

MTT | RAPORTTI 52

Biogaasi tootmise ja kasutamise pilootuuring Lääne-Virumaal

Ülo Kask, Janita Andrijevskaia, Livia Kask, Priit Heinla
Tiit Kallaste, Anton Laur, Anne Menert, Sirje Pädam



Tallinna Tehnikaülikool
SA Stockholmi Keskkonnainstituudi
Tallinna Keskus

Biogaasi tootmise ja kasutamise pilootuuring Lääne-Virumaal

Jäätmed mootorikütuseks
Projekt „From Waste to Traffic Fuel“ (W-Fuel)

Ülo Kask, Janita Andrijevskaia, Livia Kask, Priit Heinla,
Tiit Kallaste, Anton Laur, Anne Menert, Sirje Pädam



ISBN: 978-952-487-380-2 (painettu)

ISBN: 978-952-487-381-9 (verkkajulkaisu)

ISSN 1798-6419

<http://www.mtt.fi/mtrraportti/pdf/mtrraportti52.pdf>

Copyright: MTT

Kirjoittajat: Ülo Kask, Janita Andrijevskaia, Livia Kask, Priit Heinla,

Tiit Kallaste, Anton Laur, Anne Menert, Sirje Pädam

Julkaisija ja kustantaja: MTT Jokioinen

Julkaisuvuosi: 2012

Kannen kuva: MTT:n kuva-arkisto

Sissejuhatus

Uued eesmärgid taastuvate energiaallikate kasutamisel võeti ELis vastu 2009. aastal. Nende eesmärkide kohaselt tuleks ELis aastaks 2020 tõsta taastuvenergia osakaal energia lõpptarbimises 20%-ni, suurendada energiatõhusust 20% ning vähendada kasvuhoonegaaside (KHG) heitkoguseid 20%. Transpordisektoris on taastuvenergiaallikatest toodetavate kütuste kasutamise kohustuslik miinimumeesmärk 2020. aastaks 10% sektori energiatarbimisest. Need eesmärgid puudutavad kõiki ELi riike (direktiiv 2009/28/EÜ).

Käesoleva pilootuuringu aruanne on koostatud Euroopa Liidu Kesk-Läänemere INTERREG IVA programmi 2007-2013 Lõuna-Soome ja Eesti allprogrammi projekti “Jäätmed mootorikütuseks” („From Waste to Traffic Fuel, W-Fuel“) raames, mille peamine eesmärk on edendada biogaasi tootmist ja selle kasutamist mootorikütusena.

Projekti pilootaladeks Eestis on valitud kaks maakonda: Harju ja Lääne-Viru. Selles aruandes keskendutakse Lääne-Viru maakonnale¹. Aruande eesmärk on soodustada tõhusat biogaasi tootmist ja selle kasutamist transpordikütusena Lääne-Viru maakonnas kui ühes projekti *W-Fuel* sihtpiirkonnas. Aruanne hõlmab Lääne-Virumaa biomassiressursside süsteemset analüüsi, biogaasi tootmise stsenaariume ja võimaliku biogaasijaama teostatavuse eeluuringut ning kirjeldab võimalusi biogaasi kasutamiseks transpordikütusena. Biogaasi tootmise ja kasutamise keskkonna- ning majandusmõju hindamiseks võrreldi biogaasi tootmise edendamise stsenaariumi tavapärase (senise) arengu jätkumist eeldava stsenaariumiga. Võimalike edasiste arengusuundade võrdlemiseks uuriti ka biojätmete võimalike vältimismeetmete mõju.



Joonis 1. Lääne-Viru maakonna kaart

Eestis elanike arvult viiendal (1.01.2010 seisuga 66 324 elanikku) ja pindalalt neljandal (3626,6 km²) kohal olev Lääne-Virumaa maakond asub Kirde-Eestis. Maakonna keskus on Rakvere linn, kus elab 16 991 elanikku (seisuga 05.04.2010). Harju maakonna koosseisu kuulub 15 kohaliku omavalitsuse üksust (joonis 1). Suurimad tööstuslike biojätmete ja reoveesetete tekitajad Lääne-Virumaal on AS Rakvere Lihakombinaat, AS Rakvere Vesi ja AS Estonian Cell.

Projekti *W-Fuel* sihtpiirkonnad – Harju- ja Lääne-Virumaa valiti välja seetõttu, et nendes regioonides tekkis 2006. ja 2007. aastal (projekti ettevalmistamise ajal) kõige rohkem

¹ Aruande Harju maakonna kohta saab alla laadida projekti koduleheküljelt www.wfuel.info

biojätmeid ja reoveesetet Eestis. 2007. aastal andsid Harju- ja Lääne-Virumaa kokku 52% Eesti biojätmetest ja 62% reoveesetest.

Projekti finantseeritakse Euroopa Regionaalarengu Fondist (ERDF), Eestis toetab projekti kaasfinantseerijana Keskkonnainvesteeringute Keskus (KIK).

Projekti juhtpartner on Soome Põllumajandus- ja Toiduainete Uuringute Instituut (*MTT Agrifood Research Finland*), teised partnerid on Helsingi Piirkonna Keskkonnateenistus (*HSY*), Tallinna Tehnikaülikooli Soojustehnika Instituut ning SA Stockholmi Keskkonnainstituudi Tallinna Keskus. Eesti-poolsed projekti toetavad partnerid on EV Keskkonnaministeerium, Tallinna Keskkonnaamet, Lääne-Viru Maavalitsus, OÜ Baltic Biogas, OÜ Mõnus Minek, AS Terts ja Saare Maavalitsus.

Märksõnad

Biojätmed, reoveesete, sõnnik, energiakultuurid, biogaas, biogaasijaam, biogaasi puhastamismeetodid, biometaan, mootorikütus, jäätmetekke vältimine, keskkonna- ja majandusliku mõju hindamine, tasuvusanalüüs.

SISUKORD

1. BIOJÄÄTMETE JA REOVEESETTE KOGUSTE KAARDISTAMINE JA JÄÄTMETEKKE VÄLTIMINE.....	6
1.1. Biojäätmete ja reoveesette kogused 2006-2008 ja prognoos aastaks 2020	6
1.2. Meetmed biojäätmete ja reoveesette vältimiseks	8
1.3. Näiteid biojäätmete ja reoveesette tekke vältimisest Eestis.....	8
2. BIOGAASI TOOTMISVÕIMALUSED LÄÄNE-VIRUMAAL	10
2.1. Biogaasi potentsiaal maakonnas.....	10
2.2. Variant A: praeguse arengusuunaga jätkamine	12
2.3. Variant B: näitliku biogaasijaama paiknemine ja tehnoloogia.....	13
2.3.1 Biogaasijaama kavandatud asukoht Lääne-Viru maakonnas.....	13
2.3.2. Biogaasijaama tehnoloogia ja seadmete valik	15
2.3.3. Biogaasi tootmisprotsess	17
3. BIOMETAANI KASUTAMINE TRANSPORDIKÜTUSENA 2020. AASTAL.....	22
3.1. Biogaasi tootmis- ja puhastamisjaama asukoht.....	22
3.2. Biogaasitoorme transport.....	23
3.3. Biogaasi puhastamismeetod.....	23
3.4. Biometaani potentsiaalsed kasutajad	24
3.5. Biometaanitankla	26
3.6. Tuleviku arengusuunad	27
4. KESKKONNA- JA MAJANDUSLIKU MÕJU HINDAMINE LÄÄNE-VIRUMAAL.....	29
4.1. Toidujäätmete vältimise mõju	29
4.2. Biogaasi tootmise ja kasutamise keskkonna- ja majandusmõju	30
5. KOKKUVÕTE.....	34
6. KASUTATUD KIRJANDUS	36

1. Biojätmete ja reoveesete koguste kaardistamine ja jäätmetekke vältimine

Projekti *W-Fuel* üks tegevustest oli suunatud biojätmete ja reoveesete tekke vältimisele. Eesti projektipartnerite poolsed tulemused selles valdkonnas on kirjeldatud aruandes „*Biojätmed ja reoveesetted Harjumaal ja Lääne-Virumaal. Juhend jäätmetekke vältimise programmi koostamiseks*“, millega saab tutvuda projekti kodulehel www.wfuel.info.

Jäätmekäitlusjaamu projekterides hinnatakse sihtpiirkondade jäätmekogused tihtipeale liiga suurteks. Projekti *W-Fuel* üheks põhieesmärgiks on kavandada realistlikke plaane biogaasijaamade rajamiseks, kus võimalikud toorainekogused tulevikus vastaksid tegelikule jätmete hulgale, mis suunatakse taaskasutusse pärast jätmete tekke vähendamise abinõude rakendamist. Seetõttu pööratakse projektis olulist tähelepanu ka jäätmetekke vältimisele ja prognoositakse vastavate meetmete mõju biojätmete ja reoveesete koguste muutumisele tulevikus.

Põhitegevused kahe Eesti projektipiirkonna (Harjumaal ja Lääne-Virumaal) kohta olid järgmised:

- Selgitati välja biojätmete (liikide lõikes) ja reoveesete kogused aastail 2006-2008,
- Prognoositi nende koguste arengutrende aastani 2020, arvestades erinevate vältimismeetmete mõju,
- Analüüsiti ja kirjeldati erinevate vältimismeetmete võimalusi jäätmetekke vältimise kavade koostamiseks.

Enamik kasutatud statistilistest andmetest biojätmete ja reoveesete koguste kohta on saadud Eesti Keskkonnateabe Keskuse (KTK) andmebaasist. Lisaks statistilistele andmetele kasutati ka intervjuude käigus saadud andmeid. Töö käigus intervjueriti 25 ettevõtet ja institutsiooni, eeskätt suurimaid biojätmete ja reoveesete tekitajaid. Intervjuude põhiteemad olid biojätmete ja reoveesete kogused, koostis ning käitlemis- ja vältimise meetodid.

Oluliseks probleemiks jäätmeandmete kogumisel ja analüüsimisel oli nende usaldusväärsus. Tuleb arvestada, et KTK andmed jäätmekoguste kohta võivad olla ebatäpsed, kajastades näiteks kogutud, mitte reaalselt tekkinud jäätmekoguseid. Andmekvaliteet sõltub paratamatult andmeandja (jäätmetekitajad ja -käitlejad) tahtest esitada KTK-le adekvaatseid andmeid. Eeskätt just andmete usaldusväärsuse hindamiseks intervjueriti täiendavalt ka spetsialiste Keskkonnaministeriumis, Jäätmekäitlejate Liidus, Tallinna Keskkonnaametis ja Lääne-Viru Jäätmekeskuses. Andmete usaldusväärsuse aspekti tuli loomulikult arvestada ka biojätmete ja reoveesete koguste prognoosimisel.

1.1. Biojätmete ja reoveesete kogused 2006-2008 ja prognoos aastaks 2020

Prognooside saamiseks koostati kahte tüüpi stsenaariumid. Esimene stsenaarium (A) vastab olukorrale, kus riik ei rakenda erilisi jäätmetekke vältimise meetmeid (ei majapidamistes ega tööstussektoris). See on nn „*Business As Usual*” (BAU) stsenaarium (tavapärase äritegevuse ehk senine areng). Teine stsenaarium (B) vastab olukorrale, kus riigis jõustuvad mitmed jäätmetekke vältimise regulatsioonid (sh ka need meetmed, mida on lähemalt vaadeldud käesolevas töös). Prognooside baasaastaks võeti partneritevahelisel kokkuleppel 2008. Sõltuvalt vältimise meetmete edukusest, esitati stsenaariumi B prognoos aastaks 2020 kolme alamstsenaariumina:

B1 – biojätmete kogus väheneb 1-2% võrreldes 2008. aasta kogusega ja reoveesette kogus jääb samale tasemele,

B2 – biojätmete kogus väheneb 15% ja reoveesette kogus 10% võrreldes 2008. aasta kogustega,

B3 – biojätmete kogus väheneb 30% ja reoveesette kogus 20% võrreldes 2008. aasta kogustega.

