratsiooniks vajaliku soojuse olemasolu, korrosiooniprobleemid, amiinide lagunemine ja mürgistumine O_2 või muude kemikaalidega, soolade sadestumine ja võimalik vahustumine. Eelnevast lähtudes ja arvestades membraanpuhastustehnoloogia ja seadmete kiiret arengut. seekord amiinopuhastust ei soovitatud Eestis kasutamiseks.

Eeltoodu ei tähenda, et lähtuvalt tulevikus ilmnedavõivatest asjaoludest, et ei peaks kaaluma muude puhastustehnoloogiate sobivust. Eriti tuleks tähelepanu pöörata innovaatilistele tehnoloogiatele, nagu bioloogiline rikastamine, rikastamine kääriti siseselt ja kõrgrõhu puhastus käärimisprotsessis). Need tehnoloogiad võivad eraldi puhastusjaamade rajamise ebavajalikuks teha. Membraanpuhastusseadmed sobivad tänase tehnika arengu juures kõige paremini (ka majanduslikult) väikestesse biogaasijaamadesse.

3. Biogaasi ressursi hindamine piirkondlikult ja üle Eesti

Senised biogaasi koguste hinnangud Eestis

Biogaasijaamade sisendina kasutatavat biomassi saab jagada põllumaadel kasvatatavaks biomassiks (hein, teraviljad, õlikultuurid) ja põllumajandustootmises tekkivaks biomassiks (jäätmel: sõnnik ja orgaaniliselt lagunevad jäägid ja jäätmel). Lisaks on biogaasi võimalik saada tööstuslike protsesside biolagunevatest jäätmel ja olme valdkonnast (reoveemuda, majapidamise biojäätmel), kuid seda saab ka nn "iseenesliku anaeroobse käärimise" protsessi käigus prügilatest (prügilagaas).

Vaatamata Eestis tegutsevatele üksikutele biogaasi tootmisüksustele (umbes 15) tuleb tõdeda, et biogaasi valdkonna areng Eestis on algusjärgus nii oskusteabe omandamise, praktiliste lahenduste kasutusele võtmise kui poliitilise toetuse ja tugimeetmete pakkumise osas. Valdkonna arengutakistuste ületamiseks tuleb Eestis tegeleda nii ettevõtete ja arendajate sisemiste arengutakistuste ületamisega mikrotasandil kui ka luua biogaasi tootmist ja kasutamist soodustavad välised tingimused makromajanduslikult ja riigi tasemel (<http://www.energiatalgud.ee/index.php?title=Biogaas>).

Eesti Konjunkturiinstituudi ülevaates (2011) on kirjas, et 2010.a seisuga toodeti Eestis 13,13 mln Nm³ biogaasi, sellest enamus pärines prügilatest (9,3 mln Nm³), reoveestest toodeti ligi 3 mln Nm³ ja alla miljoni Nm³ toodeti sealäga. 2012. aasta lõpust on tööd alustanud biogaasi tootmine Aravete Biogaas OÜs, maksimaalse võimsusega ca 6 mln Nm³ biogaasi aastas ja veel kolmes põllumajanduslikus biogaasijaamas (Oisu, Vinni ja Ilmatsalu) ning 2 reoveemuda kasutatavat biogaasijaama on valminud (Kuressaare ja Tartu), mistõttu lähiaastatel võib biogaasi tootmise maht kahekordistuda.

Eesti teoreetiliseks 60% CH₄ sisaldusega biogaasi potentsiaaliks on hinnatud 0,8 - 1,5 mld Nm³ (biometaanina, kus metaani (CH₄) on 98%, vastavalt 480-900 mln Nm³/a) sõltuvalt selles, kui palju maad kasutatakse roheline biomassi kasvatamiseks. Biogaasi tootmise sisenditeks on: reovee muda, biolagunevad jäätmel, suurimad prügilad, arvel olev sea- ja veiste läga ja tahesõnnik, roheline biomass kõlvikutelt, kasutamata põllumaad pindadelt ja poollooduslikelt rohumaadelt. Eestis reaalset kasutatavat biogaasi hulk aastas on 633 mln Nm³, sellele vastav biometaani potentsiaal kogus on 380 mln Nm³/a (joonis 3.1), millest 9 mln Nm³ moodustab prügilagaas (A. Oja. Biometaani kasutamise avalikud hüved, Arengufond. Tallinn, 2013). Sealhulgas on eeldatud, et kogu Eesti põllumajandussektoris tekkivast sõnnikust ja lägast

on võimalik toota biogaasi 65 - 72%st ja biogaasi took oleks 25 - 29 Nm³/t VM (VM - värske materjali kohta).

Suurimat potentsiaali nähakse põldudel ja rohumaa- del kasvavale rohtsele biomassile. Põllumajanduse ja loomakasvatuse jääkide potentsiaali peetakse tunduvalt väiksemaks. Samas on viimane kõige sobivam nii kesk- konnakaitse kui ka sotsiaalmajanduslikust seisukohast lähtuvalt kasutusele võtta esmajärjekorras.

Biogaasi ressursside piirkondlik hinnang

Käesolevas töös hinnati Eesti loomakasvatustetevõtetes tekkiva läga ja tahesõnniku koguseid. Vaatluse all olid peamiselt loomakasvatuse ettevõtted, kus loomade arv ületab 1000 isendit ja sigade arv 4000 isendit. Eeldati, et liiga väikestes farmides tekkiva sõnniku kogus ja sealt saadav biogaasi kogus on liialt väike tasuvate biogaasipuhastusjaamade rajamiseks.

Metoodilised aspektid

Biogaasi tekke arvutamisel lähtuti Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni ameti (PRIA) andmetest loomade arvu kohta registreeritud loomakasvatushoones seisuga 1. jaanuar 2014. Kasutades loomade arvu on võimalik hinnata võimalikku biogaasi teket lähtuvalt nende loomade poolt toodetud arvutuslikust väljaheidete või arvutuslikust sõnniku (s.o väljaheidete koos allapanu, tehnoloogilise- ja sademetevee jms) kogusest. Sõnniku kasutamisel on vaja teada loomakasvatushoones kasutatavat loomapidamisviisi, vee kasutamise praktikat farmis,

Toorme liik	Biometaani potentsiaal mln Nm ³
Biomass kasutamata maadelt	223
Energiakultuurid (5% põllumajandusmaast)	68
Biomass pool-looduslikelt kooslustelt	14
Veiseläga	38
Sealäga	4
Muud põllumajanduslikud jäägid	2
Biolagunevad jäätmel toiduainetetööstusest	9
Biojäätmel	2
Reoveesetted	3
Jäätmel tööstusest	8
Prügilagaas	9
Kokku	380

Joonis 3.1. Biometaani potentsiaalsed kogused toorainete kaupa

Tooraine	Ressurss	Teoreetiline biogaasi kogus, mln Nm ³	Reaalselt kasutatav (90%), mln Nm ³	Kiirelt kasutatav, %	BG (60% CH ₄)	Biometaani potentsiaal (98% CH ₄), mln Nm ³	GWh el aastas (8200 töö-tunni-ga)	SEK puhul ni-mi-võim-sus, MW
Biomass kasutamata maadelt	177385 ha	412	371	100,00%	371,2	222,7	792,19	90,43
Energiakultuurid (5% põllumajandus-maast)	53917 ha	125	113	100%	112,8	67,7	241	27,49
Biomass pool-looduslikelt kooslustelt	100000 ha	107	96	25%	24,1	14,5	51	5,87
Veised	163135 tk	97	87	72%	62,7	37,6	134	15,28
Sead	360990 tk	12	10	65%	6,8	4,1	15	1,66
Muud põllumajanduslikud jäägid	32124 t	5	4	90%	4,0	2,4	9	0,98
Biolagunevad jäätmed toiduainete-tööstusest	42667 t	21	19	80%	15,4	9,2	33	3,74
Biojätmed	24000 t	4	4	80%	2,9	1,7	6	0,70
Reoveesetted	466974 t	7	6	80%	5,0	3,0	11	1,23
Jätmed tööstusest	25000 t	15	13	100%	13,1	7,9	35	4,00
Kokku	--	805	725	--	618,0	370,8	1 326	151

Tabel 3.2. Biogaasi toorme ressursid Eestis ja hinnang selle kasutatavusele

Allikas: A. Oja. Biometaani kasutamise avalikud hüved, Arengufond. Tallinn, 2013.

0ApEhZuzxKPKgdE5QSFpXaUNnclhIX3FkTjBoaXBGaGc#gid=8)

sõnnikuliiki (vedelsõnnik, tahesõnnik, süvaallapanu jne) ja paljusid muid parameetreid, mis oluliselt mõjutavad biogaasisaagist [6]. Kuna töös oli vaja hinnata ennekõike biogaasi tootmise potentsiaali, aga kõigi hoonete kohta ei olnud teada eelnimetatud näitajaid ja neid on võimalik ka vajadusel muuta, siis kasutati arvutuslikku väljaheitekogust, mida farmi sõnnikumajanduse praktika ei mõjuta. Enne biogaasijaama tegelikku rajamist on aga vaja kindlasti laboratoorselt uurida tegelikku biogaasitootlust lähemalt tegelikust sõnnikust ja selle kogusest. Arvestada tuleb ka seda, et alati ei kasutata värsket sõnnikut ja seisnud sõnniku biogaasitook võib olla märksa väiksem toorsõnniku omast. Antud arvutustes ei ole näiteks arvestatud seda biogaasikogust, mis lisandub sõnnikus sisalduva allapanu ja söödajäätmete käärimisel. Seetõttu võib tegelik biogaasitootlus olla suurem, kui antud töö arvutused näitavad. Kuid tegelik biogaasi tootlus võib olla ka väiksem, sest see sõltub näiteks loomade toiduratsiooni, tõust, allapanu liigist, sõnnikueemalduse ja -kogumise viisist ja paljudest muudest faktoritest, mida teoreetilistes arvutustes ei ole võimalik väga täpselt arvesse võtta. Ka annavad teoreetilised arvutused gaasi toodangule väga laia võimaliku vahemiku (koefitsiendid antakse üldjuhul mitte ühe kindla väärtusena, vaid vahemikuna), mis ei ole väga sobiv otsuse tegemiseks, et millise võimsusega seadmeid oleks mõistlik rajatavasse biogaasijaama soetada. Minimaalsete arvutuslike näitajate leidmisel lähtuti antud töös kõigi kasutatud koefitsientide minimaalsest väärtusest ja maksimaalsete näitajate leidmisel vastavalt koefitsientide maksimaalsetest väärtustest.

Arvutusliku väljaheitekoguse ja biogaasi tootluse leidmisel kasutati eelkõige Põllumajandusministeeriumi poolt tellitud ja Eesti Maaülikooli poolt teostatud uuringu „Eri tüüpi sõnniku toidainete sisalduse arvestuslike väärtuste, põllumajandusloomade loomühikuteks ümbe-

rarvutamise koefitsientide ning sõnnikuhoidlate mahu arvutamise aluste ja miinimummahtude väljatöötamine ning sõnnikuga seotud näitajate arvutamise tarkvara väljatöötamine“ tulemusi (A. Kaasik, 2013). Antud uuring vaatles Eesti farmide tegelikku olukorda ja seega peaks uuringus välja toodud väljaheite koguse ja väljaheites sisalduva kuivaine koguse arvutamise koefitsiendid olema sobivaimad Eesti oludes potentsiaalse biogaasitoodangu arvutamiseks. Veendumaks, et eespool nimetatud uuringus (A. Kaasik, 2013) toodud väljaheidetele baseeruvad koefitsiendid annavad Eesti oludes realistliku pildi, arvutati nende alusel võrdluseks välja ka Oisu biogaasijaama arvestuslik biogaasitoodang ja võrreldi seda praktiliste tulemustega. Oisu biogaasijaama esindaja sõnul on Oisu jaama biogaasitoodang ilma lisasubstraatideta ligikaudu 300 Nm³/h. Teoreetilised arvutused andsid võimalikuks biogaasitoodangu vahemikuks 158-431 Nm³/h ja keskmiseks 294 Nm³/h, mis on väga lähedane jaama tegelikule gaasitoodangule. Seega võib pidada Eesti Maaülikooli uuringu tulemusi usaldusväärseteks ja seal välja toodud koefitsientide alusel on mõistlik arvutada Eesti farmide teoreetilist biogaasitootlust.

Veiste puhul oli PRIA andmetes teada loomade jaotumine soo järgi vanuserühmadesse (s.o piimalehmad, pul-lid, lehmik- ja pullmullikad, lehmik- ja pullvasikad), mis on vajalik potentsiaalse väljaheitekoguse arvutamiseks. Kuna piimalehmade puhul on väljaheidete kogus korrelatsioonis piimatoodanguga, siis kasutati piimalehmade puhul ka keskkonnaministri 5. detsembri 2008.a määruse nr 48 „Looma- ja linnukasvatusest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramismeetodid“ lisas toodud andmeid ja interpoleerimist. Antud töös biogaasi tootluse arvutamisel kasutatud väljaheite koguse ja väljaheites sisalduva kuivaine koguse arvutamise koefitsiendid on koondatud tabelisse 3.3.

Nr	Looma liik, vanuse- või toodangurühm	Väljaheite kogus, t/aastas või t/perioodis	Kuiv-aine osakaal, KA %	Voorude arv aastas looma-kohal
1	Piimalehmad (7 000 kg piima aastas)	21,4	15,3	1
2	Piimalehmad (8 000 kg piima aastas)	23,0		
3	Piimalehmad (9 000 kg piima aastas)	24,6		
4	Piimalehmad (10 000 kg piima aastas)	26,2		
5	Ammlehmad, lihaved, pullid (üle 24 kuu)	8,3	14,9	1
6	Lehmvasikad (0...6 kuud)	2,6	12,3	2
7	Pullvasikad (0...6 kuud)	2,4	12,5	2
8	Lehmmullikad (6 kuud ... poegimine)	11,4	13,9	1
9	Pullmullikad (6 kuud ... realiseerimine)	6,7	17,0	1,3
10	Nuumsead (30-110 kg, juurdekasv 80 kg)	0,5	7,2	3,2
11	Võõrdepõrsad (7-30 kg, juurdekasv 22 kg)	0,07	5,0	6,4
12	Põhikarja emised koos põrsastega (vaba- ja tiinusperiood 70%, imetamisperiood 30% aastas, võõrutamine 28 päevaselt)	4,0	9,5	1
12	Kuldid ³	1,4	9,5	1

Tabel 3.3. Väljaheidete tootmine ning kuivaine sisaldus^{1,2}

Allikad: [3], [4]

¹ [3], (tabelid 1 ja 2), ² [4], (tabel 10)

³ Kuldi väljaheidete tootmine on võrdsustatud vaba ja tiine emise väljaheidete tootmisega allika [4] järgi.

Piimalehmade, pullide ja pullmullikate puhul eeldati, et loomi peetakse aastaringelt sees, lehmmullikate ja vasikate puhul aga arvestati, et pool aastat on nad karjamaal ja seetõttu on nende väljaheidete kogus arvestustes jagatud kahega.

Sigade puhul PRIA andmed loomade jaotumist soo ja vanusgrupiti ei sisaldanud, teada oli vaid loomade koguarv. Seega on arvutustes sigade jaotus loomariühmadesse hinnanguline. Farmide puhul, kus oli võimalik leida täpsustavaid andmeid ettevõtja majandusaasta aruandest või ajakirjandusest (näiteks, et farm on spetsialiseerunud võõrdepõrsaste tootmisele või ainult nuumikute kasvatamisele), lähtuti sellest teadmisest. Ülejäänud farmide puhul eeldati, et tegemist on täistsükliga tootmisega s.t karja struktuuris on olemas kõik loomariühmad - emised, kuldid, imik- ja võõrdepõrsad, nuumikud.

Sigade loomariühmade jaotumise hindamisel lähtuti põrsaste arvu leidmisel eeldustest, et aastas on emise kohta 2 pesakonda ja igas neist 11 elusat põrsast. Imikpõrsaste kasvuperioodiks arvestati 1 kuu, võõrdepõrsastel 1,8 kuud ja nuumikutel 3,75 kuud. Kultide arvu leidmisel lähtuti järgmisest valemist:

kultide arv = poegimiste arv x 2 (so 2 paaritust inna-ajal) x (100/70) (so tiinestumiste pöördväärtus) x (2/365) (so kuldi kasutamine igal teisel päeval, pöördväärtus) x (100/90) (so avariipesakondade arvu pöördväärtus).

Kui arvestuslik väljaheidete kogus ja kuivaine (KA) kogus oli määratud, leiti järgmisena orgaanilise kuivaine (oKA) sisaldus. Orgaanilise kuivaine ja biogaasi koguse leidmisel võeti aluseks Eesti Maaülikooli dotsendi Allan Kaasik'u soovitusel vedelsõnniku vastavad koefitsiendid (vt tabel 3.4).

Biometaani mahu osatähtsuseks biogaasis arvestati sea väljaheidete puhul minimaalselt 60% ja maksimaalselt 70%. Veiste väljaheidetest saadud biogaasi puhul on

biometaani sisaldus madalam ja seetõttu arvestati vastavad väärtused 10 protsendipunkti madalamad (s.o vastavalt 50% ja 60%). Veiste väljaheidete biogaasi madalam metaani sisaldus tuleneb erinevast söödast ja veiste seedekulglu iseärasustest.

Biogaasi energiasisalduse arvutamisel lähtuti eeldusest, et biogaasi kütteväärtus on 6 kWh/m³.

Biogaasi jaama sisendvõimsuse arvutamisel arvestati, et jaam töötab 8 000 tundi aastas. Leiti ka kosstootmisjaama arvutuslik elektritoodang eeldusel, et jaama elektriline kasutegur $\eta_{el} = 0,42$ ja soojuse toodang eeldusel, et soojuslik kasutegur $\eta_{th} = 0,43$.

Võimaliku müügitulu arvutamisel koostootmise puhul võeti elektri müügihinna 26,6 eurot/MWh kohta, sellele lisati taastuva energia toetus 0,0537 eurot/kWh. Müüdava soojuse puhul eeldati, et müüa õnnestub vaid pool toodetud soojuse kogusest ning hinnaks arvestati 37 eurot/MWh. Arvutusliku soojuse müügihinna valikul lähtuti töötavate biogaasi jaamade tegelikest Konkurentsiametiga kooskõlastatud piirhindadest.

Lisaks arvutati ka seda, kui palju kilomeetreid oleks võimalik läbida, kui toodetud biometaani kasutataks autokütusena. Arvutustes eeldati, et 1 m³ biometaani võrdub ühe kütuseliitriga, ning et 7,4 kütuseliitriga on võimalik läbida 100 km. Maanteeameti andmetel on keskmine sõiduauto aastane läbisõit ligikaudu 20 000 km,

Loomaliik	Orgaaniline kuivaine oKA %	Biogaasi teke m ³ /t oKA
Veised	75-82	200-500
Sead	75-86	300-700

Tabel 3.4. Orgaanilise kuivaine sisaldus vedelsõnnikus ja biogaasi teke

Allikas: [5], tabel 4-25, lk 81.

lähtuvalt sellest arvutati ka võimalik biogaasiga varustatavate autode arv.

Surugaasi müügitulu arvutamisel lähtuti eeldusest, et 1 m³ biogaasi on võrdne 0,714 kg surugaasiga, ehk siis 1 kg surugaasi on võrdne 1,4 m³ biometaaniga.

Piirkondade valimine ja farmide kaardistamine

Majanduslikult mõttekas biogaasi tootmine Eesti kliimatilistes tingimustes tuleb kõne alla eelkõige suuremate farmide (või farmide gruppide) juurde rajatavates biogaasijaamades. Biogaasi kääritid vajavad meie laiuskraadil biogaasi tekkeks vajaliku temperatuuri hoidmiseks täiendavat soojendamist praktiliselt aastaringselt, sest mesofiilsed metaani tootvad bakterid eelistavad temperatuurivahemikku 32–42°C. Eriti suur on täiendava soojuse tarve talvekuudel (kuni 50% toodetavast soojusest). Suuremate mahutite korral on ühtlase temperatuuri hoidmine lihtsam ja suhteline energiakulu selleks väiksem. Ka on üldreegel, et suuremate tootmisvõimsuste korral on investeeringu suhteline maksumus (eurot/W) soodsam. Piisava tooraine tagamiseks on mõistlik, kui ühte jaama varustab mitte üks konkreetne farm vaid grupp üksteisele piisavalt lähedal paiknevaid farme. Piisav lähedus on vajalik transpordikulude minimeerimiseks.

Farmide suuruse ja paiknemise kaardistamisel lähtusid TTÜ Keskkonnatehnika ja Soojustehnika instituudi teadurid Põllumajanduse Registrite ja Informatsiooni Ameti (PRIA) loomade registri andmetest. Joonisel 3.1

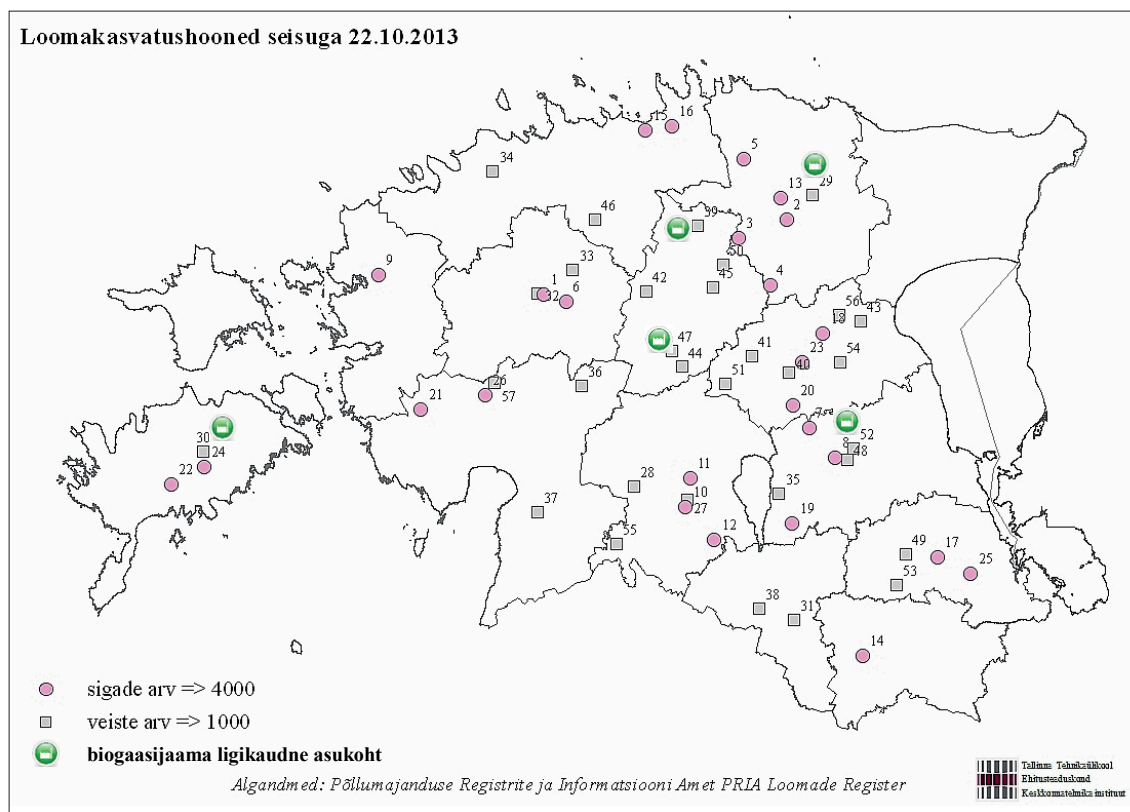
on toodud loomakasvatushooned, kus veiste arv ületas 1000 looma või kus sigade arv ületas 4000 looma.

Jooniselt 3.2 selgub, et vaid Hiiumaal ja Ida-Virumaal ei ole ühtegi farmi, kus veiste arv ületaks 1000 looma või kus sigade arv ületaks 4000 looma. Enamus suurematest farmidest paikneb aga ootuspäraselt piirkonnas, kus muldade viljakus on kõrgem ja seega on ka soodsamad tingimused põllumajandusega tegelemiseks.

Järgnevalt pöörati tähelepanu eelkõige nendele piirkondadele, kus veel ei ole töötavat biogaasijaama, kuid kus paikneb lähestikku mitmeid suuremaid loomakasvatushooneid. Eestis on hetkel sõnnikul töötavaid biogaasijaamu viis (Saaremaal Valjala vallas Jööri külas, Järvemaal Oisus ja Aravetel, Lääne-Virumaal Vinnis ja Tartumaal Ilmatsalus – käivitub 2014). Tähelepanu alla jäid piirkonnad Pärnumaal, Harjumaal, Lääne-Virumaal, Jõgevamaal ja Raplamaal. Arvestades loomade arvu ja farmide paiknemist, on neist suurima potentsiaaliga tõenäoliselt Jõgevamaa, Raplamaa ja Viljandimaa. Neist kolme viimast piirkonda analüüsiti järgnevalt detailsemalt ja biogaasipuhastusjaam ja biometaan kasutus kavandati kahele.

Raplamaa biogaasigrupp

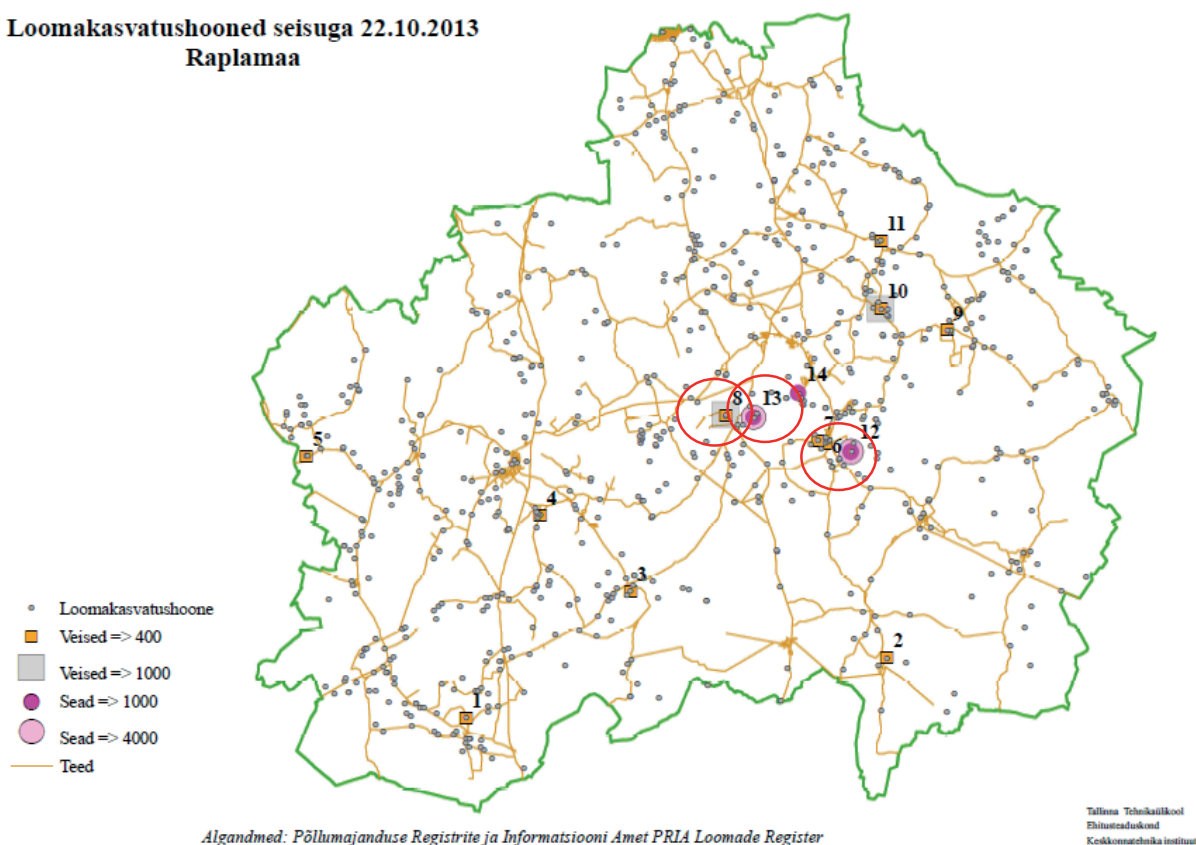
Üle 400 loomaga veiselautu oli Raplamaal (vt joonis 3.2) seisuga 22.10.2013 kokku 11 ja üle 1000 loomaga sigalaid 3. Raplamaal olid biogaasijaama tuumikgrupiks eelnevalt välja valitud 7756 loomaga OÜ Raikküla Seakasvatus



Joonis 3.1 Suuremate loomakasvatushoonete paiknemine Eestis ja sõnnikul töötavad biogaasijaamad, seisuga 22.10.2013.