Stsenaariumid **B2** ja **B3** on soovitatud projekti juhtpartneri poolt (*MTT Agrifood Research Finland* – Soome Põllumajandus- ja Toiduainete Uuringute Instituut).

Kuna aluseks olev statistika on lühikese perioodi kohta, tuginevad prognoosid vaid eksperthinnangutel ja juhtpartneri meetodilistel soovitustel. Lisaks kaasati prognoositulemuste hindamisel eksperte Eesti Keskkonnaministeeriumist ja Tallinna Tehnikaülikooli Keskkonnatehnika instituudist.

Töö tulemused Lääne-Virumaa kohta on esitatud alljärgnevas tabelites. Biojätmete ja reoveesette kogused on toodud tabelis 1, nende koguste prognoosid aastaks 2020 on esitatud tabelis 2.

Tabel 1. Biojätmed ja reoveesetted Lääne-Virumaal 2006-2008, tonni

Jäätmeliik	2006	2007	2008	
			Kokku	sh maja- pidamised
Biojätmed toiduainetetööstuselt	75 483	60 994	6 334	-
sh: Loomsete kudede jäätmed (liha- ja kalatööstus)	6 385	29	6 334	-
Tarbimiskõlbmatud materjalid toiduainete valmistamisest liha- ja kalatööstuselt	2	-
Tarbimiskõlbmatud materjalid piimatööstuselt	16	15	...	-
Piirituse destilleerimisjäätmed	69 080	60 950	...	-
Olmejäätmed (kodumajapidamisjäätmed, samalaadsed kaubandus-, tööstus- ja ametiasutusjäätmed), sh liigiti kogutud jäätmed	7 409	7 533	5 099	2 827
sh: Biolagundatavad köögi- ja sööklajajäätmed	...	2	4	-
Toiduõli ja -rasv	11	76	110	-
Biolagundatavad aia- ja haljastusjäätmed	122	1 467	305	65
Biojätmete osa (40%) segaolmejäätmetes	7 276	5 988	4 680	2 762
BIOJÄÄTMED KOKKU	82 892	68 527	11 433	2 827
REOVEESETTED		71 176	67 371	

Tabelist 1 näeme, et nagu Tallinnas ja Harjumaal, on ka Lääne-Virumaal mõnede jäätmeliikide koguste osas aastate lõikes suuri erinevusi. Siin on peamine põhjus eeskätt selles, et piirkond on suhteliselt väike ja olulised muutused (nt pankrot, tootmistehnoloogia muutus jm) isegi juba ühe suurema jäätmetekitaja juures võib märkimisväärselt muuta ühe või teise jäätmeliigi koguseid piirkonna kohta tervikuna.

Tabel 2. Biojätmete ja reoveesetete vältimise stsenaariumid Lääne-Virumaal aastaks 2020

Biojätmed

	STSENAARIUM A (BAU)	Vältimise stsenaariumid		
		B1	B2	B3
Muutus aastaks 2020	ca 11 %	ca -1%	-15%	-30%
Kogus 2008. a, t	11 433	11 433	11 433	11 433
Kogus 2020. a, t	12 692	11 354	9 718	8 003

Reoveesetted

	STSENAARIUM A (BAU)	Vältimise stsenaariumid		
		B1	B2	B3
Muutus aastaks 2020	ca 17%	0%	-10%	-20%
Kogus 2008. a, t	67 371	67 371	67 371	67 371
Kogus 2020. a, t	78 967	67 371	60 634	53 897

Koostatud prognoosid põhinevad eeldusel, et Eesti aastane majanduskasv jääb prognoosiperioodil 3-6% piiresse. Kui kasvutempo kujuneb oluliselt erinevaks, tulevad prognoosid uuesti läbi vaadata. Jätmete vältimise meetmete mõju prognoosimist (stsenaarium B) komplitseerib asjaolu, et lisaks riigi majanduse seisundile sõltub prognoostulemus nii valitud meetmetest kui ka nende rakendamise edukusest. Seetõttu kasutatigi töös kolme alamstsenaariumi, millest esimene (B1) on tõenäoliselt kõige realistlikum ning kolmas (B3) kõige optimistlikum.

1.2. Meetmed biojätmete ja reoveesete vältimiseks

Erilist tähelepanu pöörati biojätmete ja reoveesete tekke vältimismeetmete analüüsile ja nende võimalikule valikule jätmetekke vältimise kavade koostamisel. Seadusandliku tausta (nii EL kui kohalikul tasandil) analüüsi, biojätmete/reoveesete tekitajate intervjuerimise ja valdkonna võtmeekspertidega toimunud arutelude tulemusena koostati järgmine olulisemate vältimismeetmete gruppide loetelu:

Biojätmete tekke vältimismeetmed

A.1. Avaliku sektori poolt kasutatavad administratiivsed meetmed

A.1.1. Informatiivsed ja edendavad meetmed

A.1.2. Finantsmeetmed

A.1.3. Seadusandlikud ja muud regulatiivsed meetmed

A.2. Biojätmete tekke vältimismeetmed ettevõtetele, kodumajapidamistele ja ametiasutustele

A.2.1. Vältimine haljastuses ja aianduses

A.2.2. Vältimine tootlustuses, restoranides ja toiduainetetööstuses

A.2.3. Vältimine jaemüügis ja kaubanduses

B. Reoveesete tekke vältimismeetmed (sihtgrupiks avalik sektor ning olme- ja tööstusreovett töötlevad reoveepuhastusettevõtted)

Vältimismeetmete detailsemad kirjeldused loetletud meetmegruppide lõikes on toodud aruandes „Biojätmed ja reoveesetted Harjumaal ja Lääne-Virumaal. Juhend jätmetekke vältimise programmi koostamiseks“ (www.wfuel.info).

1.3. Näiteid biojätmete ja reoveesete tekke vältimisest Eestis

Enamikus allpool kirjeldatud näidetes on jätmetekke vältimise meetmeid võetud kasutusele eelkõige jäätmeäitluskulude vähendamiseks. Erandina võib siin välja tuua Eesti Toidupanga

kampaania, mille põhieesmärgiks on teadlik jäätmetekke vältimine ning väikese sissetulekuga perede aitamine.

Eesti Toidupank väldib toidu raiskamist ja kogub toitu puudust kannatavatele inimestele. Toidupank kogub toidukaubandusest ja toiduainetetööstuse ettevõtetest toiduaineid, millede “parim enne” tähtaeg saab peagi ületatud (või mis ei ole piisava kaubandusliku välimusega turustamiseks) ja vabatahtlike abil toimetatakse need toimetulekuraskustes inimestele (vt ka artiklit Eesti Toidupangast projekti uudiskirjas nr 1).

Koolidel ja hooldekodudel on pikaajaline toidujäätmete tekke vältimise traditsioon. Peamine toidujäätmete tekke vältimise meede seisneb inimestele ainult vajalikes (kontrollitud) kogustes maitsva ja tervisliku toidu valmistamises.

Lasteaiad ja päevakeskused tellivad oma toidu toitlustusasutustest. Kui toit jõuab kohale, jagatakse see suuremates nõudes (supitirin, vaagen, kauss) laudadele laiali, kust iga laps saab tõsta oma taldrikule nii palju, kui palju ta arvab ära söövat (näiteks kartulid, liha, supp, piim, salat). Nendelt taldrikutelt tuleb vähem biojätmeid, sest sööjad saavad valida neile meelepärast toitu parajates kogustes.

Toiduainetetööstuse ettevõtted. Selle tööstusharu suuremates ettevõtetes on köögid ja sööklad, mis pakuvad toitu oma töötajatele, samuti ettevõtete kauplused, kus müüakse oma toodangut või makstakse tööliste isegi osaliselt palka ettevõttes odavamaks hinnatud toodetega. Sel moel vähendatakse vajadusel kiiresti rikneva toodangu jääke.

Suurtoitlustusettevõtted. Peamine toidujäätmete tekke vältimise meede seisneb inimestele kontrollitud kogustes maitsva ja tervisliku toidu valmistamises. Teine vältimise võimalus on anda toidujätmed tasuta loomasöödaks. Sel juhul kogutakse kõik biojätmed spetsiaalsetesse konteineritesse ja mahutitesse.

Kruiisilaevade restoranid. Peamine toidujäätmete tekke vältimise meede seisneb inimestele kontrollitud kogustes maitsva, optimeeritud hinnaga ja tervisliku toidu valmistamises. Paljudes laevades pakutakse toidukordadest puutumata toidu ülejääke oma töötajatele tasuta ja koheselt söömiseks.

Haiglad tellivad samuti vajamineva toidu reeglina suurtoitlustusettevõtetest. Kõik toidujätmed kogutakse spetsiaalsetesse konteineritesse või mahutitesse. Tavaliselt varustavad jäätmekäitlusega tegelevad ettevõtted haiglaid kõigi vajaminevate vahendite ja seadmetega, et koguda toitlustuse biojätmeid ning biolagunevaid tervishoiujätmeid, sh nakkusohtlikke jätmeid olmejätmetest eraldi.

Piimatööstus. Tihti on piimatööstustele probleemiks tootmisest ülejääv suur vadaku kogus. Tavaliselt kasutavad loomakasvatusettevõtted sellist vadakut odava või tasuta loomasöödana. Mõnedes ettevõtetes kasutatakse vadakut ka lisandainena uute toodete valmistamisel.

2. Biogaasi tootmisvõimalused Lääne-Virumaal

2.1. Biogaasi potentsiaal maakonnas

Projekti tulemusena on Eesti töörühmad koostanud biogaasi võimaliku tootmispotentsiaali prognoosid sihtpiirkondades – Harju- ja Lääne-Virumaal. Prognoos on koostatud aastaks 2020, lähtudes projekti püstituses kirjeldatud variandist B, mis eeldab biomassi laialdast kasutuselevõttu biogaasi tootmiseks (variant A eeldab senise olukorra jätkumist, mis pole suunatud biogaasi tootmise arendamisele). Biogaasi toorme olemasolu, aga ka mitmeid muid olulisi tegureid ja tingimusi arvestades selgitati välja ka näitlike biogaasijaamade võimalikud asukohad nendes piirkondades ja valiti sobilikumad biogaasi tootmistehnoloogiad.

Peamisteks ressursideks biogaasi tootmisel on biojäätmed, reoveesetted, läga ja sõnnik ning rohtne biomass. Biogaasi potentsiaali arvutamisel hinnati ja prognoositi kõigepealt nende ressurside tekkekogused, seejärel täpsustati, kui suur osa prognoositud kogustest võiks olla realselt kasutatav biogaasi tootmisel. Täpsustatud toormekoguste alusel arvutati lõpptulemus – biogaasi (arvestatuna biometaanile) tootmispotentsiaalid vaadeldavates maakondades. Tulemused Lääne-Virumaa kohta on toodud tabelis 3.

Biomassi ressurside prognoosimisel biogaasi tootmiseks aastal 2020 kasutati järgmisi eeldusi ja hinnanguid:

Biojäätmed ja reoveesetted

➤ *Biojätmete kogus toiduainetetööstusest jääb stabiilseks*

Lääne-Virumaal on selle tööstusharu biojätmete kogus üsna suur, need tekivad peamiselt lihatööstusettevõttes *Rakvere Lihakombinaat AS*. Tulevikus on teiseks suuremaks biojätmete tekitajaks kujunemas piiritust tootev *Estonian Spirit Ltd*, mis taasalustas Rakveres tegevust 2010. a. Biojätmete kogused selles ettevõttes võivad ulatuda 30 tuh. tonnini (vt tabel 3). Intervjuud nendes suuremates biojätmeid tekitavates ettevõtetes on näidanud, et ettevõtted üritavad vähendada biojätmete koguseid niipalju kui võimalik, vältimaks kiirelt suurenevaid prügilatasusid. Ettevõtted valivad ja arendavad uusi tehnoloogiaid, uusi tooteid ja uusi turge jäätmekoguste vähendamiseks, aga ka tulu saamiseks taaskasutusest. Seetõttu on neid meetmeid arvestades eeldatud, et biojätmete hulk toiduainetetööstuse ettevõtetest ei kasva aastaks 2020.

➤ *Olmejätmete biolagunev osa võib väheneda max 0,3% aastas*

Biolagunevate jätmete eraldi kogumist alustati 2007. aastal. Samm-sammult muutub see paremini korraldatuks ja efektiivsemaks. Samas mõjutavad biojätmete koguseid kodumajapidamistes, kauplustes ja teenindustes rakendatavad vältimismeetmed. On üsna realistlik eeldada, et esimesel viiel aastal peale vältimismeetmete rakendamist jäävad biojätmete kogused veel suhteliselt samale tasemele. Selle aja jooksul inimeste käitumisharjumused vähehaaval muutuvad, mis võib edaspidi viia biojätmete koguse vähenemisele 0,1 kuni 0,3% aastas.

➤ *Reoveesetete kogus jääb püsivaks*

Reoveesetete kogus võib lähiaastatel kasvada kui rohkem kodumajapidamisi liitub olemasoleva kanalisatsioonisüsteemiga või propageeritakse tsentraliseeritud reoveekäitluse arendamist kohtades, kus see varem puudus (nt nagu on toimunud Saksamaal ja Rootsis). Siiski, arvestades reovee vältimise meetmeid, puhastamistehnoloogiate täiustumist ja foonina üldisi sotsiaal-majanduslikke võimalusi, leiavad valdkonna eksperdid (nt A. Kuusik jt Tallinna Tehnikaülikooli Keskkonnatehnika instituudist), et reoveesetete kogused jäävad perioodil 2008-2020 suhteliselt stabiilseks (vt tabel 3).

Sõnnik ja läga (vedelsõnnik)

- **Veised.** Prognoosides on eeldatud veiste arvu kasvu 1,5% (2009 tasemest) aastaks 2020. See kasv võib toimuda seoses ülemaailmse nõudluse kasvuga piimatoodetele, arvestades sealjuures Eesti suhteliselt sobivaid kliimatilisi tingimusi veisekasvatuseks. Eeldatakse ka, et EL-i toetused Baltimaade veisekasvatajatele suurenevad (praegu on need kordades väiksemad kui EL-i vanades liikmesriikides).
- **Sead.** Eeldatakse 1%-list arvu kasvu aastaks 2020. Viimasel mõnel aastal on suurenenud nõudlus Venemaal põhjustanud elussigade ekspordi kasvu Eestist. Samas on siin oluline vältida ekspordi kasvuvõimaluste ülehindamist tulenevalt välispoliitiliste suhete ebastabiilsuse jätkumisest Eesti ja Venemaa vahel.
- **Kanad.** Lähtudes viimaste aastate trendist on eeldatud kanade arvu püsimumutumatuna.

Energiakultuurid biogaasi tootmiseks

Praegu ei kasutata energiakultuure biogaasi tootmiseks ei Harju- ega Lääne-Virumaal. Eesti Biogaasi Ühing on siiski hinnanud, et umbes 5%-l haritaval maal ja 20%-l kasutamata maal on võimalik energiakultuuride kasvatamine biogaasi tootmiseks.

2009. aastal oli PRIA andmetel Lääne-Virumaal umbes 97 tuh. ha haritavat ja 23,3 tuh. ha kasutamata maad. Lähtudes viimaste aastate trendidest ja ekspertide hinnangutest on eeldatud, et haritava maa pind võib suureneda umbes 0,5% ja kasutamata maa pind umbes 2% aastas. Arvestust kasutamata maa kohta on peetud 2002. aastast kui loodi PRIA põllumassiivide register. Juba 2000-ndate aastate algul kasutusest väljajäänud maad on tõenäoliselt 2020. aastaks metsastunud ja neid ei saa kasutada energiakultuuride kasvatamiseks. Seetõttu on prognoosarvutustes aluseks võetud vaid see osa kasutamata maast, mis lisandub perioodil 2009-2020.

Biogaasi tootmise toormena soovitatakse kasvatada kahte liiki energiakultuure – päideroogu (*Phalaris arundinacea*) ja ristikut (*Trifolium pratense*), nende keskmine aastane saagikus on ligikaudu 9 t/ha kuivainena. Eeldatud on nende kultuuride kasvatamist võimalikel kasvupindadel võrdse osakaaluga. Lähtudes nende kasvupindade prognoosidest, on võimalikuks rohtse biomassi koguseks 2020. aastal hinnatud ja Lääne-Virumaal 50,6 tuh. tonni (orgaanilise kuivaine järgi), vt tabel 3.

Prognooside tulemused

Tabelis 3 on toodud ligikaudsed tulemused kui palju biometaanit oleks võimalik erinevatest substraatidest toota Lääne-Virumaal aastal 2020. Hinnang biometaanit tootmispotentsiaalile kokku ulatub kuni 24,4 miljoni m³/a. Suurima potentsiaaliga on energiakultuurid (umbes 66% kogupotentsiaalist), järgnevad tööstuse biojätmed (ca 13%), reoveesetted (11,5%), vedelsõnnik (9%) ja olmejäätmetes sisalduvad biojätmed (0,6%).

Tabel 3. Biomassi kogused ja biometaani toodang Lääne-Virumaal: variant B aastaks 2020

Biomassi liigid	Kogus 2008	W-Fuel Variant B 2020	Kättesaadavus biogaasi tootmiseks 2020		CH ₄ took	Metaani toodang
	tonni	tonni	%	tonni	m ³ /t VM	m ³ /a
I Biojätmed toiduainetetööstuselt	6 334	36 334	-	-	-	kuni 3 151 200
sh: Loomsete kudede jätmed	6 334	6 334	90%	5 700	216	1 231 200
Piirituse destilleerimisjäätgid	0	30 000	kuni 100%	kuni 30 000	64	kuni 1 920 000
II Olmejäätmed	5 099	5 022	-	-	-	158 119
sh: Biolagundatavad köögi- ja sööklaajätmed	4	4	33%	1,3	97	128
Toiduõli ja -rasv	110	110	33%	36,3	288	10 454
Biolagundatavad aia- ja haljastusjäätmed	305	300	0%	-	-	-
Biojätmete osa segaolmejäätmetes	4 680	4 608	33%	1 521	97	147 537
III Reoveesetted	67 371	67 371	100%	67 371	42	2 829 582
IV Sõnnik*	575 303	583 505	-	-	-	2 174 900
sh: Veiste vedelsõnnik	494 354	501 770	31%	155 549	10	1 555 490
Sigade vedelsõnnik	78 626	79 412	78%	61 941	10	619 410
Kanasõnnik	2 323	2 323	0%	-	-	-
V Energiakultuurid biogaasi tootmiseks	0	50 588 oKA	-	-	-	16 061 690
sh: Päideroog	0	25 294 oKA	100%	25 294 VS	300 m ³ /t oKA**	7 588 200
Ristik	0	25 294 oKA	100%	25 294 VS	335 m ³ /t oKA**	8 473 490
KOKKU						kuni 24 375 491

Selgitused:

Energiakultuuride saagi, sõnnikukoguste ja biometaani toodangu arvutamise meetoodika on kirjeldatud lõpparuandes (www.wfuel.info);

VM – värsked mass (tooraine);

oKA – orgaanilise kuivaine sisaldus;

* Baasaastaks sõnnikukoguste prognoosimisel on 2009;

** Ligikaudu 100 m³/t VM

2.2. Variant A: praeguse arengusuunaga jätkamine

Variant A (tavapärase äritegevuse) eeldab biomassi praeguse kasutuse jätkumist. 2012. aasta alguses biogaasijaamad Lääne-Viru maakonnas puudusid, kuid 2012. aasta sügisel planeeritakse käivitada põllumajanduslik biogaasijaam Vinni vallas (biogaasijaama detailplaneeringu algataja on OÜ Nelja Energia).

Vinni biogaasijaama substraatideks on sea- ja veiseläga ja tahke sõnnik lähiehitiste põllumajandusettevõtetest (88 000 tonni aastas). Metaankääritamisel saadav biogaas kasutatakse soojuse ja elektri koostootmiseks. Toodetav soojus suunatakse Vinni aleviku kaugküttevõrku. Metaankääritamise lõppsaadus – digestaat (kääritusjäät) veetakse põllumajandusettevõtete hoidlatesse ja laotusperioodil nendest põldudele.

Biogaasijaama tehnilised näitajad (OÜ 4e Biofond...2008):

- biogaasi tootmine ca 2,98 miljonit m³/a, 300 kuni 350 m³/h;

- gaasimootori jõudlus 350 m³/h;
- gaasimootori soojuslik võimsus 1 175 kW;
- gaasimootori elektriline võimsus $P_{el} = 787$ kW;
- soojusenergiat kokku ca 10,3 miljonit kWh/a;
- elektrienergiat ca 6,9 miljonit kWh/a.

2.3. Variant B: näitliku biogaasijaama paiknemine ja tehnoloogia

2.3.1 Biogaasijaama kavandatud asukoht Lääne-Viru maakonnas

Lääne-Virumaal on sobivaimaks näitliku biogaasijaama asukohaks valitud Rakvere äärelinn. Selline valik tehti Eesti töörühmade poolt järgmistel põhjustel:

- Rakveres asuvad 2-3 km kaugusel (vt joonis 2) maakonna kaks suuremat biojäätmete tekitajat (*Rakvere Lihakombinaat AS ja Estonian Spirit OÜ*) ning lisaks ka reovee puhastamisega tegelev *Rakvere Vesi AS*.
- Kui toodetud biogaasi hakatakse kasutama elektri ja soojuse koostootmisjaamas, saab toodetud soojuse septembrist kuni maini suunata Rakvere kaugküttesüsteemi.
- Biogaasi, mida ei kasutata koostootmisjaamas või transpordikütusena kohapeal, saab suunata Rakveres asuvasse maagaasi trassi.

Tehtud arvutuste kohaselt võib nende kolme suurima biojäätmete ja reoveesette tekitaja biometaani tootmispotentsiaal ulatuda aastaks 2020 2,4 miljoni m³/a.

Arvestades nendest Rakvere linna ettevõtetest saadavate substraatidega (reoveesetted, loomsete kudede jäägid ja piiritusetööstuse jäägid), linna lähiümbruse looduslikke ja sotsiaal-majanduslikke tingimusi ning vajadusel täiendavalt saadavat toorainet (vedelsõnnik, biojäätmed), on mõistlik võtta kavandatavas Rakvere biogaasijaamas kasutusele märgkäärustehnoloogia (vertikaalse kääritiga ~3 000 m³) koos täieliku segamise meetodiga. Vajalik on ka pastörisaatori lisamine, sest substraadid tulevad erinevatest tööstusettevõtetest ning võivad olla saastunud patogeenidega. Biogaasijaama on soovitatav ehitada reovee puhastusjaama lähedusse. Kääritusjäak ei ole tõenäoliselt sobiv kasutada väetisena põllumajanduses vaid haljastuses ja kompostilisandina (kuni 20%).



Joonis 2. Ettevõtte asukohad: Rakvere Lihakombinaat, Rakvere reoveepuhastusjaam ja piiritustehas Estonian Spirit OÜ

AS-il Rakvere Lihakombinaat ja Rakvere Vesi tekkis 2008. aastal ca 20 000 tonni biogaasi tootmiseks sobivaid jäätmeid, mille biometaanipotentsiaal oli 1,8 miljonit m³ (tabel 4). Rakvere piiritustehase jäätmete kogus oli 2007.a 50 950 tonni, kuid 2008.a finantsraskuste tõttu ettevõtte lõpetas oma tegevust ning taastalustas tegevust alles 2010.a.