Autorid: Karin Pahel, Livia Kask ja Ülo Kask.

Loomakasvatushooned seisuga 22.10.2013 Raplamaa



Joonis 3.2. Raplamaa loomakasvatushoonete paiknemine. Autorid: Karin Pachel, Livia Kask ja Ülo Kask.

(joonisel 3.5 tähistatud numbriga 13), 1476 loomaga OÜ Raikküla Farmer veiselaut (8) ning 7876 loomaga AS Rey sigala (12).

Arvutused andsid tulemuseks, et suurima võimaliku keskmise biogaasitoodanguga on antud kolmikust OÜ Raikküla Farmer 135 m³ tunnis, sigalate toodang on sarnane - OÜ Raikküla Seakasvatuse sigalal 31 m³ tunnis ning AS Rey sigalal 36 m³ tunnis. Kokku võiks kolmik toota ligi 202 m³ tunnis, mis on jällegi natuke liiga vähe majanduslikult tasuvaks biometaanitootmiseks. Lähemal vaatlusel selgus, et tegelikult paikneb lähikonnas veel farme, kes võiks projektiga ühineda.

Viljandimaa biogaasigrupp

Üle 400 loomaga veiselautu oli Viljandimaal (vt joonis 3.3) seisuga 22.10.2013 kokku 8 ja üle 1 000 loomaga sigalaid 7. Suurema loomade arvuga ja üksteisele suhteliselt lähedal asuvad on selles piirkonnas järgmistele ettevõtjatele kuuluvad loomakasvatushooned: OÜ-le Saimre Seakasvatuse kuuluv sigala (joonisel 3.7 tähistatud numbriga 14) kokku 4 305 loomaga, OÜ-le Saimre kuuluv piimakarjafarm (3) kokku 1 587 loomaga ja AS-ile Rakvere Farmid kuuluv sigala (15) kokku 58 274 loomaga.

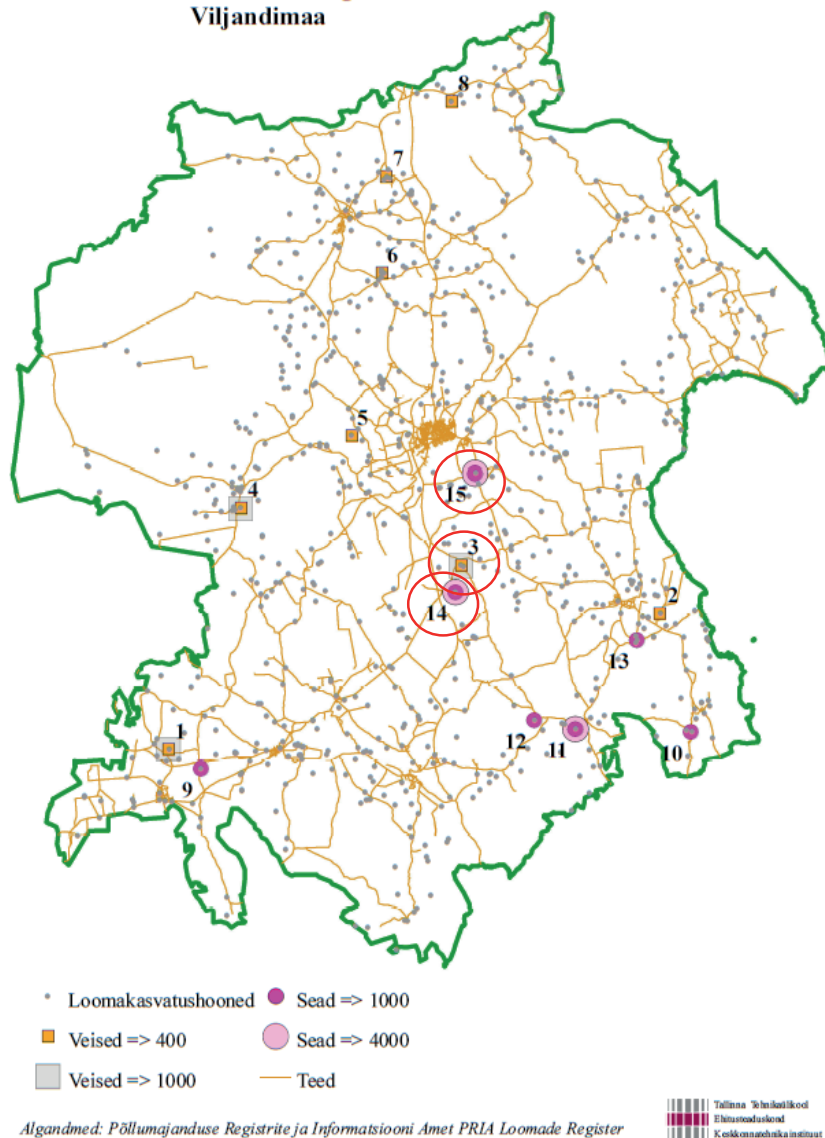
Viljandi maakonna eelnevalt väljavalitud farmide grupi suurtegi jaoks on AS Rakvere Farmid sigala, mis suudaks üksi toota keskmiselt 304 m³ biogaasi tunnis. AS Rakvere Farmid sigala biogaasitoodang on aga mõnevõrra väiksem, kui pelgalt loomade arvust võiks

järeldada. Põhjus on selles, et sigala on spetsialiseerunud põrsaste tootmisele ja nuumikuid on vähem, kui täistsükli puhul. OÜ Saimre veiselauda toodang on AS Rakvere Farmid sigala omast juba kolm korda väiksem - ligi 108 m³ biogaasi tunnis ja Saimre Seakasvatuse OÜ sigala toodang on vaid 19 m³ biogaasi tunnis. Kokku oleks kolmiku toodang 431 m³ biogaasi tunnis, mis on juba üsna lähedal soovituslikule 500 m³ tunnis, et majanduslikult tasuvalt vääristada biogaasi autokütuseks. Kolmiku biogaasitoodangut oleks võimalik ka suurendada kasutades lisasubstraate (näiteks rohusilo näol). Seega võiks ka vaid need kolm farmi ühisjõududega ehitada biometaanitootmiskompleksi.

Rohtse biomassi olemasolu loomakasvatustarvete lähikonnas

Ühe ideena suurendada biogaasijaamade biogaasi (ja sellest lähtuvalt ka biometaanit) toodangut, on pakutud kasutada loomakasvatustarvete lähikonnas kasvavat rohtset biomassi. Seda saaks kasvatada mingil osal kasutusel olevatel põllumaadel, kuid ka seni kasutamata põllumaadel (vastavalt PRIAS registreeritud). Tegemaks kindlaks, kui palju oleks kasutamata põllumaid nt Raplamaa biogaasigrupi kanti vastavale kaardile erinevate kihtidena teravilja (s.h raps) kasvupinnad – oranž, rohttaimede kasvupinnad – roheline (värvitoon vastavalt saagikuse suurenemisele tumeneb), lautade teeninduspiirkonnad (vastab lautade KA tarbimisele) – hall ruuduline ja muude kul-

**Loomakasvatushooned seisuga 22.10.2013
Viljandimaa**



Joonis 3.3. Viljandimaa loomakasvatushoonete paiknemine. Autorid: Karin Pachel, Livia Kask ja Ülo Kask.

tuuride (nt kartul) pinnad – sinine värv. Tulemused on kantud joonistele 3.4 (joonise autor on Villem Vohu, TTÜ magistrant. Kasutati PRIA 2012 maakasutuse andmeid).

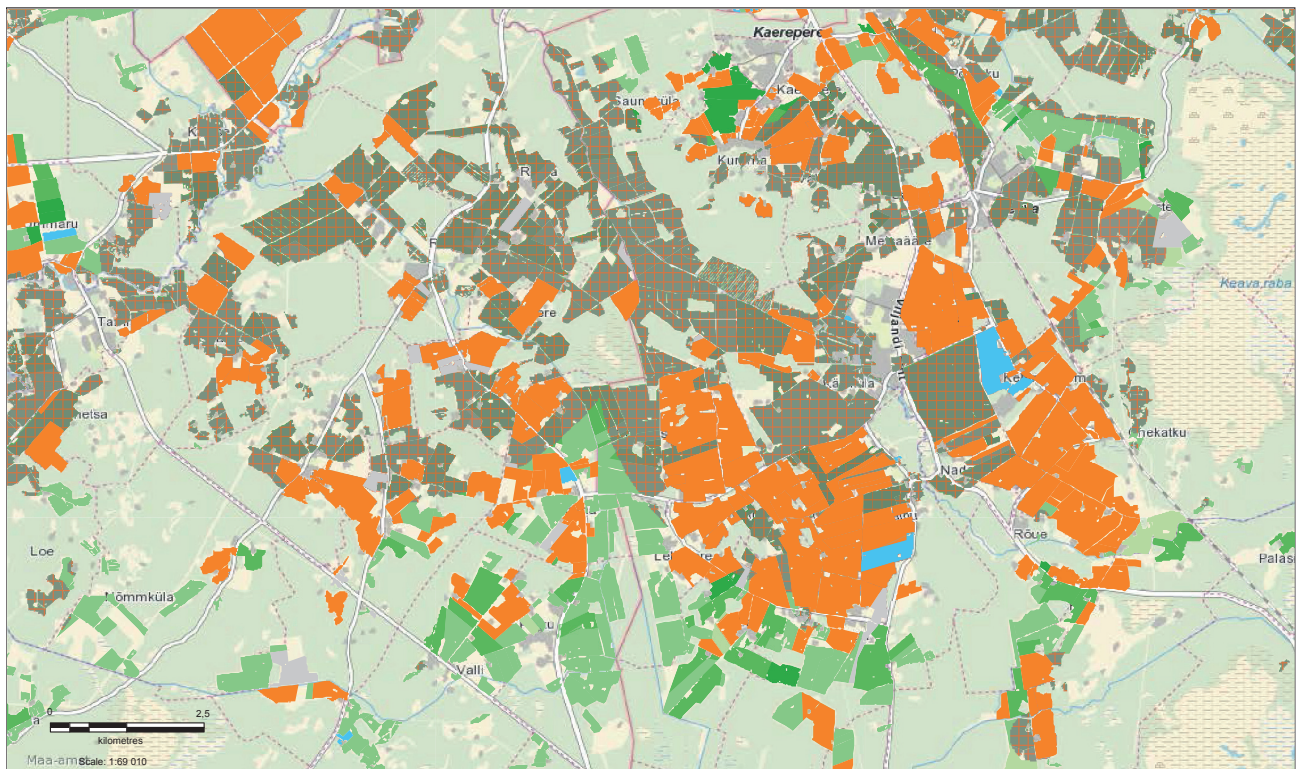
Jooniselt 3.4 selgub, et esimesed kasutamata maad, kust saaks rohuniidet silo valmistamiseks, asuvad potentsiaalsest biogaasijaamast umbes 4 km kaugusel. Rohkem vabu kasutamata rohumaid asuvad alates 8ndast kilomeetrist kaugemal. Reeglina suurte loomakasvatustekomplekside läheduses suuri vabu alasid rohtse biomassi kasvatamiseks biogaasijaamade toormeks kasutamise eesmärgil eriti ei ole. Siit järeldub, et rohtsel biomassil töötavad biogaasijaamad tuleks rajada mitte niivõrd sõnnikut kasutavate biogaasijaamade lähedusse (või kasutada seda tooret nendes jaamades), vaid need tuleks rajada pigem kohtadesse, kus laiuvad suured kasutamata põllu- ja rohumaad.

Potentsiaalsete biogaasijaamade asukohad maagaasimagistraalide suhtes

ASi Gaasivõrgud spetsialistide kaasabil kanti maagaasimagistraalorustike kaardile (joonis 3.5) kuue maakonna 20 suuremat loomapidamisfarmi ja sigalat, mille baasil ei ole veel rajatud biogaasijaamu, nende asukoha koordinaatide alusel.