Tabel 4. Lääne-Viru maakonna kolme suurima biojätme- ja reoveesetetootja metaanipotentsiaal: prognoos 2020. aastaks

Ettevõtte	Biogaasitoorme tüüp	Kogus 2008	W-Fuel Variant B 2020	Kättesaadav biogaasi tootmiseks 2020		CH ₄ took	Metaani toodang
		tonni	tonni	%	tonni	m ³ /t VM	m ³ /aasta
Rakvere Vesi	Reoveesete	9 225	9 875	100%	9 875	28	273 732
Rakvere Lihakombinaat	Sõnnik ja uriin, seedetrakti sisu	700	711	100%	711	42	29 841
	Loomsete kudede jäätmed, III kategooria	6 371	6 467	100%	6 467	216	1 396 872
	Reoveesete	3 477	3 529	100%	3 529	25	87 580
	Loomarasv	32	33	100%	33	288	9 361
Estonian Spirit Ltd	Piiritustehase jäätmed	0 (60 950 t 2007.a)	30 000	33%	9 900	64	kuni 632 016
KOKKU		19 524	50 614	-	30 514	-	kuni 2 429 401

Selgitused:

VM – värsk mass (tooraine);

Energiakultuuride saagi, sõnnikukoguste ja biometaanipotentsiaali arvutamise meetodika on kirjeldatud lõpparuandes (www.wfuel.info).

2.3.2. Biogaasijaama tehnoloogia ja seadmete valik

Saateks

Kasutatavaid tehnoloogiaid ja tehnilisi seadmeid biogaasi tootmiseks on väga laias valikus. Erinevused võivad seisneda näiteks kääritite suuruses (nt üks suur vs kaks väikest), kasutatavate segajate tüübis, arvus ja paigutuses, toormaterjali etteandmise süsteemides, kasutatavates ehitusmaterjalides (nt konstruktsiooni puhul betoon vs roostevaba teras; torumaterjalide puhul teras vs plastik) küttesüsteemis ja isolatsioonimaterjalides, katusekattetüübis ning biogaasi kogumise ja puhastamise lahendustes. Seetõttu on oluline teha valik lähtuvalt konkreetse projekti eripärast ja majanduslikust otstarbekusest.

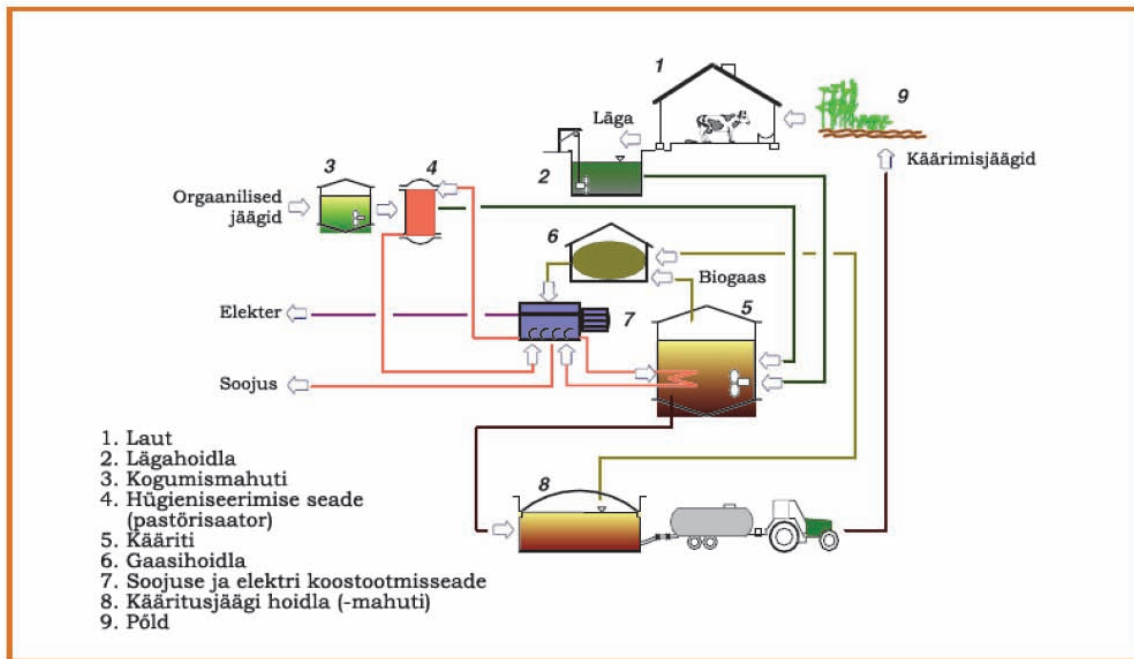
Täna kasutatakse Eestis imporditud anaeroobse käärituse tehnoloogiaid, seadmeid ja imporditud tehnoloogiatega kaasnevat juhtimisautomaatikat. Seadmete töö tõhustamiseks tuleks aga arvestada rohkem kohaliku kliima ja muude erisustega (tooraine). Eestile sobivaimateks biogaasi tootmise tehnoloogiatega põllumajandusliku toorme kasutamisel on sõnniku märgkääritamine (rohtse biomassi silo või jahu lisandiga) ja rohtse biomassi kuivkääritamine. Mõlema puhul saab kääritusjääki kasutada põllumajanduses väetisena.

Märgkääritamise korral kuivainesisaldus kääritatavas segus (massis) on 4–10%. Kui tooraine kuivainesisaldus on kõrgem, tuleb seda vedeldada. Tavaliselt kasutatakse vedeldamiseks reovett. Selle protsessi käigus tekib 1,5 – 2,5 m³ biogaasi 1 m³ reaktori mahu kohta (biogaas sisaldab 50 –70% metaani), kääritusprotsessi ajaline kestvus on ≈20 ööpäeva. Protsessi kestvus sõltub temperatuurist, kääritatava massi hulgast ja toitainete sisaldusest.

Biogaasi tootmise tehnoloogia

Milline tehnoloogia kusagil valitakse ja millised on selle tehnilised lahendused, sõltub esmajoonel kasutatavatest substraatidest. Substraadi kogus määrab tehniliste seadmete mõõdud ja käärituskambri mahulised dimensioonid. Substraadi kvaliteet (kuivaine sisaldus, struktuur, päritolu) määrab kasutatava tehnoloogia. Substraatide koostisest ja kuivaine sisaldusest sõltub ka, kas on vaja eraldada mehaanilisi lisandeid või lisada hoopis vett, et saavutada pumbatavus. Kui on substraadid, mida tuleks enne pastöriseerida (hügieeninõuetega vastavusse viimiseks), siis tuleb seegi etapp sisse planeerida. Eeltöödeldud substraat juhitakse käärituskambrisse (kääritisse), kus ta hakkab käärima ja eraldub biogaas. Märgkääritamisel kasutatakse peamiselt üheastmelisi tehnilisi lahendusi läbivoolu meetodil. Kaheastmelisele meetodile on lisatud juurde üks eelkääriti. Eelkääritis valmistatakse ette tingimused käärimisprotsessi kaheks esimeseks etapiks (hüdrolüüs ja happe teke). Substraat liigub siis edasi peakääritisse, kus toimub käärimise edasine kulgemine. Kääritusjääk ladustatakse tavaliselt kinnisesse järelkääritisse koos gaasi kogumise võimalusega või siis lahtisesse hoidlasse, kust seda võetakse põllumajanduskultuuride väetamiseks. Käärimisel tekkinud biogaas hoiustatakse ja puhastatakse. Selle kasutamine toimub enamasti SEKi koosseisus olevas sisepõlemismootoris (SEK, soojuse ja elektri koostootmisseade) või väärustatakse seda edasi kasutamiseks sõidukite mootorikütusena.

Joonisel 3 on toodud üheastmeline põllumajandusliku biogaasijaama skeem (koos komponentidega), milles kasutatakse ka muid pastöriseerimist vajavaid biolagunevaid jäätmeid.



Joonis 3. Lihtsustatud, peamiselt põllumajanduslikust toormest, biogaasi tootmise skeem koos substraatidega (Biogaasi...2009)

Tehnoloogia valik

Arvestades Rakvere linnast saadavate substraatidega (reoveemuda, loomsete kudede jäägid ja piiritusetööstuse jäägid) ja selle lähiümbruse looduslike, sotsiaalmajanduslike tingimusi ning vajadusel täiendavalt saadavat toorainet (vedelsõnnik, biojätmed), on mõistlik võtta kavandatavas Rakvere biogaasijaamas kasutusele märgkääritamise tehnoloogia, vertikaalne kääriti (~3 000 m³) koos täieliku segamise meetodiga. Vajalik on ka pastörisaatori lisamine, sest substraadid tulevad erinevatest tööstusettevõtetest ning võivad olla saastunud patogeenidega. Kääritusjääk ei ole tõenäoliselt kasutatav väetisena põllumajanduses vaid haljastuses ja kompostilisandina (kuni 20%).

Täielikult läbisegatavad kääriteid kasutatakse peamiselt põllumajandusliku biogaasi tootmises, need on silindrikujulised ja paigutatud vertikaalselt. Samuti on see meetod kasutatav muude substraatide korral kui segatav mass on väikese kuivainesisaldusega. Kääriti on betoonpõrandaga mahuti, millel on teras- või betoonseinad. Mahuti võib olla osaliselt või täielikult maa sees või kogu ulatuses maapealne. Mahuti peale pannakse gaasitihe kate, mis võib olla erineva konstruktsiooniga. Täielik segamine saavutatakse käärituskambrisse paigutatud segistiga (vt Tabel 5).

Tabel 5. Täielikult segatavate käärিতে omadused

Suurus, materjal	Kambri maht kuni 6 000 m ³ , suuremate ehitiste juures muutub segamine ja protsessi kontrollimine raskemaks.
Sobivus	Sobib vähese või keskmise kuivainesisaldusega pumbatavatele substraatidele. Peab valima substraadile sobilikud segamis- ja etteandmisseadmed. Sobilik kõikidele erinevatele täitmisviisidele.
Eelised	Käärituskambrit suurusega üle 3 000 m ³ on soodsam ehitada. Täitmiseks sobib nii läbivoolu, läbivoolu-salvestus kui ka salvestusmeetod. Tehnilisi seadmeid saab hooldada käärituskambrit tühjendamata.
Miinused	Mahutite kinnitamine võib olla suuremates jaamades raskendatud. Võimalik on substraadi kiire väljumine. Võimalik on ujuvkihi ja sette teke.
Paigutus	Vertikaalsed silindrilised nii maapealsed kui ka maasisesed mahutid. Saab töötada nii segistiga kui ilma. Segistid peavad olema suure võimsusega, erandlikuks on läga kääritamine, kus segamist saab asendada pneumaatilise ringvooluga- biogaasi juhtimisega tagasi kääritisse. Ringvoolu korraldamise võimalused: segistid käärituskambris, aksiaalne segisti ühel keskel vertikaalsel torustikul, hüdrauliline ringvool, väliste pumpade abil, ringvool biogaasi surumisega vertikaalsesse juhttorusse, ringvool gaasi surumisega mahutisse pörandas asetsevate düüside kaudu.

2.3.3. Biogaasi tootmisprotsess

Põhimõtteliselt saab põllumajanduslikku biogaasi tootmist, olenemata kasutatavatest tehnilistest seadmetest, jagada neljaks erinevaks etapiks:

1. substraadi transport, hoiustamine, eeltöötlemine ja sisestamine - eelkäitlus;
2. biogaasi eraldumine - põhiprotsess;
3. kääritusjäagi ladustamine ja selle kasutamine - järelprotsess;
4. biogaasi ladustamine, puhastamine ja kasutamine.

Eelkäitlus

Vedu

Osa toormest asub plaanitava biogaasi tootmise ettevõtte vahetus läheduses (reoveemuda) osa toormest tuleb 3-4 km raadiusest kohale tuua (Rakvere Lihakombinaat, Estonian Spirit (praaga)). Juhul kui on vaja kasutusele võtte täiendavaid substraate, transporditakse selleks sobiv vedelsõnnik ja läga piirkonna erinevatest farmidest. Transpordiks kasutatakse maanteetransporti ja vastavaid veokeid. Biogaasijaam vajab ööpäevas 55-60 tonni tooret ja selle kohaletoimetamiseks on vaja teha ligikaudu 3-4 sõitu ööpäevas.

Sõnniku veo puhul tuleb silmas pidada, et kuna loomakasvatusfarmid asuvad linnast väljas, siis vedelsõnniku vedu linna ja kääritusjäagi tagasivedu omab mitmeid negatiivseid mõjusid (ebameeldivad lõhnad ja transpordist pärinev õhusaaste).

Hoiustamine

Hoiustamine on oluline, hoidmaks ära suuri muutusi, tulenevalt erinevate substraatide kasutamisest. Erinevatel substraatidel on erinevad hoiustamisviisid. Hoiustamiseks vajalike pindade suurus tuleneb planeeritud substraatide kogustest ja nende kasutusest ajahüvikus. Kui on tegemist ostetavate substraatidega, siis on olulised lepingulised suhted ja seal ära toodud kohustused, millal ja kui suures koguses toorainet hangitakse.

Lõhnade leviku seisukohalt peaks selliste substraatide vastuvõtt toimuma hallis, kus on ka õhupuhastid või biofiltrid. Nii on tehnika kaitstud ja töid saab teha olenemata ilmast.

Eeltöötlemine

Eeltöötlemise viis ja ulatus mõjutavad otseselt kääritamisprotsessi ja sellega ka substraatide energeetilise potentsiaali kasutamist. Eeltöötlemise eesmärgiks on ühelt poolt täita seadusest tulenevaid hügieeninõudeid ja teiselt poolt luua võimalikult soodsad tingimused mikroorganismidele kui metaani tootjatele. Substraatide ettevalmistusel on kõige suurem osa kogu protsessi optimeerimises. Sealjuures opereeritakse piiril, mis eraldab ala- ja ülekoormust biogaasi tootmisel.

Sorteerimine ja mehaaniline lisandite eemaldamine

Sorteerimine ja mehaaniliste lisandite eemaldamine sõltub substraadi päritolust. Kivid, mis on kõige sagedasem võõrkeha vajuvad enamasti eelhoidlas põhja ja neid peab sealt aegajalt eemaldama. Teised võõrkehad eemaldatakse käsitsi substraadi vastuvõtul või protsessi söötmisel. Kõige suurem potentsiaal protsessi häirida on biojätmetel.

Substraadi pastöriseerimine (hügieniseerimine)

Et täita seadusest tulenevaid fütosanitaarseid nõudeid kriitiliste substraatide puhul, on enamasti vaja eelnev terminaalne töötlemine, integreerituna biogaasi tootmisesse. Eeltöötlemine tähendab substraadi hoidmist (kuumutamist) vähemalt 70°C juures ühe tunni jooksul.

Peenestamine, purustamine

Substraadi peenestamine (purustamine) suurendab pinda bioloogiliseks lagunemiseks ja suureneb ka metaani tootmine. Kindlalt võib väita, et bioloogilised protsessid peenestatud substraadiga kiirenevad, aga mitte alati ei suurene tekkiva biogaasi kogus. Tekkiva metaani kogus sõltub rohkem viibeajast käärituskambris. Kõige olulisem on õige tehnika valik. Purustamist saab korraldada enne substraadi sisestamist hoidlasse. Sageli on vaja sorteerimiseks ja mehaaniliste lisandite eemaldamiseks eraldi seadet. Tahkema aine lisamiseks paigaldatakse peenestusseadmed juba eelhoidla juurde.

Paljud pumbatavad substraadid vajavad enne pumpamist ka peenestamist, et need ei kahjustaks seadmeid. Peenestamine toimub eelhoidlates või siis torustikes enne pumpa või otse käärituskambrisse transportimisel.

Eelsegamine, homogeniseerimine

Substraatide eelsegamine vee juurdelisamisega on märgkäärituse korral vajalik, et saada käärituskambrisse pumpamiseks kõlblik substraat. Reeglina toimub see kogumismahutis enne käärituskambrisse suunamist. Kasutatakse juba protsessis kasutatud vett või siis tavalist puhast vett.

Kääritatud vedelikku on väga hea lisada, kuna see vähendab puhta vee tarbimist ja selles on juba vajalikud bakterite kultuurid uue substraadi nakatamiseks. See sobib pärast hügieniseerimise etappi või siis survevoolu tehnoloogia juurde. Igal juhul tuleb jälgida kääritamisvedeliku mitmekordsel kasutamisel, et ei tekiks toitainete ja soolade puudust, mis kahjustab protsessi bioloogiat. Puhta vee kasutamist peaks vältima selle kõrge maksumuse tõttu. Kui peaks kasutatama puhastus- või loputusvedelikke, tuleb jälgida, et desinfitseerivad vahendid ei mõjutaks käärimisprotsessi kuna need võivad mõjuda mikrobioloogilistele protsessidele hukatuslikult.

Juurdelisatavate substraatide homogeensus on käärimisprotsessis stabiilsuse seisukohast hästi oluline. Kõik muutused vajavad koheselt mikroorganismide poolt kohanemist ja see väljub tekkiva gaasikoguse muutumises. Pumbatavate substraatide homogeniseerimine toimub kogumismahutis segistite abil.

Substraadi sisestamine

Stabiilseks bioloogilise protsessi toimimiseks oleks ideaalsel juhul vajalik pidev substraadi juurdevool. Kuna seda on aga praktikas peaaegu võimatu täita, siis on täna reeglina levinud pooltsükliline täitmissüsteem. Substraadi lisamine toimub väikeste kogustena ühtlaselt kogu ööpäeva jooksul. Kõik toorme edastamisega seotud agregaadid ei pea seega pidevalt töötama. Seda on väga oluline teada biogaasijaama ja selle sõlmede ehitamise planeerimisel. Tehnika substraadi transportimiseks (edastamiseks) sõltub peamiselt sellest, millist kogust on vaja transportida.

Substraadi edastamisel käärituskambrisse peab jälgima ka selle temperatuuri. Suurte temperatuurierinevuste puhul juurdelisatava ja käärituskambris oleva substraadi vahel (nt pärast pastöriseerimist või siis talvel), toimub ka koheselt käärimisprotsessi häirumine, mis võib viia biogaasikoguse vähenemiseni. Probleemi tehniliseks lahendamiseks on välja pakutud soojustusvahendid ja köetavad torustikud.

Põhiprotsess kääritis

Eeltöödeldud substraat juhitakse käärituskambrisse (kääritisse), kus see hakkab käärima ja eraldub biogaas. Kääriti on biogaasijaama süda. Hapniku puudumisel tekib bioloogilises protsessis orgaanilisest aineist gaaside segu nn biogaas. Kui kõik käärimisprotsessi neli etappi (hüdrolüüs, atsidogenees, atsetogenees ja metanogenees) toimuvad ühes käärimiskambris, siis nimetatakse seda üheastmeliseks tootmisprotsessiks. Kuna eri etappides vajavad bakterid oma eluprotsessiks erinevaid tingimusi, on siin vaja leida kompromiss. Et metaani tootvad bakterid on kõige tundlikumad ja paljunevad aeglaselt, siis tavaliselt arvestatakse tingimuste loomisel kõige enam nendega.

Järelopsess

Järelopsessis võib eristada kahte ossa: kääritusjäägi ladustamine ja selle kasutamine ning biogaasi ladustamine, puhastamine ja kasutamine.

Vertikaalsetel kääritel on tavaliselt ülevoolutoru, mis töötab sifooni printsiibil, et vältida gaasi eraldumist selle toru kaudu. Kääritatud substraati võib ka pumpadega väljutada. Kui suurendada tahkete substraatide osakaalu, peab täpselt jälgima vedela osa päritolu ja selle segamisel ette nägema kääritusjäägi ladustamiseks vajaliku ruumi (mahuti). Ladustamiseks mõeldud mahutid on enamasti lägale arvestatud ja need ei suuda mahutada enam muud. Seepärast on vahel majanduslikult ja tehnoloogiliselt mõttekas tahke ja vedela osa eraldamine. Vedelat osa saab uuesti käärituskambrisse suunata või lämmastikväetisena põllule vedada, tahket osa saab kompostida. Tahke ja vedel fraktsiooni eraldamiseks saab kasutada sõelaga presse, tsentrifuuge, tiguseparaatoreid.

Kui kääritatakse mitmeid erinevaid substraate (tööstusjäätmed, reoveemuda jm) või segada neid valimatult, siis tuleb kõiki sisendeid, kas eeltöödelda või kääritusjääki järelopsessis, et kääritusjääk oleks kasutatav kompostilisandina. Juhul kui eeltöötlust ei tehta, siis kääritusjääki saab kasutada ainult haljastuses ja mujal täitematerjalina. Majanduslikult oleks kasulik püüelda selle poole, et kääritusjäägis olevad väetisained leiaksid võimalikult palju kasutust.

Gaasi puhastamine

Orgaanilise aine anaeroobsel lagunemisel saadav biogaas sisaldab keskmiselt 60-70 % metaani (CH₄), 30-40 % süsinikdioksiidi (CO₂), alla 1-2 % väävelvesinikku (H₂S) ja väikestes kogustes muid aineid ja veeauru. Biogaasist kasutatakse põhiliselt metaani ja ülejäänud ballast on vaja sellest eemaldada. Transportkütusena kasutatavast biogaasist puhastatakse (nt pestakse välja) väävliühendid, veeaur ja süsinikdioksiid. Levinumad biogaasi puhastamise meetodid on: veega pesemine ja surve all adsorbeerimine (*PSA - pressure swing adsorption*) meetodit.

Eestis ei puhastata täna veel biogaasi biometaaniks (st vähemalt 95% metaanisalduseni), seega on vähetuntud ka vastavad puhastamise tehnoloogiad. Puhastatud biogaasi ehk biometaanis sisestamiseks maagaasivõrku puudub täna ka seadusandlik baas ning kvaliteedinõuded on väljatöötamisel.

Seadmed

Biogaasijaama põhiseadmed on:

- biomassihoidla,
- eeltöötlus- ja etteandeseadmed,
- biomassikääruti,
- biogaasihoidla,
- jääkidehoidla.

Biogaasi puhastusjaama põhiseadmed on: kahekordse katteda madalsurve (kuni 0,5 bar) membraanmahuti tootmise, puhastamise ja kasutamise ebahütluse tasandamiseks, puhastusseade koos kompressoritega, kõrgsurveahutid, tankimisseade.

Nagu eelnevalt mainitud on erinevate tehnoloogiate ja seadmete pakkujaid päris palju. Seetõttu ongi oluline seadme valikul hinnata kõiki erinevaid aspekte, tehnoloogilisi tingimusi, ostumüügi tingimusi, lepingu tingimusi jne. Praktiline soovitus oleks siinkohal see, et küsida tarnelepingu projekt juba läbirääkimiste varajases faasis, et hilisemaid üllatusi vältida.

Tuntumad firmad, kellelt võiks pakkumisi biogaasijaama seadmete soetamiseks võtta, on Saksamaa, Austria, Hollandi ettevõtted: Zorg Biogas AG ja BAL Biogas Anlagenbau Langenau GmbH Novatech GmbH, Schmack Biogas AG, BIOFerm GmbH, Kompogas AG, COWATEC, Haase Energietechnik AG ja HoStB.V. Biogaasi puhastusseadmete pakkumisi võiks võtta ettevõtelt Schmack CARBOTECH GmbH, Cirmac, Flotech, MT Energie.

Prognoositavast biogaasi kogusest saab toota üle 9 GWh elektrit ja 9,8 GWh soojust (tabel 6), kusjuures Rakvere Lihakombinaadi jäätmete energeetiline potentsiaal moodustab sellest üle 50%.