Eraldi kaartidele kanti Raplamaa ja Viljandimaa valitud loomapidamishoonete asukohad kohaliku maagaasivõrgu suhtes.

Raplamaa farmigrupi keskmine kaugus D-kategooria maagaasimagistraalorustist jääb 2-3 km kaugusele, sõltuvana sellest, kuhu on optimaalsem rajada biogaasitootmise ja puhastamise jaam. B-kategooria maagaasitorustik asub Viljandimaa farmigrupi vahetus läheduses ja kui biogaasijaam asuks ASi Rakvere Farmid (endine EKSEKO) territooriumil, siis ühenduse pikkus maagaasivõrguga oleks vaid mõnisada meetrit.



Joonis 3.4. Raplamaa biogaasigrupi ümbruskonna teravilja kasvupinnad (kollakas-oranž), rohttaimede kasvupinnad (roheline), lautade teeninduspiirkonnad (hall) ja muude kultuuride pinnad (sinine)



Joonis 3.5. Eesti potentsiaalsed farmi biogaasijaamad kantuna maagaasi magistraaltorustike kaardile (allikas: AS Gaasivõrgud)

4. Biometaani kui mootorikütuse kasutamiseks vajalike tehniliste tingimuste väljatöötamine

Üldist

Kütuste tootmise ja kasutamise enamik aspekte eeldavad vastavate standardite järgimist. Standardid võivad olla rahvusvahelised või/ja rahvuslikud (riiklikud). Paljudel juhtudel kehtestavad riigid oma standardid vastavate rahvusvaheliste standardite alusel, sageli viimaseid muutmata kujul üle võttes. Vajaliku standardi globaalse (ISO) või rahvusvahelise (Euroopas EN) dokumendi puudumisel võidakse juhendada ka teiste riikide rahvuslikest standarditest. Tuleb arvestada, et rahvuslikud standardid võivad omavahel erineda ja sageli on ka rahvusvahelisesse standarditesse jäetud võimalus võtta arvesse kohalikke tingimusi, nt kohaliku kliima mõju.

Biogaasi puhastamine ja vääristamine biometaaniks ning sisestamine maagaasivõrku suurendab biogaasi turupotentsiaali oluliselt, sest seetõttu tekib biogaasi (biometaanina) kasutamise võimalus sisuliselt kõigil gaasivõrku ühendatud tarbijatel. 2012. aastal sisestati biometaani maagaasivõrku kümnes EL riigis: Austria, Prantsusmaa, Saksamaa, Ungari, Itaalia, Norra, Holland, Rootsi, Šveits ja Ühendatud Kuningriik. Viimasel ajal on biometaani võrku andmine eriti suurenenud Saksamaal, Hollandis ja Rootsis. Võrku andmise eelduseks on gaasi kvaliteedi ja omaduste kohta kehtestatud nõuete täitmine biogaasi tootja poolt. Mitme riigi praktika näitab, et põhiliseks on kütteväärtuse ja Wobbe'i arvu tagamine, kuid täita tuleb kõiki maagaasile kehtestatud nõudeid. Kuna ka maagaasi kvaliteedi kohta ei ole veel kehtestatud ühtset rahvusvahelist standardit, siis lähtutakse riiklikest standarditest. Maagaasivõrku antava gaasi kohta kehtestatud Austria, Hollandi, Prantsusmaa, Rootsi, Saksamaa ja Šveitsi riiklike standardite võrdlus näitab, et põhiliste parameetrite (süsinikdioksiidi, vesiniksulfiidi ja veesisaldus, Wobbe arv, kütteväärtus) piirväärtuste osas on nõudmised küllaltki sarnased. Võrku andmisel tuleb biometaan ka odooreerida, vajadusel lisatakse propaani.

Erinevusi riikides kehtestatud nõudmistel vahel esineb spetsiifiliste komponentide sisalduse osas, mis põhiliselt sõltuvad biometaani tootmiseks kasutatud toormaterjalist. Mõnel juhul kasutatakse ka tehniliste tingimuste täpsemat fikseerimist kahepoolsetes lepingutes võrguhaldaja ja biometaani võrku tarnija vahel. Eestis peab tootja biometaani maagaasivõrku andmiseks järgima maagaasi ülekandeteenust osutava ettevõtte AS EG Võrguteenus poolt koostatud ametkondliku standardi EGV-TS 9: 2011 (Võrgugaasi kvaliteet) nõudeid, mille koostamisel on omakorda lähtutud mitmete EN, ISO standardite nõuetest.

Teise suurema võimalusena saab biogaasi kasutada

mootorikütusena. Surugaasi kasutatakse Euroopas ligikaudu 1,85 mln sõidukis (s.h 1,1 mln EL28-s), leviku osas on esirinnas Itaalia, Saksamaa, Rootsi, Austria ja Soome, ka nt Šveitsi ja Ukraina. Mootorikütusena kasutamise võimaluse võib kombineerida võrku andmisega või kasutada maagaasivõrgust sõltumatut tarnimist. Biometaani tarbitakse sellisel juhul sõidukites, mis saavad kütusena kasutada kas veeldatud (LNG) või surve alla viidud (CNG) maagaasi. Vastavalt kasutatakse siis kas surubiometaani (CBM, ka CBG) või veeldatud biometaani (LBM).

Liikluses kasutatavaid gaaskütuseid käsitlevatest standarditest on olulisim surumaagaasi (CNG) omadusi reglementeeriv EN ISO 15403, mis on Rahvusvahelise Standardimisorganisatsiooni (ISO) ja Euroopa Standardimiskomitee (CEN) ühine standard. Lisaks on olemas ka Euroopa standard surumaagaasi sõidukites kasutamise kohta (EN 13423:2000). Saksamaal on normdokumendina kasutusel põhiliselt DIN 51624. Riiklikest standarditest saab siinkohal märkida veel SAE J1616 USA-s. Veeldatud maagaasi (LNG) kasutamist raskeveokites käsitleb USA-s SAE J2343. Seni ainus standard mootorkütusena kasutatava biogaasi (CBG) kohta on olemas Rootsis – SS 155438¹. Küllaltki tavaline on CNG standardite rakedamine ka CBG jaoks. Sellisel juhul ei saa aga arvesse võtta biogaasi ja selle tootmise iseärasusi.

Mitmes Euroopa riigis, kus biogaasi suuremas koguses toodetakse, toimub juba aastaid nii biometaani kasutamine transpordis, kui selle andmine maagaasi torustikku. Samas peetakse nendes riikides biometaani kasutamise arengu takistuseks vastavate rahvusvaheliste standardite puudumist. Seetõttu on kasutusel vastava riigi oma normid ja standardid.

EL gaasiturg avati 2007. aastal, sellega seoses tõstatus maagaasi omaduste harmoniseeritud standardimise vajadus teravalt esile. 2010. a lõpul andis Euroopa Komisjon (EK) välja mandaadi (M/475; 08.11.2010), mille aluse alustas Euroopa Standardimiskomitee (CEN) ettevalmistusi kahe olulise dokumendi koostamiseks:

- Euroopa standard mootorsõidukites kasutatava biometaani kvaliteedi kohta;
- Euroopa norm või tehniline spetsifikatsioon maagaasivõrku sisestatava biometaani kvaliteedi kohta.

Vastava töö tegemiseks loodi CEN-is tehniline komisjon (CEN/TC 408), mis omakorda moodustas kolm ekspertgruppi. Koostatavate dokumentide esimesed

¹ Tegelikult lähtutakse sama standardi nõuetest ka biometaani andmisel maagaasivõrku

kavandid valmisid 2013. a lõpuks. Praeguseks on olemas Euroopa standardikavandid², mis käsitlevad vastavalt biometaanii sisestamist maagaasi võrku (prEN 16723-1) ja kasutamist autokütusena (prEN 16723-2). Nende kavandite kohta kogutakse huvitatud osapoolte seisukohti. Lõplik valmimine on praeguste kavade kohaselt planeeritud 2015. a aprillikuusse. Kommentaarina võib öelda, et kooskõlastamist vajavaid probleeme on palju ja mitmed nendest on seotud ka rahvusvahelise standardi puudumisega maagaasi kvaliteedi kohta.

Seejuures oli EK juba kolm aastat varem andnud mandaadi (M/400; 16.01.2007) maagaasi kvaliteedi standardi koostamise kohta, tehes seda lähtuvalt direktiivist 2003/55/EÜ. Mandaadi täitmiseks moodustati tehniline komisjon CEN/TC 234, mille raames organiseeriti 11 töögruppi. Käsitletakse ainult kõrgema kvaliteediga maagaasi (nn H-rühma kütus; *H-gas*) omadusi. Algselt oli kavas jõuda standardimisega lõpule viie aasta jooksul, kuid see pole praeguseni õnnestunud. Probleeme on tekitanud nii olulised lahknevused erinevate riikide normdokumentides kui ka vajadus teha tihedat koostööd CEN-i mitme teise tehnilise komisjoniga, algul eriti CEN/TC 19 (Kütused) ja CEN/TC 234 (Gaasi infrastruktuur), hiljem ka eelmainitud biogaasi komisjoniga (CEN/TC 408).

Seniks kuni puudub standardi (EN) tasemel dokument, võidakse CENi poolt välja anda tehniline spetsifikatsioon (CEN/TS). Tehnilise spetsifikatsiooni koostab CEN tehniline komitee ja see kiidetakse heaks CEN rahvuslike liikmete (standardiorganisatsioonide) poolt, kes teevad need ka kättesaadavaks. TS'i koostanud tehniline komitee võib määrata tähtaja, kui kaua TS kehtib või milal tuleb TS uuesti üle vaadata. Võrdlevaks näiteks võib olla tahkete biokütuste tehnilise komitee CEN/TC 335 poolt 2005. aastal avaldatud tehniline spetsifikatsioon CEN/TS 14961, millele hiljem järgnes juba viis standardit, nt 2010. a EN 14961-1 (Tahked biokütused. Kütuste spetsifikatsioon ja klassid. Osa 1: Üldised nõuded) jne.

Eestis, nagu ka paljudes teistes riikides, lähtutakse transpordis kasutatava maagaasi kvaliteedinõuete osas põhiliselt rahvusvahelisest standardist ISO 15403-1:2008 (Eesti standardina ümbertrükitult EVS-EN ISO 15403-1:2008 – *Natural gas - Natural gas for use as a compressed fuel for vehicles - Part 1: Designation of the quality*). Lisaks on arvestatakse Eestis ka Saksamaa normdokumendi DIN 51624 nõuetega. Ümbertrüki meetodil, s.t tõlkimata kujul, on Eestis üle võetud ka Euroopa standard EN 13423:2000 (Eesti standardina EVS-EN 13423:2001 – *Compressed natural gas vehicle operations*).

Selline olukord nii biogaasi kui ka maagaasi standardimisel ja biogaasi laialdasem tootmine ning kasutamine on tinginud vajaduse korrastada ka Eesti õigusakte. Praegu on ettevalmistamisel (kooskõlastusringil) VKS muutmise eesmärgiga korrastada kütusele nõuete kehtestamise põhimõtteid ja viia need vastavusse toote nõuetele

vastavuse seaduses sätestatud tehnilise normi ja standardi kehtestamise põhimõtetega. VKS muudatus sätestab, et kütus peab vastama nõuetele, mis lähtuvad selle kasutamise otstarbest, kliimaatilistest tingimustest ja välisõhu kaitse seaduse alusel kehtestatud keskkonnanõuetest (§58 lõike 2) ning tagavad kütuse eesmärgipärasel kasutamisel seadmete optimaalse tehnilise sooritusvõime. Seejuures sätestatakse, et kütuse vastavust nõuetele tuleb eeldada, kui kütus vastab kehtivatele:

- Euroopa standardiorganisatsiooni standarditele;
- algupärastele Eesti standarditele;
- Euroopa standardiorganisatsiooni poolt avaldatud standarditega samaväärsetele tehnilistele spetsifikatsioonidele (CEN/TS).

Tuleb märkida, et standardite rakendamist sätestava praeguse regulatsiooni osas leidis õiguskantsler vastuolu põhiseadusega ning tegi 2012. a suvel riigikogule ettepaneku regulatsioon põhiseadusega kooskõlla viia. Vastavalt õiguskantsleri seisukohale seisneb toote nõuetele vastavuse seaduse (TNVS) vastuolu põhiseadusega selles, et kehtivas seaduses sätestatud standarditele viitamise reeglid (§42) ei ole ühemõttelised õigusaktis standardi kohustuslikuks tegemise osas. Kui õigusakt sisaldab kohustuslikku viidet standardile, on selle järgimine kohustuslik ent ligipääs standardile on piiratud – selle eest tuleb maksta tasu standardiorganisatsioonile. Vastavalt põhiseadusele saavad kohustuslikuks järgimiseks olla vaid õigusnormid, mis on kõigile tasuta kättesaadavad ning mis on vastu võetud pädeva organi poolt vastava õigusliku menetluse käigus. Standard on aga dokument, mis on kaitstud autoriõigustega ning mille on vastu võtnud eraõiguslik organisatsioon.

Praegusel ajal on Riigikogu menetluses TNVS muutmise seadus (seaduseelnõu 403 SE, algatatud 25.03.2013). Kavandatava regulatsiooni kohaselt võib õigusaktis standardile teha kohustusliku viite ainult Eestile rahvusvahelisest õigusest või Euroopa Liidu õigusaktist tulenevate kohustuste täitmise vajaduse korral. Seega peab õigusaktis standardi kohustuslikuks tegemine olema pigem erand kui reegel. Kohustuslikke standardeid tuleks kasutada eelkõige tehnilise ohutuse valdkonnas ning piirangu eesmärk on inimeste elu, tervise ja vara kaitse.