Tabel 6. Rakvere biogaasitehas: metaanipotentsiaal, elektriline ja soojuslik võimsus

Ettevõte	Biogaasitoorme tüüp	CH ₄	Elekter	Elektriline võimsus	Soojus	Soojuslik võimsus
		m ³ /aastas	kWh _{el}	kW _{el}	kWh _{sooj}	kW _{sooj}
Rakvere Vesi	Reoveesete	273 732	1 039 525	130	1 103 852	138
Rakvere Lihakombinaat	Sõnnik ja uriin, seedetrakti sisu	29 841	113 324	14	120 337	15
	Loomsete kudede jäätmed, III kategooria	1 396 872	5 304 761	663	5 633 026	704
	Reoveesete	87 580	332 594	42	353 175	44
	Loomarasv	9361	35 548	4	37 748	5
Estonian Spirit OÜ	Piiritustehase jäätmed	632 016	2 400 144	300	2 548 668	319
Kokku:		2 429 402	9 225 896	1153	9 796 805	1225

Tabel 7. Rakvere biogaasijaama ning soojuse ja elektri koostootmisjaama tehnilised näitajad

Nr	Parameeter	Ühik	Väärtus
1	Substraatide (sisendtoorme) kogus	t/päevas	138
2	Biogaasi toodang*	m ³ /päevas	11 090
3	Elektri toodang	GWh	9,2
4	Elektriline võimsus	kW	1153
5	Soojusenergia toodang	GWh	9,8
6	Soojuslik võimsus	kW	1225
7	Kääritid	arv	1
8	Kääriti maht	m ³	3000
9	Tööjõukulu	h/päevas	2
10	Pindala vajadus	ha	0,4
11	Digestaadi kogus	t/aastas	25 300

* Biometaani (CH₄) eeldatav sisaldus on 60%

Osa soojust tuleb kasutada nt biogaasireaktorite ja ettevõtte hoonete kütmiseks, teine osa müüa septembrist kuni maini Rakvere kaugkütteettevõtetele. Elektrienergia ülejäägi saaks müüa elektrivõrku taastuvelektrina.

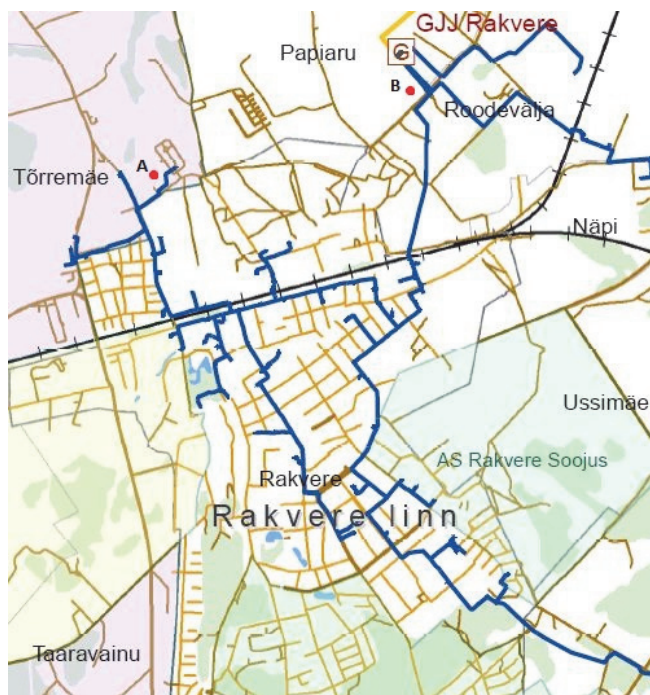
3. Biometaani kasutamine transpordikütusena 2020. aastal

3.1. Biogaasi tootmis- ja puhastamisjaama asukoht

Tehtud pilootuuringu tulemusena on Lääne-Viru maakonnas näitliku biogaasijaama asukohaks valitud Rakvere äärelinn reoveepuhastusjaama läheduses. Sellest kohast 2-3 km kaugusel asuvad maakonna kaks suuremat biojätmete tekitajat (Rakvere Lihakombinaat AS ja Estonian Spirit Ltd) ning ASi Rakvere Vesi reoveesetteid saaks biogaasijaama piki rajatavat torustikku pumbata.

Biogaasi puhastusjaama asukoht A

Biogaasi edasisel kasutamisel transpordikütusena (biometaanina) kavandatakse ka biogaasi puhastusseadme asukoht samasse biogaasi tootmisjaama Rakvere reoveepuhastusjaama hoonete läheduses (joonis 4). Asukoha A eelised on kaubanduskeskuse lähedus ja lühike vahemaa Haljala teeni, kus keskmine liiklustihedus on üle 4600 auto ööpäevas. Kaubanduskeskuse juures on linnaliinibusside lõpp-peatus, mistõttu oleks neid seal mugav tankida. Lisaks saab biometaani ülejäägi juhtida Rakvere maagaasivõrku, biometaaninappuse korral saab kütust maagaasivõrgust. Biogaasi puhastusjaama ja kaubanduskeskuse läheduses asuva tankla vahelise gaasitoru pikkus oleks 500–700 m.



Joonis 4. Biogaasi töötlemistehase asukohad A ja B

Biogaasi puhastusjaama asukoht B

Biogaasi puhastusjaama teine sobiv asukoht oleks ASi Rakvere Lihakombinaat kirdeosas või üle tee asuval kinnistul. Sel juhul asuks puhastusjaam ja tankla Arkna tee lähedal. Puhastusjaama ja tankla vahelise gaasitoru pikkus oleks u 150 m. Puhastusjaama selle asukoha eeliseks on maagaasi kõrgsurvetoru paiknemine tehastest 350–450 m kaugusel. Sealt saaks biometaani juhtida põhimagistraali. Kuna AS Eesti Gaas kavandab juba biogaasitanklaid Narva suunal, oleks võimalik müüa biogaasi Tallinn-Narva maanteel sõitvatele sõidukitele (liiklustihedus üle 5000). See asukoht ei sobiks eriti kohalikele bussidele ja liiklusvahenditele,

samuti tuleks reoveepuhastusjaama sete pumbata biogaasijaama 2–2,5 km kauguselt. See võib osutada võimatuks paljude maaomanike vastuseisu ja torustiku ehitamise kulukuse tõttu.

3.2. Biogaasitoorme transport

Biogaasitoorme uuringu (Tartu linna..., 2011) kohaselt on loomsete jäätmete transpordikulu 1,30 eurot veoautokilomeetri kohta. Veoauto mahutab 5 tonni loomseid jäätmeid. Ehkki ASst Rakvere Lihakombinaat tuleb erisuguseid jäätmeid, on kõigi jäätmetüüpide keskmine kulu 5-tonnise veoauto puhul 1,3 eurot veoautokilomeetri kohta. Kuna ASle Rakvere Lihakombinaat on loomsed jäätmed probleemiks, võiks olla selliste jäätmete soetushind 0 eurot tonn. Reoveesetet veokitega ei transpordita, sest setteallikas asub biogaasitehase vahetus läheduses (pumpamiskulu). Piirituse destillatsiooni jäägid OÜst Estonian Spirit transporditakse 20-tonnistel veoautodel, veoautokilomeetri kulu on 1,30 eurot. 2020. aastaks võib eeldada 25–30% transpordikulude kasvu (kui aastainflatsioon on u 2,5–3%).

Tabel 8. Biogaasitoorme transpordikulu

Ettevõte	Biogaasitoorme kogus		Transpordikulu 2011	Veoauto veomaht	Vahemaa transpordini	Veokulud	
	2008	2020				2011	2020
	tonni	tonni	euro/km/veoauto	t	km	euro	
AS Rakvere Vesi	9225	9875	0	–	–	0	0
AS Rakvere Lihakombinaat	10 580	10 740	1,3	5	4,4	12 104	15 973
OÜ Estonian Spirit	0	9900	1,3	20	2,7	0	2259
Kokku	19 524	30 515			7,1	12 104	18 232

3.3. Biogaasi puhastamismeetod

Vaadeldavatest substraatidest toodetava biometaan (100% CH₄) üldkogus on kuni 2 429 402 m³. Biogaasijaamas saadavas biogaasis on biometaan (CH₄) sisaldus 60% ja ülejäänud 40% on peamiselt süsihappegaas (CO₂). Selliste omadustega biogaasi saab otse juhtida koostootmisjaama elektri ja soojuse koostootmiseks või puhastada täiendavalt nn biometaaniks ja seejärel kasutada juba mootorikütusena.

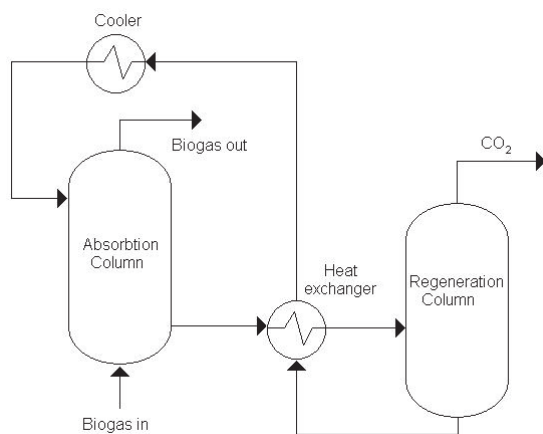
Biogaasi tõhusaks kasutamiseks mootorikütusena tuleb tõsta metaanisaldust. See saavutatakse peamiselt süsinikdioksiidi eemaldamisega, mille tagajärjel kasvab gaasi energeetiline väärtus. Tänapäeval kasutatakse süsinikdioksiidi eemaldamiseks biogaasist viit peamist meetodit, eesmärgiga saavutada mootorikütuse standardile vastavus või maagaasi kvaliteet maagaasivõrku juhtimiseks. Need meetodid on:

- köikuvrõhu adsorptsioon,
- vesiskabertehnoloogia (vesipuhastus)
- polüetüleen-glükooli adsorptsioon,
- membraaneraldus,
- amiinopesu (puhastus amiinidega)

Rakvere biogaasijaamas toodetava biogaasi puhastamismeetod valiti varasemate uuringute alusel. Märgiti, et vesiadsorptsiooni, vahelduva rõhuga (köikuvrõhu) adsorptsiooni, keemilise ja füüsilise adsorptsiooni kulude või tulemuslikkuse vahel puuduvad suured erinevused.

Vesiabsorptsioon ja vahelduva rõhuga adsorptsioon on meetodid, mille puhul on olemas enim kogemusi ja teavet. Teisalt pööratakse rohkem tähelepanu metaanikadudele rikastamisfaasis. Keemiline absorptsioon (amiinidega) tundub olevat ainus saada olev tehnoloogia, mis suudab toota kvaliteetset metaani kadudega < 0,1 %. Selles uuringus valiti biogaasi rikastamise tehnoloogiaks amiinopesu ehk puhastus amiinidega (joonis 5).

Vesiamiinohappe-soolalahust saab kasutada toorbiogaasist pärit CO₂ eemaldamiseks. Ainus vajalik substants peale biogaasi on vesi, milles amiinid lahustuvad. Töötlemise eel tuleb keemilist tingitud mürgistumise vältimiseks biogaasist kõrvaldada H₂S. Seda saab teha bioloogilise aeroobse oksüdatsiooniga, lisades veidi õhku või hapnikku kääritusmahutisse. Biogaas voolab läbi kolonni, mis on täidetud amiinilahusega. Amiinilahus absorbeerib CO₂ keemiliselt ja biometaan väljub kolonnist. CO₂ saab eemaldada amiinilahusest regenererimisfaasis ja amiinilahust saab uuesti kasutada. Amiinid tuleb paar korda aastas välja vahetada, misjärel muutuvad need jäätmeteks. Reovees sisalduvad amiinid eraldatakse membraanpuhastis ja puhastatud vesi juhitakse kanalisatsiooni. Peale amiinopesu jäävad jääkidenähtes alles CO₂ ja amiinid (de Hullu *et al.* 2008, Ryckebosch *et al.* 2011, Wellinger & Lindberg 2005).



Joonis 5. Aminopesu skeem (de Hullu *et al.* 2008)

Amiinopesu eelised on suur tõhusus (biometaan > 99 % CH₄ sisaldusega), odav talitus, protsessi regeneratiivne olemus, rohkem lahustunud CO₂ mahuühiku kohta vesipesuga võrreldes, ja ülimalad CH₄ kaod (< 0,1 %). Puudusteks on kulukad investeeringud, regeneratsiooniks vajalik soojus, korrosioon, amiinide lagunemine ja mürgistumine O₂ või muude keemikaalidega, soolade sadestumine ja võimalik vahustumine (Ryckebosch *et al.* 2011).

3.4. Biometaani potentsiaalsed kasutajad

Tänapäeva parim tehniline lahendus biogaasi kasutamiseks transpordis on kasutada biometaani surumaagaasisõidukites, sest vajalik tehnoloogia ja seadmed on juba välja arendatud ja laialdaselt kasutusel. Praegu pole Lääne-Viru maakonnas surumaagaasitanklaid ega -sõidukeid. Kuna maagaas pole transpordikütusena Eestis levinud, on potentsiaalsetel biogaasi kasutajatel suured piirangud. Üks biometaani peamistest võimalikest kasutajatest Lääne-Virumaal on ühistranspordisektor. Surumaagaasibusse kasutatakse Tartu linnas ja nende tasuvus on tõestatud. Võimalikud kasutajad oleksid ka biometaanitankla läheduses asuvate muude transpordivahendite omanikud. Kuna nõue registreerida transpordivahendid omanike aadressi alusel on Eestis viimastel aastatel kohustuslikuks muutunud, ei ole võimalik täpselt määrata transpordivahendite tegelikku asukohta ja arvu Eesti maakondade lõikes.

Bussitransport

Enamikku linna- ja kaugliine teenindavad diislbussid, sest diiselmootori kasutamine on tõhusaim ja tuntuim tehnoloogia. Surumaagaasi-tanklate puudumise taustal võib eeldada, et kaugsõidubussid ei kasutaks transpordikütusena biometaani. Lühemate määratud marsruutidega bussid saaksid aga kasutada edukalt kütusena biometaani. Kuna biogaasijaama asukoht on planeeritud Rakvere linna serva või selle ümbrusesse, oleksid linnaliinibussid ühed tõenäolisemad biometaani tarbijad.

Linnaliine teenindab Rakveres AS GoBus, kellel on kuus linnaliini. Tartu linnaliinibusside keskmise läbisõidu alusel (koguvahemaa 80 000 aastas, keskmine kulu 45 liitrit diislikütust 100 km kohta) tähendab 36 000 liitrit diislikütust bussi kohta aastas. Tavakütuste asendamiseks vajalik biometaanikogus oleks 36 000 m³ aastas, sest 1 m³ biometaani vastab ligikaudu 1 liitrile diislikütusele või bensiinile.

Ehkki linnadevahelised bussiliinid on biometaani kasutamiseks liiga pikad, saaksid Lääne-Viru maakonna bussid sõita surubiogaasiga enamal jaol ühe tankimisega päevas. Hinnanguliselt saab buss surubiogaasi täispaagiga (100–150 kg) sõita 300 km. Praegu teenindab enamikku Lääne-Viru maakonnaliine AS GoBus, kellel on kokku 39 maakonnaliini. Kokku on Lääne-Virus 61 maakonnaliini. Kui surugaasitanklad muutuvad populaarsemaks, saaks maagaasi ja biometaani kasutada ka linnadevahelistel bussiliinidel.

Eratransport

Eestis on keskmine eraauto läbisõit 20 000 km aastas ja keskmine kütusetarve 7,5 liitrit 100 km kohta. Seega saaks auto aastase kütusevajaduse katta 1500 m³ biometaaniga.

Tabel 9. Mootorsõidukite ja haagiste arv Lääne-Viru maakonnas, 2010

	Autod	Bussid	Veoautod	Mootorrattad	Haagised
Lääne-Viru maakond	29 959	228	4689	1058	3769
... sh Rakvere	7433	31	1164	242	966

Allikas: Eesti Statistikaamet

Lääne-Viru maakonnas ja Rakveres on registreeritud 34 876 mootorsõidukit (v.a mootorrattad ja haagised), millest u 75% on erakasutuses. 2020. aastaks suureneb autode arv arvatavasti 3% kuni 35 922-ni. Optimistliku stsenaariumi kohaselt võiksid 1,5% ehk 536 nendest sõidukitest kasutada kütusena biometaani (nt 30 bussi (5,6%), 20 veoautot (3,7%), 20 prügiveoautot (3,7%) ja 466 autot (87%) katsepiirkonnas). Nagu ettevõtete puhul, kulub ka erasõidukite juhtidel aega, enne kui nad biometaanist teadlikuks saavad, ning uued tehnoloogiad nõuavad harjumist.

Enamik surumaagaasi kasutavaid sõidukeid on veoautod või bussid. Autotootjad pakuvad oma tootevalikus ka surumaagaasisõidukeid, sageli on surumaagaas gaasimootorsõidukites teine võimalus – autodes on nii bensiin kui ka gaaskütus. Kõik peamised autotootjad kokku müüvad 28 tüüpi surumaagaasisõidukeid; sellist tüüpi autosid pakuvad Audi, Chevrolet, Citroën, Fiat, Ford, Honda, Hyundai, Lincoln, Mercedes-Benz, Mitsubishi, Opel, Peugeot, Renault, Toyota, Škoda ja Volkswagen.

Teised biometaani võimalikud kasutajad

Lääne-Viru maakonnas tegutseb neli peamist jäätmekäitlusteet. Need ettevõtted tegutsevad eelmääratud piirkondades, mistõttu on neil üsna lihtne kasutada kütusena biometaani, kui nende tööpiirkond on biogaasitankla läheduses. Keskmine prügiveoauto tarbib 25 liitrit kütust 100 km kohta ja keskmine läbisõit on 50 000, mistõttu on ühe prügiveoauto aastatarbimiseks vaja 12 500 m³ biometaani.

Rakveres tegutseb neli taksoettevõtet. Keskmine takso tarbib samapalju kütust 100 km kohta kui sõiduauto, ent keskmine aastane läbisõit on u 50 000 km. Seega vajab takso kütusena aastas biogaasi 3 750 m³.

Transpordistatistika kohaselt transporditakse 65% kõigist hulgikaupadest 50 km raadiuses (Eesti Statistikaamet). Biogaasi lõpptarbijad võivad olla kõikvõimalikud eri transpordivahenditega tegelevad transpordiettevõtted, logistikud, tänavapuhastusettevõtted, postiteenused, politsei, kiirabi jne. Biometaaniga saavad sõita kõik transpordivahendid, millede teekond kulgeb biometaanitanklatest piisavalt lähedalt mööda. Veoautode keskmine kütusetarbimine on sama mis jäätmeveokite puhul: 25 liitrit 100 km kohta ja keskmine läbisõit on 80 000 km aastas.

Tabel 10. Biometaani kasutusvõimalusega sõidukite hulk

Sõidukitüüp	Biometaani tootmise kogupotentsiaal (m ³)		Biometaani aastane tarbimine sõiduki kohta m ³	Biometaani kasutusvõimalusega sõidukite arv	
	2008	2020		2008	2020
Autod	1 554 422	2 429 402	1500	1036	1619
Taksod			3750	414	647
Bussid			36 000	43	67
Veoautod			20 000	77	121
Prügiveoautod			12 500	124	194

AS Eesti Gaas

Kuna biometaani saab juhtida maagaasivõrku, saab üks võimalikest tarbijatest olla AS Eesti Gaas. AS Eesti Gaas on Eesti gaasi põhivõrgu omanik. Koos ettevõtetega AS EG Ehitus ja AS EG Võrguteenus on ettevõtte AS Eesti Gaas kontsern, mille tegevemisvaldkond on maagaasi ost, müük ja turustus. Lisaks pakuvad nad Eestis mitmeid teenuseid, paigaldavad uusi gaasitorustikke ja arendavad gaasivõrku. ASI Eesti Gaasil on 46 600 klienti, millest 45 100 on era kliendid, 246 tööstuskliendid, 53 piirkondlikud kütte- ja soojusepakkujad, kuus soojuse ja elektri koostootmise ja 32 gaasiturustusettevõtet.

AS Eesti Gaasil on taristu toodetud biometaani vastuvõtmiseks. Ettevõtte on investeerinud surugaasiprojektidesse, kus kütuseks võib olla maagaas või biometaan. Nad on rajanud kaks surumaagaasitanklat, ühe Tallinnas (Suur-Sõjamäe 56a) ja teise Tartus (Tähe 135e). AS Eesti Gaas kavandab samasugustesse tanklatesse investeerimist Narva ja Pärnu suunal, et võimaldada seal linnatranspordivahendite tankimist. Tartus on sellel olnud positiivne mõju: surumaagaasil töötab viis linnatranspordibussi ja mõni erasõiduk. See on aidanud tõsta surugaasiga transpordivahendite kasutamise alast teadlikkust.

3.5. Biometaanitankla

Biometaanitankla optimaalne asukoht oleks biogaasijaama juures, mis asuks Rakvere reoveepuhastist idas või kirdes. Sellisel juhul asuks tankla suure liiklusega maantee – Haljala tee (keskmine päevane liikluskoormus on 4 600 autot) – lähedal. Lähedal asub ka kaubanduskeskus, mille juures on linnaliinibusside lõpp-peatus, mistõttu oleks busse seal mugav tankida.

Teine tanklale sobiv asukoht on kaubanduskeskusest veidi lõuna pool. Biogaasijaama ja biometaanitankla vaheline kaugus oleks 600–750 m. Gaasitorustiku maksumus sõltub toru

mõõtmetest. Eelduste kohaselt ei oleks kasutatav toru üle DN 200. Seega oleks torustiku hind ligikaudu 100 eurot meeter, biometaanitorustiku maksumus jääb 60 000 ja 75 000 euro vahele.

Esineb kaht tüüpi tanklaid: aeglased tanklad ja kiirtanklad. Nende investeerimiskulud erinevad peamiselt selles, et kiirtankla vajab kõrgsurve kompressorit. Kiirtanklates on ka suurem elektrikulu. Ehkki kiirtankimise kulud on suuremad, valitakse see, sest ajahikus jõutakse teenindada oluliselt rohkem kliente. Olulised tankla hinda mõjutavad tegurid on suurus (läbilaskevõime) ja lisaseadmete olemasolu. Kuna tankla ühendatakse maagaasitorustikuga biogaasijaama (selles asuva puhastusseadme) ühenduse kaudu, puudub tanklas ladustamisvajadus. Tabel 11 on toodud tanklaseadmete näidishinnad. Tankla hind sisaldab ka biogaasijaama ja tankla vahelise biometaanitorustiku hinda. Tankla hinnanguline aastane maksumus on 0,2 €/Nm³.

Tabel 11. Tankla ja tankimisseadmete hinnad

	Investeeringud kiirtankimisse (euro)	Investeeringud aeglasse tankimisse (euro)
Tanklaseadmed	335 000	210 000
Teed	30 000	12 000
Valgustus	2000	1300
Ühendused kommunaalettevõtetega	35 000	35 000
Tsiviilehitus ja load	22 000	22 000
Visuaalne määratlus	2200	0
Kinnistu	35 000	35 000
Biometaanitoru	75 000	75 000
Koguinvesteering	514 200	390 300

Allikas: Biogaasitankla... 2010

3.6. Tuleviku arengusuunad

Pärast iseseisvuse taastamist 1991. aastal hoogustus Eestis transpordisektor, iseäranis maismaatransport. Sõiduautode (sh erasõidukid) arv kasvas märgatavalt tänu imporditud kasutatud autode lisandumisele turul. Kasutatud autode lisandumine on toimunud senini tõusvas joones, samas on paralleelselt kasvanud ka uue ostetud autode arv. Sama saab väita ka veoautode ja põllumajandussõidukite ning muudes majandussektorites vajalike erisuguste transpordivahendite kohta. Viimase kümnendi jooksul on kasvanud ka diiselmootoriga sõidukite arv.

Erinevate mootorikütuste hinnad on samuti pidevalt tõusnud, need kajastavad maailma naftahindu ja ELi nõuetel põhinevat kallinevat kütuseaktsiisi. Aktsiisimaks moodustab kütuse hinnast peaaegu poole. Riigis on käimas kütusetarbimise mitmekesistamine. Peale bensiini ja diislikütuse on maismaatranspordis edukalt juurutatud ka surumaagaasi. Maagaas imporditakse Venemaalt Gazpromi vahendusel. Praegu on arutluse all gaasivõrgu ühendamine ühte tervikkasutusse koos peamise elektri põhivõrguoperaatoriga AS Elering. Suure tõenäosusega võib see toimuda 3-4 aasta jooksul.