Antud töö kontekstis rõhutame, et lisaks tehnilisele vastavusele standarditele peab biokütuste tootmine olema säästev (jätkusuutlik, kestlik). Seepärast nõutakse, et kõik biokütused, s.h ka biogaas, mida kasutatakse sätestatud riiklike eesmärkide saavutamiseks, samuti biokütused, mis saavad abi riiklikest toetuskavadest, vastaksid säästlikkuse kriteeriumidele. Käesoleval ajal on Eestis kehtestatud säästlikkuskriteeriumid küll ainult vedelkütustele³, kuid väga tõenäoline on analoogiliste kriteeriumide

² Natural gas and biomethane for use in transport and biomethane for injection in the natural gas network

³ Vedelkütuste kohta esitatavad keskkonnanõuded, biokütuste säästlikkuse kriteeriumid, vedelkütuste keskkonnanõuetele vastavuse seire ja aruandmise kord ning biokütuste ja vedelate biokütuste kasutamisest tuleneva kasvuhoo- negaaside heitkoguste vähendamise määramise meetoodika. Keskkonnaministri määrus nr 45, 21.06.2013.

rakendamine ka biogaasile. EL vastavad nõuded on kehtestatud direktiiviga 2008/98/EÜ (vt eespool).

Biometaani standardid

Euroopa riigid on biometaani tootmise ja kasutamise osas juhtpositsioonil. EL keskkonna- ja energiapoliitika soodustab biogaasi kui taastuva energiaallika tootmist ja kasutamist. Seejuures on biogaasist toodetud biometaani kasutamine mootorikütusena kiiresti kasvamas. Vaatamata sellisele olukorrale ei ole seni suudetud välja töötada ühtset rahvusvahelist standardit biometaani koostise ja kvaliteedi kohta. Käesoleval ajal sisestatakse biometaani maagaasivõrku järgmistes Euroopa riikides: Austria, Holland, Luksemburg, Norra, Rootsi, Saksamaa, Soome, Suurbritannia, Šveits ja Taani. Eeltoodud nimekirja võib olla mittetäielik, sest selliseid riike lisandub pidevalt – näiteks on vastavad plaanid olemas Belgias, Itaalias, Poolas, Prantsusmaal, Slovakkias ja Tšehhi Vabariigis. Mitmetes nendest riikidest on olemas ka biometaanile tehniliste nõuetega normdokumendid selle maagaasivõrku sisestamiseks, mõnes reguleeritakse olukorda võrguoperaatori ja gaasi tootja vahelises lepingus. Biometaani antakse maagaasivõrkudesse vähesel määral ka Kanadas ja Ameerika Ühendriikides, kuid sealgi ei ole riigi tasandil kvaliteedinõudeid kehtestatud. Nagu käesolevas aruandes korduvalt märgitud, on Rootsi ainukese

riigina kogu maailmas võtnud vastu riikliku standardi mootorikütusena kasutatava biometaani kvaliteedi kohta.

Valikuline ülevaade Euroopa riikides kasutusel olevatest tehnilistest tingimustest biometaanile on esitatud tabelis Tabel 4.1.

Tabelis 4.1 esitatud nõuded on kehtestatud biometaanile, mida sisestatakse maagaasivõrku. Lisaks tabelis toodud nõuetele on mõnes riigis kehtestatud veel piiranguid mitmete keemiliste elementide ja ainete sisaldusele biometaanis, nt siloksaanid, elavhõbe, fluor, kloor, HCl, HCN jm. Esitatud nõuetest nähtub kehtestatud tingimuste suur erinevus riikide vahel, mis omakorda suures osas sõltub võrgu kaudu edastatava maagaasi mitmete omaduste erinevusest.

Nagu tabelis 4.1 esitatud nõuetest näha, on nõuded mõne näitaja osas küllaltki erinevad. Hollandi ja Prantsusmaa nõudeid võib pidada kõige rangemateks (olles samal ajal teatud määral paindlikud) Saksamaa, Rootsi ja Šveitsi regulatsioonid on vähem ranged. Rootsi puhul on omapäraks fakt, et biometaani kütteväärtuse (tegelikult Wobbe arvu) viimiseks nõutud tasemele tuleb lisada propaani. Analoogilist praktikat kasutatakse teatud määral ka Saksamaal, kuid Šveitsis on see keelatud, teiste riikide regulatsioonid aga propaani lisamist ei käsitle.

Lisaks mitmetele erinevates riikides kehtestatud sisulistele erinevustele biometaani nõuete vahel tuleb nen-

Parameeter	Ühik	Prantsusmaa		Saksamaa		Šveits	Austria	Holland
		H gaas	L gaas	H gaas	L gaas			
Wobbe indeks (ülemine)	kWh/Nm ³	13,64-15,7	12,01-13,06	12,8-15,7	10,5-13,0	13,3-15,7	13,3-15,7	–
	MJ/Nm ³	48,24-56,52	42,48-46,80	46,1-56,5	37,8-46,8	47,9-56,5	47,7-56,5	43,46-44,41
Kütteväärtus (ülemine)	kWh/Nm ³	10,7-12,8	9,5-10,5	8,4-13,1		10,6-13,1	10,7-12,8	8,8-10,8
	MJ/Nm ³	38,52-46,08	34,2-37,8	30,2-47,2		38,5-47,2	38,5-46,0	31,6-38,7
CH ₄	mahu%	>86		–		>96 ^a	96	–
CO ₂	%	<2,5 mol%		<6 mahu%		<6 mahu%	<3 mahu%	<6 ^b mahu%
CO	mol%	<2		–		<0,5	–	<1
O ₂	mahu%	<100 ppmv		<0,5 ^c		<0,5	<0,5	<0,5
H ₂	mahu%	<6		<5		<4	<4	<12
H ₂ S	mg/Nm ³	<5 (H ₂ S+CO ₂)		<5		<5	<5	<5
Merkaptaanid	mg/Nm ³	<6		<16		<5 ppmv		<10
Üldväävel	mg/Nm ³	<30		<30		<30	<10	<45
NH ₃	mg/Nm ³	<3		–		<20	–	<3
THT	mg/Nm ³	15-40		Peab olema lõhnastatud		15-25	–	>10 ^d

Tabel 4.1. Tehnilised nõuded biometaanile

Märkused:

a – kehtib piiramatul maagaasivõrku sisestamise korral; piiratud mahu korral vähemalt üle 50 mahu%;

b – regionaalsesse maagaasivõrku sisestamisel <10,0-10,3 mol%;

c – kuiva gaasi korral <3 mahu%;

d – keskmiselt 18 mg/Nm³.

Allikad:

J. del Álamo. NG/Biomethane Fuel Specification in Europe CEN/TC 408. NGVA Europe. Brussels, 23.May 2013.

L. B. Allegue, J. Hinge. Biogas and bio-syngas upgrading. Report. Danish Technological Institute. December 2012.

Gases from non-conventional sources – Injection into natural gas grids – Requirements and recommendations. CEN Project Committee - Biomethane for use in transport and injection in natural gas pipelines. CEN Working Document (CEN/TC 234/WG 9 Contribution to CEN/TC 408). August 2011.

M. Svensson. Utvärdering av svensk biogasstandard – underlag för en framtida revisjon. Rapport SGC 229. Svenskt Gastekniskt Center. April 2011.

tida ka kasutatavates mõõtühikutes, nt koostise osas on kasutusel nii mahu%, mol% kui ka ppm (miljondikosa).

Ainult ühes riigis – Rootsis – on omamaise standardiga kehtestatud tehnilised tingimused mootorikütusena kasutatavale biometaanile. Tingimused, millele biometaan Rootsi standardi SS 155438⁴ kohaselt peab vastama, on esitatud tabelis 4.2.

Kuna Eestis ei ole biometaan maagaasivõrku andmiseks tehnilisi tingimusi kehtestatud, siis tuleks järgida maagaasi ülekandeteenust osutava ettevõtte AS EG Võrguteenus poolt koostatud ametkondliku standardi EGV-TS 9: 2011 (Võrgugaasi kvaliteet) nõudeid. Kohustumisel gaasivaldkonna spetsialistidega on rõhutatud vajadust lähtuda nimetatud ametkondlikust standardist.

Samas ollakse ka nõus seisukohaga, et tuleks arutada võimalust ja/või vajadust töötada ametkondliku standardi alusel välja riiklik standard.

Kokkuvõtteks biometaan standardimisest

Biometaan kvaliteeti ja selle riikliku reguleerimisega on otstarbekas tegeleda, kuid oma standardiga eriliselt kiirustada ei ole ilmselt õige. Nagu eespool märgitud on Euroopa Standardimiskomitee (CEN) tehnilise komisjoni (CEN/TC 408) poolt ettevalmistamisel vastavad normdokumendid. Seega tuleks ära oodata nende Euroopa normide valmimine, mis on kavandatud 2015. a kevadeks⁵. Võimalusel tuleks nende normdokumentide aruteludel osaleda.

Parameeter	Gaasi tüüp A ^a	Gaasi tüüp B ^a
Wobbe indeks (alumine)	44,7-46,4 MJ/Nm ³	43,9-47,3 MJ/Nm ³
CH ₄	97% ±1	97% ±2
CO ₂ , O ₂ ja N ₂ summa, millest O ₂	≤4,0% ≤1,0%	≤5,0% ≤1,0%
H ₂ O	32 mg/Nm ³	
Kastepunkt (kõrgeimal hoiurõhul) (t – kuu madalaim päeva keskmine temperatuur)	t – 5 °C	
H ₂ S	<10 ppmv (=15,2 mg/Nm ³)	
Üldväävel	≤23 mg S/Nm ³	
Lämmastikuühendid, arvestatuna NH ₃ -na	≤20 mg/Nm ³	
Mootorimeetodil määratud oktaaniarv (MON)	130	

Tabel 4.2. Nõuded biometaanile vastavalt Rootsi standardile SS 155438

Märkus: tüüp A – biogaas ilma lambda-andurite (-kontrollita) mootoritele;

tüüp B – biogaas lambda-anduriga (-kontrolliga) mootoritele.

⁴ Motorbränslen - Biogas som bränsle till snabbgående ottomotorer (Mootorikütused – biogaas kiirekäiguliste Otto-mootorite kütusena)

⁵ Praeguseks on olemas Euroopa standardikavandid, mis käsitlevad vastavalt biometaan sisestamist maagaasi võrku (prEN 16723-1) ja kasutamist autokütusena (prEN 16723-2)

5. Juhtumi analüüsid

Sissejuhatavad selgitused

Käesolevas peatükis vaadeldakse peamiselt kahte juhtumit ja mõlema kohta on koostatud biometaani kasutamise majandusliku tasuvuse analüüs. Vastavalt tööülesandele vaadeldakse biometaani kasutamist transpordikütusena. Selleks on põhiliselt kaks võimalust – biometaani müük otse gaasi puhastamise jaama lähedal või gaasi sisestamine edastamiseks maagaasivõrku ning müük gaasivõrguga ühendatud kaugemal asuvas tanklas.

Reeglina on biometaani tankla otstarbekas rajada puhastusseadmete lähisteel. Biogaasi ja või biometaani edastamine spetsiaalse torustiku kaudu on suhteliselt kallis – sõltuvalt konkreetsetest oludest tuleb torustiku rajamise kuluks arvestada 120–150 €/m. Tasuvuse aspektist eeldab spetsiaalse torustiku ehitamine tingimata biometaani stabiilse tarbimise olemasolu.

Kui lähistel on olemas maagaasi võrk, siis annab see võimaluse tarbijate paindlikumaks varustamiseks ning võimaldab torustikku kasutada ka teatud puhvermahutina. Oluliseks eeltingimuseks biometaani sisestamiseks maagaasivõrku on biometaanile esitatavate tehniliste tingimuste täitmine. Olenevalt biometaani tootmise ja maagaasitorustiku paiknemise asukohast on võimalik biometaani sisestada erineva kategooria võrku. Eestis jaotatakse gaasipaigaldised vastavalt küttegaasi ohutuse seadusele lähtudes kasutatavast rõhust nelja kategooriasse: A – kuni 0,1 baari (k.a), B – 0,1–5 baari (k.a), C – 5–16 baari (k.a) ja D – üle 16 baari. Tehniliselt on võimalik sisestada kõigile tehnilistele nõuetele vastavat biometaani B, C ja D kategooria võrku. C ja D kategooria torustikuga liitumise korral on vaja arvestada vajadusega tõsta sisestatava gaasi rõhku, D kategooria korral peab töö rõhk olema vähemalt 28–30 baari, kuid kompressorid peavad tagama ka maksimaalse käidurõhu (MOP – *maximum operational pressure*) 55 baari.

Juhul kui biometaani edastamine puhastusseadmest tanklasse ei ole maagaasi ega ka spetsiaalse võrgu teel võimalik või tasuv, tuleb kaaluda gaasi toimetamist tarbijateni (tanklasse) autotranspordiga, kasutades nn patareisse (konteinerisse) paigutatud balloone. Selline variant eeldab puhastusseadme juures kompressorite olemasolu, sest balloonides peab gaas olema rõhul 200–300 baari. Sellist edastusviisi kasutatakse reeglina gaasi transportimiseks gaasivõrgust kaugel asetsevate tarbijateni (tanklateni) aga ka varuvariandina torustiku avarii korral. Teisest küljest on selline varustusviis eelduseks tanklavõrgustiku rajamiseks gaasivõrgust kaugel asuvasse piirkonda.

Veel üheks võimaluseks biometaani viimiseks tarbijateni on transport veeldatud gaasina. Veeldatud gaasi

otsene kasutamine transpordivahendites on seni väga vähe levinud. Sõltuvalt tehnilistest iseärasustest kasutatakse veeldatud gaasi (LNG, LBG) pikki vahemaid läbivate raskete veokite kütusena vähesel määral ainult mõnes riigis. Tavaliselt varustavad tanklad sellisel juhul kütusega nii LNG kui surugaasi (CNG) kasutavaid sõidukeid. Eesti oludes oleks põhimõtteliseks võimaluseks biometaani veeldatud kujul transport tanklatesse, kus see taasgaasistatakse ja survestatakse ning väljastatakse surugaasil töötavale transpordile. Sellega seoses oleks tulevikus otstarbekas täpsemini uurida krüogeenmeetodi kasutamise võimaluse tasuvust biogaasi puhastamiseks, analüüsides seda komplekselt – koos transpordi ja müügi kuludega. Sellisel juhul on puhastusseadme läbinud biometaan veeldatud kujul ja moodustab seetõttu 1/600 mahulise osa vastavast kogusest normaalingimustel olevast gaasist. Seega on gaasi energiatihedus oluliselt suurem, võimaldades soodsamat transporti. Samas tuleb arvesse võtta vajadust hoida veeldatud gaasi temperatuuril –160 °C, mis nõuab spetsiaalseid seadmeid ja on seetõttu kulukas.

Surugaasil töötavate sõidukite tankimiseks on kaks viisi – nn aeglane ja kiire tankimine. Avalikes tanklates kasutatakse peaaegu eranditult nn kiiret tankimist, mille korral sõiduki kütusepaak täitub mõne minutiga nagu ka vedelkütusega tankimisel. Sellise tankla koosseisu kuuluvad lisaks tavavarustusele kompressor ja vahemahuti. Kompressor tõstab gaasi rõhu keskmiselt 250 baarini.

Aeglast tankimist kasutatakse teatud tüüpi ettevõtete transpordivahendite tankimiseks. Levinud variant on näiteks liinibusside, prügiveokite ja ka põllumajandustehnika tankimine vastavate ettevõtete territooriumil reeglina öö jooksul. Sellisel juhul survestatakse gaas tankimise käigus. Majanduslikult on aeglane tankimine odavam, kuid aeganõudvam – sõiduki paagi täitmine võib kesta kuni 6–8 tundi. Vastavad seadmed on olemas ka koduseks kasutamiseks juhul kui tarbija on liitunud gaasivõrguga.

Majandusarvutuste taustaandmed ja eeldused

Võrdlemaks biometaani kasutamise kahte varianti – müük tanklas või sisestamine maagaasivõrku – teostati variantide tasuvusanalüüs. Selleks koguti andmeid nii vastavate investeeringute kui käidukulude kohta.

Investeeringute maksumuse osas kasutati järgmiste seadmete maksumusi:

- surugaasi tankla;
- kompressorid;
- gaasitorud ja nende paigaldustööd;
- liitumiskulud (elektrivõrguga ja maagaasitorustikuga).

- Käidukulude arvutamiseks kasutati järgmisi andmeid:
- biogaasi ja -metaani ostuhind;
- elektrienergia hind;
- gaasi edastamishind maagaasivõrgus;
- tööjõukulud.

Üldmajandusliku tausta osas lähtuti Statistikaameti, Rahandusministeeriumi ja Eesti Panga materjalidest majandusnäitajate, põhiliselt inflatsiooni, kohta. Majandusarengu prognooside osas kasutati ka Eesti Vabariigi Valitsuse poolt avaldatud materjale. Majandustegevuse põhjendatud tulukuse arvestamisel lähtuti suures osas Konkurentsiameti materjalidest. Põhilised andmed on esitatud tabelis 5.1.

Näitaja	Väärtus
Laenukapitali hind	3,300%
Omakapitali hind	8,300%
Kapitali kaalutud keskmine hind	5,800%
Inflatsioonimäär	2,800%
Nominaalne diskontomäär	8,762%

Tabel 5.1 Majandusarvutuste taustandmed

Majandustegevuse tulukuse määra valikul on lähtutud samadest põhimõtetest, mida kasutab Konkurentsiamet monopoolses seisundis soojus-, elektri-, gaasi- ja vee-ettevõtete tariifide reguleerimisel. Kapitali kaalutud keskmise hinnana (WACC) on kasutatud väärtust 5,8%. Võrdluseks – Konkurentsiamet kasutab 2014. aasta kohta gaasiettevõtete jaoks väärtusi 5,63% (põhivõrguettevõtjad) ja 5,71% (jaotusvõrguettevõtjad).

Investeeringisallikate osas on kasutatud järgmist jaotust: toetus 50%, laen 40% ja omakapital 10%. Iga variandi korral on määratud investeeringu kulude koosseisust tulenev osa, mis läheb põhivara soetamiseks ja mida hakatakse valitud määraga lülitama iga-aastasesse kapitalikuludesse. Investeeringu elueaks on arvestatud 15 aastat. Laenu võetakse annuiteedigraafiku alusel (maksepuhkuseta) 10 aastaks. Käibekulude arvutamisel on lähtutud töötasu osas Eesti keskmisest palgatasemest, elektrienergia ostuhinnaks on võetud 2013. a II poolaasta keskmine hind tarbijagrupis 500–2000 MWh/a (97,2 €/MWh), mida on korrigeeritud inflatsioonimääraga. Biometaani võimaliku müügihinna arvutustes on kasutatud surugaasi hinda (käibemaksuga 0,779 €/kg) ja lisavariantide arvutustes ka maagaasi keskmist hinda äritarbijatele 2013. a II poolaastal. Gaasi edastamise tasuks maagaasivõrgus on võetud 0,0364 €/Nm³, mis on Konkurentsiameti poolt kooskõlastatud alates 1. juulist 2014. a kehtiv võrguteenuse hind firmale Gaasivõrgud AS.

Kõik hinnad ja tariifid on esitatud baasaasta (2014) seisuga, järgnevatel aastatel käidukulude arvutamisel on kasutusel inflatsioonimääraga korrigeeritud väärtused. Kõik arvutustes esitatud hinnad on käibemaksuta, kui ei ole vastavat märkust lisatud.

Kapitalikulu arvutamisel on eeldatud põhivahendite amortiseerumist tööea (15 a) lõpuks, seejuures on läh-

tutud põhimõttest, et toetusega soetatud põhivahendeid kulumi arvestamisse ei lülitata. Kuludesse lülitatav põhjendatud tulukus on arvutatud analoogselt Konkurentsiameti vastava metoodikaga.

Maagaasi mahu ja massi arvutustes on lähtutud ASi Eesti Gaas poolt kasutatavatest tingimustest – rõhk 1,01325 baari (a) ja temperatuur 20 °C. Arvutustes Eesti tingimuste jaoks on maagaasi kütteväärtusena kasutatud 33,8 MJ/Nm³ (alumine) ja tihedusena 0,688 kg/Nm³, mis on ASi Gaasivõrgud 2013. a keskmiste kuuandmete alusel arvutatud näitajad Eestis kasutatud maagaasi kohta.

Majandusanalüüs teostati investeeringu majandusliku tasuvuse klassikalise metoodika kohaselt. Arvutati rahavoogude (tegevuskulud, -tulud ja investeeringud) diskonteeritud nüüdispuhasväärtus (NPV) ja sisemine tasuvusläävi (IRR). Arvutused teostati tabelarvutuse tarkvara (MS Excel) kasutades.

Kummagi baasvariandi kohta teostati tundlikkuse analüüs järgmiste mõjurite suhtes: investeeringu suurus, diskontomäär, kapitali kaalutud keskmine hind ja laenuintress. Eraldi analüüsiti biometaani ostu- ja müügihinna mõju. Kõikide nende tegurite mõju variantide tasuvusele (NPV, IRR ja tasuvusaeg aastates) vaadeldi nii tegurite kasvamise (+10% ja +20%) kui kahanemise (–10% ja –20%) suunas.

Biogaasi biometaaniks vääristamise võimalikke tehniksi lahendusi on kirjeldatud käesoleva aruande 1. peatükis. Lähtudes mitmetest kriteeriumidest otsustati valida Raplamaal asuvate majandite rühma poolt potentsiaalselt toodetava biogaasi puhastamiseks membraantehnoloogia, Viljandimaal valitud majandite grupi jaoks aga vesipesu tehnoloogia.

Juhtum 1 - Biometaani tarne tootmise/vääristamise koha lähedal asuvas tanklas.

Variant (ehk juhtum) põhineb kolme Raplamaal asuva sigala – OÜ Raikküla Farmer (võimalik toodang 135 Nm³/h), OÜ Raikküla Seakasvatus (31 Nm³/h) ja AS Rey sigala (36 Nm³/h) potentsiaalsel biogaasitoodangul, mis kokku moodustaks 202 Nm³ tunnis. Toodetava biogaasi metaanisisalduseks on arvestatud 60%. Biogaas puhastatakse ja vääristatakse membraanmeetodil 98% metaanisisaldusega biometaaniks. Metaani kaoks puhastamisprotsessis on võetud 2,0%. Seega saaks toota biometaani 121,2 Nm³/h. Nimikoormuse töötundide arvuks aasta jooksul on võetud 8 000 h. Tulemusena moodustaks biometaani toodang aasta jooksul 0,970 MNm³ ehk 0,667 tuh t.

Variandi investeeringukuludesse (baasvariandis 318,0 tuh €) on arvestatud tankla ja ühendustorustiku maksumus, elektrivõrguga liitumise tasu ning projekteerimis-, planeerimis- ja ehitustööde maksumus ning mitmesugused kooskõlastuskulud. Viimaste kulude osas on arvesse võetud, et tegemist ei ole tiheasustatud alaga. Eeldades paiknemist majandi territooriumil ei ole maa maksumust arvesse võetud.

Käidukuludes moodustab suurima osa biometaani

ostukulu, baasvariandis on ostuhinnaks 0,520 €/kg. Teiseks suuremaks käidukulu elemendiks on elektrienergia, mis põhilises osas kulub biometaani komprimeerimisele rõhuni 250 baari. Vajaliku energia koguse arvutamisel on lähtutud eeldusest, et membraanpuhastusest välja gaasi rõhk on vahemikus 5–8 baari. Kuludesse on arvestatud ka kapitalikulu ja põhjendatud tulukus.

Biometaani müügihinna aluseks baasvariandis on praegusel ajal gaasitanklates müüdava surugaasi hind – 0,779 €/kg, mis sisaldab käibemaksu. Käibemaksuta hind on 0,649 €/kg, millele vastab mahuühiku hind 0,447 €/Nm³.

Baasvariandi parameetrid ja arvutustulemused on esitatud tabelis 5.2.

Baasvariandi arvutused näitavad tasuvust juba neljandal aastal. Siiski tuleb tulemustesse suhtuda ettevaatlikult, sest tegemist on erinevatest allikatest kogutud algandmetega ja osaliselt eksperthinnangutega, mis lähtusid kõigi kulude maksimaalsest minimeerimisest. Olulisemaks tasuvuse mõjuriks on biometaani ostuhind – 0,520 €/kg (0,358 €/Nm³), mis võib tegelikkuses osutuda kõrgemaks.

Näitaja	Ühik	Väärtus
Biometaani kogus	t (tuh Nm ³)	667,0 (970,0)
Investeering	tuh €	318,0
s.h omakapital	tuh €	31,8
laen	tuh €	127,2
toetus	tuh €	159,0
Biometaani ostuhind	€/kg	0,520
Biometaani müügihind	€/kg	0,649
NPV	tuh €	159,5
IRR	%	21,4
Tasuvusaeg	aasta	4

Tabel 5.2 Biometaani müük tanklas (baasvariant)

Investeeringute osas tuleb arvestada, et tankla komplekti kuulub ainult üks kompressor, mis ei pruugi kindlustada tankla pidevat häireteta tööd. Ka tuleb arvestada, et arvutused on tehtud eeldusel, et toetus moodustab 50% kogu investeeringu mahust.

Analüüsima olulisemate kulukomponentide mõju projekti tasuvusele on teostatud tundlikkusanalüüs, milles on arvestatud järgmiste parameetrite mõju: investeeringu suurus, diskontomäär, laenuintress ja WACC (vt tabel 5.3). Lisaks on eraldi uuritud biometaani ostu- ja müügihinna mõju.

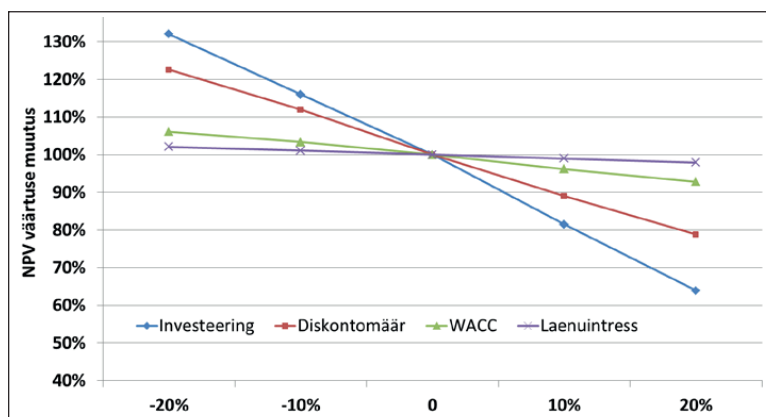
Projekti nüüdispuhasväärtuse suhtelist muutumist sõltuvalt projekti rahastamise parameetritest kajastab joonis 5.1.

Nagu näha jooniselt 5.1 avaldab tundlikkuse analüüsi kaasatud parameetritest suurimat mõju investeeringu suurus – 20% kasvu korral (investeering 381,6 tuh €) väheneb NPV väärtus 31,6 % võrra. Samal ajal jääb IRR väärtuseks 16,0% ja projekti tasuvusaeg pikeneb 7 aastani. Tegelikuses võib osutuda vajalikuks investeeringu mahtu veelgi suurendada, nt tankla töökindluse tõstmine varukompressori soetamise teel. Valitud väärtustest suuremateks võivad osutuda ka planeerimisega seotud kulud.

Projekti tasuvus on kõige tundlikum biometaani hinnatasemete suhtes. Kuna müügihind on seotud rõhu all maagaasi (surugaas, CNG) ühtse hinnatasemega üle kogu Eesti, siis komprimeeritud biometaani (CBG, ka CBM – *compressed bio methane*) müügihinna muutumise mõju määramine ei ole käesoleva analüüsi raames otstarbekas. Ostuhinnaks on baasvariandis 0,520 €/kg, millele vastab 0,358 €/Nm³. Lähtudes käesoleva uuringu käigus läbi töötatud materjalidest (vt ülevaadet 1. peatükis ja käesoleva peatüki lõpus) ei saa pidada tõenäoliseks biometaani ost-

Parameetrid ja tasuvuse näitajad	Baas-variant	Parameetrite muutuse määr			
		-20%	-10%	10%	20%
Investeering, tuh €	318,0	254,0	286,0	349,8	381,6
NPV, tuh €	159,5	210,6	198,1	156,5	101,9
IRR, %	21,4	28,2	25,6	20,4	16
Tasuvusaeg, a	4	3	3	5	7
Diskontomäär, %	8.762	7.010	7.886	9.638	10.514
NPV, tuh €	159,5	195,5	178,6	141,9	125,7
IRR, %	21,4	21,4	21,4	21,4	21,4
Tasuvusaeg, a	4	4	4	5	5
WACC, %	5,80	4,64	5,22	6,38	6,96
NPV, tuh €	159,5	169,2	164,9	153,4	148,1
IRR, %	21,4	22,2	21,8	20,9	20,5
Tasuvusaeg, a	4	4	4	5	5
Laenuintress, %	3,30	2,64	2,97	3,63	3,96
NPV, tuh €	159,5	162,8	161,2	157,9	156,2
IRR, %	21,4	21,7	21,5	21,3	21,1
Tasuvusaeg, a	4	4	4	5	5

Tabel 5.3 Rahastamisparameetrite mõju tasuvusnäitajatele



Joonis 5.1 Rahastamisega seotud tegurite mõju projekti nüüdisväärtusele

mist odavam hinnaga. Hinna tõusu korral on muutuse mõju suur – juba ostuhinna 2% tõusuga väheneb NPV väärtus 52,5% võrra ($IRR=16,8\%$). Ostuhinna 0,540 €/kg (0,372 €/Nm³) korral on IRR väärtuseks 11,6% ja tasuvusajaks 11 aastat. Hinna 0,550 €/kg (0,378 €/Nm³) juures ei ole projekt baasvariandi parameetrite korral enam 15 aasta jooksul tasuv.

Juhtum 2 - Biometaani tarnimine maagaasivõrgu kaudu.

Variant (juhtum) rajaneb järgmiste Viljandimaal paiknevate loomakasvatusefarmide potentsiaalsel biogaasitoodangul: AS Rakvere Farmid sigala (võimalik biogaasitoodang keskmiselt 304 Nm³/h), OÜ Saimre veiselaut (u 108 Nm³/h), Saimre Seakasvatuse OÜ sigala (19 Nm³/h) ja OÜ Kõpu PM veiselaut (91 Nm³/h) biometaani tunnis. Valitud farmide biogaasitoodang oleks kokku 522 Nm³/h. Biogaas metaanisaldusega 60% puhastatakse ja vääristatakse vesipesumeetodil 98% metaanisaldusega biometaaniks. Metaani kaoks puhastamisprotsessis on võetud 1,5%. Seega saaks toota biometaani 314,8 Nm³/h. Töötundide arvuks nimikoormusel on võetud 8000 h aastas. Tulemusena moodustaks biometaani toodang aasta jooksul 2,518 MNm³ ehk 1,733 tuh t.

Variandi investeeringukuludest (baasvariandis 213,0 tuh €) moodustab valdava osa liitumistasu maagaasivõrguga (180 tuh €). Tegelikult on biogaasi tootmise suurima potentsiaaliga AS Rakvere Farmid maagaasivõrguga ühendatud. Maagaasi tarbijana ollakse liitunud B-kategooria torustikuga, kuid biometaani võrku sisestamiseks tuleb sõlmida vastav liitumisleping. Kuna sealset maagaasivõrgus on töörohk keskmiselt 2,7–2,8 baari, biogaasi vesipesupuhastusest väljub biometaan aga rõhul 7–10 baari, siis vajadust investeerida kompressori(te)sse ei ole. Teiseks investeeringu elemendiks (33 tuh €) on ühendustorustik biometaani jaamast kuni maagaasivõrguni.

Käidukuludes moodustab suurima osa biometaani ostukulu, baasvariandis on ostuhinnaks 0,520 €/kg. Teiseks suuremaks käidukuluks on biometaani maagaasivõrgus edastamise kulu.

Kuna eesmärgiks on biometaani kasutamine mootorikütusena, siis on müügihinna määramisel baasvariandis lähtutud praegusel ajal gaasitanklates müüdava surugaasi hinnast – 0,779 €/kg (käibemaksuga). Käibemaksuta hind on 0,649 €/kg, millele vastab mahuühiku hind 0,447 €/Nm³. Siinkohal on tehtud oletus, et biometaani maagaasivõrku andmisel ostab sama võrku kasutatav surugaasi tanklates müüv ettevõtja selle ära hinnaga 0,584 €/kg. Hind on tuletatud surugaasi tanklahinnast 0,649 €/kg, millest on lahutatud surugaasi müüja tinglikuks kasumiks arvestatud 10% (0,0649 €/kg). Baasvariandis jääb gaasi edastustasu biometaani võrku sisestaja kanda.

Kuludes sisalduvad ka kapitalikulu ja põhjendatud tulukus.

Baasvariandi parameetrid ja arvutustulemused on esitatud tabelis 5.4.

Baasvariandi arvutused näitavad tasuvust kümnendal aastal. Analoogiliselt tankla variandiga tuleb tulemustesse suhtuda ettevaatlikult, sest tegemist on erinevatest allikatest kogutud algandmetega ja osaliselt eksperthinnangutega, mis lähtusid kõigi kulude maksimaalsest minimeerimisest.

Olulisemaks tasuvuse mõjuriks on biometaani ostuhind – 0,520 €/kg (0,358 €/Nm³), mis võib tegelikkuses osutuda kõrgemaks. Ka peab arvesse võtma, et arvutused on tehtud kõrge subsideerimise eeldusel – toetus moodustab 50% kogu investeeringu mahust.

Olulisemate kulukomponentide mõju analüüsimiseks projekti tasuvusele on läbi viidud tundlikkuse analüüs, milles on arvestatud järgmiste parameetrite mõju: inves-

Näitaja	Ühik	Väärtus
Biometaani kogus	t (tuh Nm ³)	1732,0 (2518,0)
Investeering	tuh €	213,0
s.h omakapital	tuh €	21,3
laen	tuh €	85,2
toetus	tuh €	108,5
Biometaani ostuhind	€/kg	0,584
Biometaani müügihind	€/kg	0,649
NPV	tuh €	22,2
IRR	%	12,0
Tasuvusaeg	aasta	10

Tabel 5.4 Biometaani müük maagaasivõrku (baasvariant)

Parameetrid ja tasuvuse näitajad	Baas-variant	Parameetrite muutuse määr			
		-20%	-10%	10%	20%
Investeering, tuh €	213,0	170,4	191,7	234,3	255,6
NPV, tuh €	22.2	48.1	35.1	9.0	-4.1
IRR, %	12.0	16.9	14.2	10	8.2
Tasuvusaeg, a	10	6	8	12	13
Diskontomäär, %	8.762	7.010	7.886	9.638	10.514
NPV, tuh €	22.2	37.3	29.5	15.6	9.4
IRR, %	12.0	12.0	12.0	12.0	12.0
Tasuvusaeg, a	10	9	10	10	11
WACC, %	5.80	4.64	5.22	6.38	6.96
NPV, tuh €	22.2	28.5	25.3	18.8	21.3
IRR, %	12.0	12.9	12.4	11.5	11.9
Tasuvusaeg, a	10	9	9	10	10
Laenuintress, %	3.30	2.64	2.97	3.63	3.96
NPV, tuh €	22.2	24.4	23.3	21.1	20.0
IRR, %	12.00%	12.3	12.2	11.9	11.7
Tasuvusaeg, a	10	9	10	10	10

Tabel 5.5 Rahastamisparameetrite mõju tasuvusnäitajatele

teeringu suurus, diskontomäär, laenuintress ja WACC (vt tabel 5.5). Lisaks uuriti biometaani ostu- ja müügihinna mõju.

Projekti nüüdispuhasväärtuse suhtelist muutumist sõltuvalt projekti rahastamise parameetritest kajastab joonis 5.2.

Nagu näha avaldab tundlikkuse analüüsi kaasatud parameetritest suurimat mõju investeeringu suurus. Näiteks 20% vähenemise korral (investeering 255,6 tuh €) kasvaks NPV väärtus enam kui kahekordseks, 20% võrra suurema investeeringu vajamisel muutuks NPV negatiivseks.

Projekti tasuvus on kõige tundlikum biometaani ostu- ja müügihinna tasemete suhtes. Nagu eespool selgitatud, on biometaani müügihinnaks baasvariandis 0,584 €/kg, millele vastab 0,402 €/Nm³. See kajastab olukorda, kus müüdnud koguse biometaani edastuskulud jäävad biometani võrku sisestaja kanda.

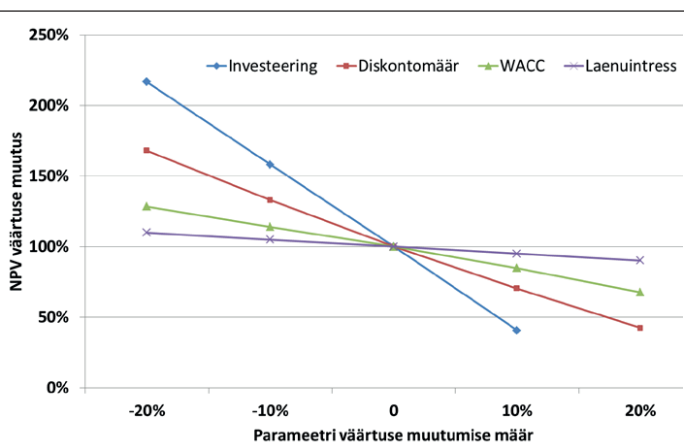
Biometaani ostuhinnaks on, nagu oma tanklaga variandiski, 0,520 €/kg (0,358 €/Nm³). Lähtudes käesoleva uuringu käigus läbi töötatud materjalidest (vt ülevaadet 1. peatükis ja käesoleva peatüki lõpus) ei saa pidada tõenäoliseks võimalust osta biometaani sellest madalama hinnaga. Teiselt poolt, arvutuse aluseks olevatel tingimustel muudaks ostuhinna minimaalne tõus projekti 15 aasta jooksul mittetasuvaks.

Eraldi on arvutatud tasuvuse variant, mille korral edastuskulud jäävad biometaani tanklas müüva ettevõtja (sisuliselt siiski ostja) kanda. Sellisel juhul jäävad võrku andja käidukulud väiksemaks, kuid alaneb ka võimalik hind, millega võrku andja saab biometaani müüa – 0,530 €/kg (0,365 €/Nm³). Projekti tasuvuse osas see kulude-tulude ümberpaigutamine suurt erinevust baasvariandist ei põhjusta: NPV=21,5 tuh €, IRR=11,9% ja tasuvusajaks 10 aastat.

Projekti üldist tasuvust võib oluliselt muuta konkreetse objekti kohta määratud maagaasivõrguga liitumise tasu suurus, kusjuures võimalik peaks olema ka investeeringuvajaduse vähenemine. Viimane variant oleks võimalik juhul, kui võrgu valdaja ja opereerijaga saavutatakse kokkulepe kulude osalise omavahelise jagamise osas.

Juhtumianalüüside kokkuvõtte

1. Käesoleva uuringu raames teostatud tasuvusarvutuste kasutamisel tuleb arvestada, et arvutuste aluseks olevad maksumused põhinevad suurel hulgal välisallikatel, sest Eestis biometaani ei toodeta, järelikult puudub siin ka igasugune kohalik kogemus biometaani tarnimiseks maagaasivõrku või müümiseks tanklas otse biogaasi puhastusjaama lähistest.
2. Investeeringute ja ka käidukulude taseme määramiseks töötati läbi suurel hulgal veebis ja ajakirjanduse



Joonis 5.2 Rahastamisega seotud tegurite mõju projekti nüüdisväärtusele

ses ning kirjanduses avaldatud andmeid. Valdavalt kasutati Rootsi, Saksamaa, Hollandi, Austria, Soome ja Taani, kuid ka Itaalia, Brasiilia, Kanada ja USA allikaid. Lisaks saadi majandusnäitajaid mitme rahvusvahelise koostööprojekti materjalidest (vt kirjandusviited 33-73) Küsitleti ka mitmeid kohalikke spetsialiste.

- Tuleb rõhutada, et andmed erinvesteeringute kohta kõiguvad väga suures ulatuses.
 - Üheks olulisemaks põhjuseks on erinvesteeringu tugev sõltuvus projekti suurusest (rahalisest mahust). Selline sõltuvus kehtib nii biogaasi kui ka biometaani tootmisel ning samuti gaasi müügil.
 - Teiseks suurte erinevuste põhjuseks investeeringu suurustes on ilmselt hindade taseme (seadmed, tööjõud, energia) erinevused riikide vahel.
 - Kolmandaks oluliseks mõjuriks on mitmesugused toetused taastuvenergia tootmisega alustamisel. Viimane põhjus mõjutab ka käidukulude arvu- tamist. Investeeringute korral võib toetuste mõju olla otsene kuid ka kaudne. Viimasel juhul võta- vad ka seadmete tarnijad oma hindade määramisel arvesse, kas projekt teostatakse (ELi või riiklike) toetuste abil või ilma. Loomulikult tuleb biogaasi tootmise hinnataseme juures arvesse võtta kasu- tatud substraadi liiki ja omadusi (nt prügilagaasi puhastamine on märksa kallim kui loomakasvatuse- jäätmetest toodetud biogaasi puhastamine).
3. Tasuvusarvutused ja nende tulemuste tundlikkuse analüüs põhiparameetrite suhtes näitasid, et võtme- mõjuriks on biometaani hind, mis hakkab otseselt sõl- tuma surugaasi hinnast, mis müügil mootorikütusena on püsinud suhteliselt stabiilne. Tulenevalt vajadusest olla konkurentsivõimeline mootorikütuste turul, on surugaasi (maagaas; CNG) hinna kujundamisel läh- tutud põhiliselt bensiini ja diislikütuse hinnatasemest, mis omakorda sõltub otseselt nafta hinnast maailma-

turul. Seetõttu puudub käesoleva uuringu raames vajadus põhjalikumalt analüüsida biometaani müü- gihinda. Seega on biometaaniga kui mootorikütusega seonduva ahela – tootmine, vääristamine, edastamine, müük – majandusliku tasuvuse määravaks teguriks biogaasi ja -metaani hind.

4. Kõrvalmärkusena tuleb tõdeda, et välisallikate and- mete kasutamisel tuleb olla väga tähelepanelik ka selles osas, mille kohta maksumused esitatakse – kas tegemist on biogaasiga toorgaasina või juba puhasta- tud/vääristatud biometaaniga; kui kasutatakse mahu- ühikuid, siis milline on vastav rõhk ja temperatuur. Mõnel juhul esitatakse erinvesteering võimsuse või seadme tunnikulu (nt kW või m³/h) kohta. Seejuures on gaaside kohta kasutatavatel nn standard- ja nor- maaltingimustel erinevates riikides erinevaid määrat- lusi. Ka tihedus varieerub biogaasi korral palju, olles biometaani tihedusest oluliselt suurem. Kulutuste juures on oluline, millisest substraadist on biogaas toodetud. Kuna enamikul juhtudel on kaasatud toetu- sed, siis on oluline nende mõju arvestamine. Paljudel juhtudel esitatakse hinnad gaasis (biogaasis või bio- metaanis) sisalduva energiaühiku kohta, mistõttu võib osutuda võimatuks üleminek naturaaliühiku hinnale, kui puudub vastav kütteväärtus või metaani sisaldus. Ka võivad andmed biogaasi vääristamisest maagaasi kvaliteedini anda vähe teavet, kuna maagaasi omadu- sed erinevad riigiti oluliselt. Kahjuks nähtub ka Eestis valminud uuringutes ja neis kasutatud andmetest, et mitte alati ei ole andmete käsitus olnud korrektne. Lisaks on paljudel juhtudel hinnad esitatud kohalikus vääringus, mistõttu tuleb kasutada andmetele vastava aasta valuutade vahetuskurssi. Kui mõned vajalikud taustandmed puuduvad, siis kahaneb esitatud and- mete väärtus oluliselt või muutuvad need sisuliselt kasutamatuks.

Allikas	Kulu liik	Ühik	Maksumus
Biogas to biomethane ..., 2012	Investeering (100 m ³ /h, bm)	€/ (m ³ /h)	10100
	Investeering (500 m ³ /h, bm)	€/ (m ³ /h)	3500
	Käidukulud (100 m ³ /h, bm)	€/m ³	0,140
	Käidukulud (500 m ³ /h, bm)	€/m ³	0,091
Technology data ..., 2012	Investeering (200 m ³ /h, bg)	€/ (Nm ³ /h)	3500
	Käidukulud (200 m ³ /h, bg)	€/Nm ³	0,03-0,05
Lems, R., Dirkse, E., 2011	Investeering (550 Nm ³ /h, bm)	tuh €	800,0
	Käidukulud (550 m ³ /h, bm)	€/m ³	0,25
Weidenaar, T. D., 2014	Investeering (100 m ³ /h, bm)	tuh €	640,0
	Investeering (550 m ³ /h, bm)	tuh €	1419,0
	Käidukulud (100 m ³ /h, bm)	tuh €/a	34,0
	Käidukulud (550 m ³ /h, bm)	tuh €	41,0
de Hullu, J., 2008 ^a	Investeering (144 m ³ /h, bm)	tuh €	265,0
	Käidukulud (144 m ³ /h, bm)	tuh €	110,0
	Biometaani tootmiskulu (144 m ³ /h)	€/Nm ³	0,13
DMT	Investeering (600 m ³ /h, bm)	€/m ³ ^b	2000
	Käidukulud (600 m ³ /h, bm)	€/m ³	0,061
Scholz, M., 2013	Vääristamise erikulu	€/kWh	1,25

Tabel 5.6 Vesipesu erimaksumused

Märkused: a – maksumused ilma H₂S eemaldamiseta; b – tõenäoliselt peab ühikuks olema €/ (m³/h) /S.S./ bg – biogaas; bm – biometaan

5. Lähtudes mitmetest kriteeriumidest (vt ptk 1) valiti käesolevas uuringus analüüsitavatele biogaasi tootmise variantidele sobivatena välja vesipesu ja membraanpuhastuse tehnoloogiad, siis on järgnevalt antud kokkuvõtlik ülevaade nendel tehnoloogiatel põhinevate puhastustehnoloogiate kasutamise maksumusest (vt tabelid 5.6 ja 5.7).

Biometaani kuluelementide kohta on Saksamaa andmeid esitanud M. Poeschl (2010): tootmine 3,5-8,0 €/kWh sõltuvalt substraadist, jaama võimsusest ja biogaasi metaanisaldusest; vääristamine 2,0-6,0 €/kWh ja võrku sisestamine ning seal edastamine 0,3-2,0 €/kWh sõltuvalt kogusest ja edastamise vahe- maast.

Siinkohal võib refereerida Rootsi Gaasitehnoloogia Keskuse (SGC) poolt äsja avaldatud üldisemat ülevaadet mootorikütusena kasutatava biometaani müügihinna kujunemise kohta, mis põhineb Rootsis küsitluse teel kogutud andmetel (Vestman, J. jt, 2014). Originaalis Rootsi kroonides esitatud statistilised andmed kogu biometaani ahela (biogaasi tootmisest kuni tanklas väljastamiseni) kulude kohta on teisendatud eurodesse kasutades 2012. a keskmist valuutavahetuskurssi (1 SEK = 0,11489 EUR; Eurostat) ja esitatud tabelis 5.8.

Refereeritavas aruandes rõhutatakse, et andmete

saamine kulude kohta on raskendatud ja seetõttu põhinevad esitatud andmed piiratud valimil ning neid ei saa lugeda esinduslikuks kogu Rootsi biometaani sektori kohta.

6. Nimetatud statistika kinnitab üldist seisukohta, et biometaani maagaasivõrku sisestamise, seal edastamise ja tanklatega seotud kulud moodustavad väikese osa kogu ahela kuludest. Biogaasi vääristamine, eriti aga tootmine, on kulude struktuuris valdava osatähtsusega, seejuures on oluline tähtsus biogaasi liigil, s.t millest biogaasi toodetakse. Tootmiskulude tasemele on lisaks toorainele määrava tähtsusega ka tootmismahd, sest mastaabitegur mõjutab erikulusid nii biogaasi tootmisel kui puhastamisel väga suurel määral. Saksamaal on leitud, et biometaani tootmise majandusliku tasuvuse alumine lävi jääb tootmis- seadmete võimsusvahemikku (tunnikulu) 250 – 500 m³/h (M. Poeschl, 2010).
7. Selgitamaks biometaani tootmise ja transpordis kasutamise potentsiaali ja tasuvust Eestis, oleks vaja analüüsida majanduslikku olukorda biogaasi tootmisel, sest biometaani hinnaahela kõige olulisem element on just seal. Kulukuselt järgmine on vääristamine ja alles seejärel tulevad lõpptarbijale kõige lähemal asuvad lülid – tanklad, seejuures maagaasivõrgus edastamisega või ilma selleta.

Allikas	Kulu liik	Ühik	Maksumus
Biogas to biomethane ..., 2012	Investeering (100 m ³ /h, bm)	€/m ³ /h	7300-7600
	Investeering (500 m ³ /h, bm)	€/m ³ /h	3500-3700
	Käidukulud (100 m ³ /h, bm)	€/m ³	0,108-0,158
	Käidukulud (500 m ³ /h, bm)	€/m ³	0,065-0,101
Lems, R., Dirkse, E., 2011	Investeering (550 Nm ³ /h, bm)	tuh €	>1500
	Käidukulud (550 m ³ /h, bm)	€/m ³	0,30-0,50
de Hullu, J., 2008 ^a	Investeering (130 m ³ /h, bm)	tuh €	233,0
	Käidukulud (130 m ³ /h, bm)	tuh €	81,75
	Biometaani tootmiskulu (130 m ³ /h)	€/Nm ³	0,12
DMT	Investeering (600 m ³ /h, bm)	€/m ³ ^b	1800
	Käidukulud (600 m ³ /h, bm)	€/m ³	0,055
Scholz, M., 2013	Vääristamise erikulu	€/kWh	1,35

Tabel 5.7 Membraanpuhastuse erimaksumused

Märkus: a – maksumused ilma H₂S eemaldamiseta; b – tõenäoliselt peab ühikuks olema €/m³/h /S.S./ bg – biogaas; bm – biometaan.

Näitaja	Biogaasi tootmine	Vääristamine	Edastamine maagaasi-võrgus	Tanklakulud	Kokku
Mediaan	0,062	0,036	0,007	0,005	0,111
Aritmeetiline keskmine	0,099	0,037	0,009	0,008	0,155

Tabel 5.8 Statistilised andmed biometaani kuluelementide kohta Rootsis (2012), €/kWh

Kirjandus

1. Lems, R. & Dirkse, E.H.M. 2010: Small scale biogas upgrading: Green gas with the DMT Carborex-MS® system. 15th European Biosolids and Organic Resources Conference, organised by Aqua Enviro Technology Transfer.
2. de Hullu, J., Maassen J.L.W., van Meel, P.A., Shazad, S., Vaessen J.M.P. 2008: Comparing Different Biogas Upgrading Techniques. Eindhoven University of Technology.
3. Uuring „Eri tüüpi sõnniku toitaiste sisalduse arvestuslike väärtuste, põllumajandusloomade loomühikuteks ümberarvutamise koefitsientide ning sõnnikuhoidlate mahu arvutamise aluste ja miinimummahtude väljatöötamine ning sõnnikuga seotud näitajate arvutamise tarkvara väljatöötamine“, A. Kaasik, Tartu 2013,
4. Keskkonnaministri 5.detsembri 2008.a määruse nr 48 „Looma- ja linnukasvatusest välisõhku eralduvate saasteainete heitkoguste määramismeetodid“ lisa, <https://www.riigiteataja.ee/akti-lisa/0000/1308/6529/lisa.pdf#> (1.06.14)
5. Biogaasi tootmise ja kasutamine, käsiraamat, Eesti Põllumeeste Keskliit, Tartu 2009; http://tek.emu.ee/userfiles/taastuenergia_keskus/biogaasiraamat_veebiversioon.pdf
6. Planning and Installing Bioenergy Systems: A Guide for Installers, Architects and Engineers, 2005, [http://books.google.ee/books?id=OFTIY81crJUC&pg=PA59&lpg=PA59&dq=manure+dry+matter+biogas&source=bl&ots=BO6bTB9XgD&sig=dfr04E_uf5Yesn0eRz5cGyXL6KE&hl=en&sa=X&ei=riNqU9mrIcTaygPBsoGAAw&ved=0CE0Q6AEwAg#v=onepage&q=manure%20dry%20matter%20biogas&f=false_\(02.06.14\)](http://books.google.ee/books?id=OFTIY81crJUC&pg=PA59&lpg=PA59&dq=manure+dry+matter+biogas&source=bl&ots=BO6bTB9XgD&sig=dfr04E_uf5Yesn0eRz5cGyXL6KE&hl=en&sa=X&ei=riNqU9mrIcTaygPBsoGAAw&ved=0CE0Q6AEwAg#v=onepage&q=manure%20dry%20matter%20biogas&f=false_(02.06.14))
7. Biogas to biomethane technology review. Vienna University of Technology (Austria), Institute of Chemical Engineering. May 2012.
8. Lems, R., Dirkse, E. Making pressurized water scrubbing the ultimate biogas upgrading technology with the DMT Carborex® PWS system. DMT Environmental Technology. 2011.
9. Scholz, M., Melin, T., Wessling, M. Transforming biogas into biomethane using membrane technology. Renewable and Sustainable Energy Reviews 17 (2013), pp 199–212.
10. Technology data for energy plants. Generation of Electricity and District Heating, Energy Storage and Energy Carrier Generation and Conversion. Danish Energy Agency and Energinet.dk. Maj 2012.
11. Weidenaar, T. D. Designing the biomethane supply chain through automated synthesis. PhD Thesis. Faculty of Engineering Technology (CTW) of the University of Twente. Enschede. 27 March 2014.