AS Eesti Gaas on hiljuti investeerinud surumaagaasitanklatesse Tallinnas ja Tartus, järgmised tanklad on kavas rajada Narva ja Pärnusse, samuti teine tankla Tallinnas Mustamäele. Need suunad katavad riigi maismaatranspordi kõiki põhimarsruute. Samal ajal loob see kindla aluse surumaagaasi laialdasemaks kasutamiseks linnatranspordis. Tõenäoliselt jäävad eespool

nimetatud kolm suunda: idas – Tallinn >> Narva, kagus – Tallinn >> Tartu ja lõunas – Tallinn >> Pärnu põhimarsruutideks, mille lähiümbruses hakatakse biometaani esmajoones kasutama.

Üleminek mitmesugusel toormel põhinevale biogaasitootmisele on ette nähtud Eesti kahe suurema linna – Tallinna ja Tartu – arengukavades. Tallinna linn arutleb praegu lähedalasuvate biogaasijaamade potentsiaali üle. Hinnu seafarmi biogaasijaam võiks olla esimene võimalik tootmiskoht Harju maakonnas.

Tartu linn on üle vaadanud eelmised kavad reoveepuhasti reoveesette kasutamiseks soojuse ja elektri koostootmisjaamas, sest viis surumaagaasiga linnaliinibussi näitasid positiivseid tulemusi. Need julgustavad märgid lubavad koostada pikaajalisi prognoose biometaani ulatuslikumaks kasutamiseks kogu riigis.

4. Keskkonna- ja majandusliku mõju hindamine Lääne-Virumaal

4.1. Toidujäätmete vältimise mõju

Kasvuhoonegaaside (KHG) emissioonide vähenemist ja kulude kokkuhoidu toidujäätmete vältimise tulemusena projekti *W-Fuel* Eesti sihtpiirkonnades hinnati Soome andmete põhjal saadud tulemusi üldistades. See analüüs viidi läbi Nea Teerioja poolt Helsingi Piirkonna Keskkonnateenistusest (*HSY*) koostöös Eesti projektipartneritega ja arvestades *Biojätmete ja reoveesette tekke vältimise* töövaldkonna tulemusi Eestis. Töös kasutatud üldistava lähenemise tõttu saab artiklis toodud tulemusi arvestada ligikaudsete (suunavate) hinnangutena.

Kõik analüüsis kasutatud põhinäitajad sõltuvad olulisel määral biojätmete koostisest vaatlusaluses riigis. Tuleb märkida, et vastavate Eestis tehtud uuringute tulemustel on selle analüüsi oluline eeldus – toidujäätmete osakaal biojätmetes Eestis üsna lähedane Soome näitajale (samuti 80% piires).

KHG emissioonide vähenemine välditud toidujäätmete koguse kohta sõltub ka riigi põllumajanduse struktuurist ja impordist, sisaldades kogu elutsükli vältel tekkinud emissioone. Kulude kokkuhoid toidujäätmete vältimisel sõltub peamiselt riigi hinnatasemest ja on arvatud jäätmetekitaja seisukohalt lähtudes. Seal on arvestatud toiduainete ostmise ja käitlemise kulud (nt transpordile, ladustamisele, toiduvalmistamisele) ning jäätmetasusid.

Keskkonna- ja majandusliku mõju analüüs viidi läbi kolme jäätmevältimise stsenaariumi B1, B2 ja B3 alusel, mida võrreldi baas-stsenaariumiga A (nn *BAU* – *business as usual*), mille puhul jäätmevältimist aastaks 2020 ei edendata. Stsenaariumite kirjeldused on toodud tabelis 12.

Tabel 12. Võrreldavad stsenaariumid

Stsenaarium	Kirjeldus
A	Jäätmevältimise meetmeid ei rakendata, biojätmete kogus suureneb senises tempos
B1	Vältimise eesmärk: Biojätmed vähenevad 2 % võrreldes 2008. a kogustega
B2	Vältimise eesmärk: Biojätmed vähenevad 15 % võrreldes 2008. a kogustega
B3	Vältimise eesmärk: Biojätmed vähenevad 30 % võrreldes 2008. a kogustega

Keskkonnamõju analüüsil kasutati otseselt Soome emissioonide vähenemise näitaja väärtust (4,6 tCO₂eq/t). Majandusliku mõju analüüsil aga arvestati Eesti madalamat hinnataset – eeldati, et aastal 2020 moodustab hinnatase Eestis ca 75% Soome hinnatasemest (Kiander, 2012). Analüüsi tulemused üheks Eesti sihtpiirkonnaks oleva Lääne-Virumaa kohta on toodud tabelis 13.

Tabel 13. Toidujäätmete vältimise keskkonna- ja majanduslik mõju Lääne-Virumaal 2020

Stsenaarium	Välditud toidujäätmete kogus võrreldes A-stsenaariumiga (<i>BAU</i>) 2020, t	Emissioonide vähenemine 2020, tCO ₂ eq	Kulude kokkuhoid 2020, väljendatuna 2010. a vääringus, MEUR	Kulude kokkuhoid 2020, väljendatuna 2010. a vääringus, EUR/elanik*
B1	1338	4985	5	75
B2	2974	11081	11	167
B3	4689	17471	17	264

* Rahvastiku prognoos Lääne-Virumaal aastaks 2020 on 64 006 inimest (Eesti Statistikaamet; Siseministeerium, 2009).

Tabelis 13 toodud tulemused näitavad, et sõltuvalt toidujäätmete vältimise eesmärkide saavutamisest Lääne-Virumaal aastaks 2020 on võimalik vähendada emissioone 5 000 kuni 17 000 tCO₂eq ja säästa 5 kuni 17 MEUR (75 kuni 264 EUR elaniku kohta).

4.2. Biogaasi tootmise ja kasutamise keskkonna- ja majandusmõju

Harjumaal Hinnu näitlikus biogaasijaamas minimeeritakse biogaasi tootmise kliimamõjusid käärutamise protsessi hoolika juhtimise ja digestaadi keskkonnasõbraliku käitlemisega nii hoidlas kui ka edasisel kasutamisel. Kui Hinnu puhul mõjutab energiakultuuride kasvatamine ja digestaadi kasutamine väetisena lämmastikuleket, siis Rakvere näitlikus biogaasijaamas sellist mõju ei eeldata. Digestaadi kasutamine haljastuses asendab seal reoveesette praegust kasutamist ja loomade tapajäätmete põletamist.

Variandi B₁ puhul toodaks Rakvere biogaasijaama biogaasi kasutatav soojuse ja elektri koostootmisjaam aastas elektrivõrku 9 134 MWh elektrit ja võiks edastada Rakvere linna kaugküttevõrku 8 719 MWh soojust. Selle soojushulgaga saaks asendada ekvivalentse koguse maagaasi, mida kasutatakse praegu ASi Rakvere Soojus katlamajas soojuse tootmiseks. Variandi B₂ puhul eeldatakse, et biometaan kasutatakse täielikult ära mootorikütusena. Tabel 14 annab ettekujutuse kirjeldatud kahe variandi puhul õhkupaisatavate heitmete kogustest võrreldes baasvariandiga A – senise arengu jätkumine.

Tabel 14. Õhuheitmete vähenemine variantide B1 ja B2 puhul võrreldes variandiga A (BAU) biogaasi tootmisel Rakveres aastal 2020

		CO ₂ t	HC t	NO _x t	PM t	SO ₂ t
B ₁	Koostootmisjaama kasutamisel saavutatavad heitmete vähenemised võrreldes variandiga A (BAU) (BAU puhul eeldatakse Eesti keskmist elektritootmise struktuuri, kus domineerib põlevkivi)	8 568	0,37	9,0	3,7	57,5
B ₁	Koostootmisjaama kasutamisel saavutatavad heitmete vähenemised võrreldes variandiga A (BAU) (BAU puhul eeldatakse nn piirelektri kasutamist, mis tõenäoliselt on toodetud maagaasist)	3 827	0,37	5,6	0,0	0,0
B ₂	Heitmete vähenemised puhastatud biogaasi kasutamisel sõiduautode kütusena	5 133	0,48	6,0	0,05	0,004

Tehtud analüüsi põhjal võib öelda, et keskkonnamõtjude hindamistulemused on suurel määral sõltuvad sellest, millisel viisil toodetakse elektrit. Biogaas, mis koostootmisjaamas kütusena kasutamisel asendab ühe kilovatt-tunni elektrit Eesti keskmises elektritootmise struktuuris, kus täna 87% kuulub põlevkivielektrile, annab suurema emissioonide kokkuhoiu ühe kWh kohta, võrreldes tema kasutamisega mootorikütuseks. Kuid juhul, kui biogaas asendab marginaalset- ehk nn piirelektrit, mis toodetakse Eestis tõenäoliselt maagaasist, on olukord vastupidine.

Keskkonnamõtjused võib saasteainete tonnide asemel väljendada ka nt, rahalises vääringus, kasutades riigile omaseid väliskulude väärtusi, mis põhinevad varasematel uurimistöödel. Eesti kohta on detailne tabel õhusaasteainete lõikes esitatud projekti inglisekeelses lõpparuandes,

mida saab allalaadida ka projekti kodulehelt www.wfuel.info (vt tabel 7 §2.4.). Siinkohal esitatakse see veelkord, vt tabel 15.

Tabel 15. Väliskulude väärtused õhuemissioonidele Eestis

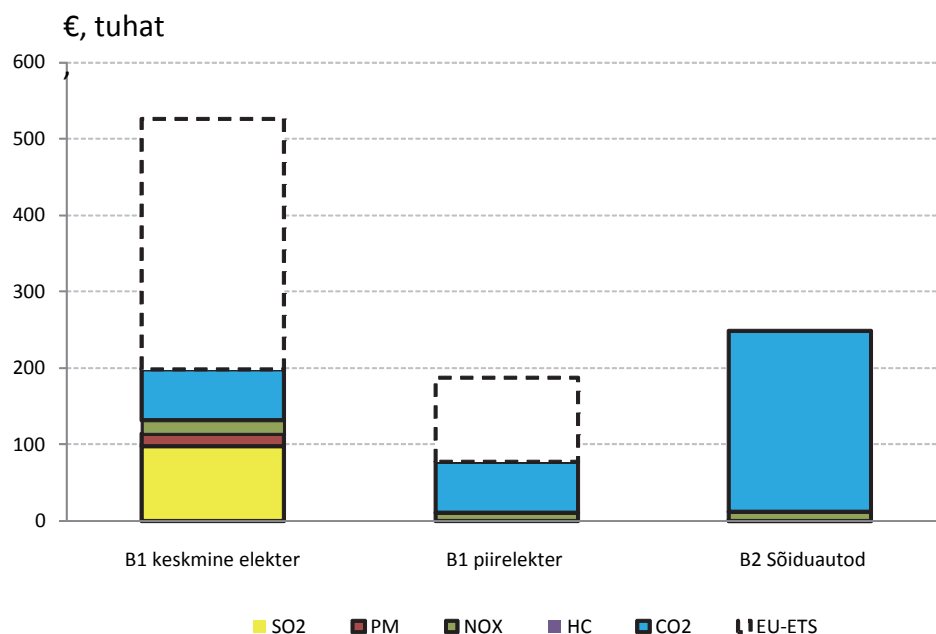
Õhu saasteaine	Elektritootmine*, EUR ₂₀₁₁ / t	Transport*, EUR ₂₀₁₁ /t
CO ₂ (2020-2029)	0**	46
MVOC	713	713
NO _x ,	1 997	1 997
PM	4 280	38 522
SO ₂	1 712	1 712

* Tarbijahinnaindeks IA02 oli aluseks 2011.a hindade arvutamisel kasutades Eesti Statistika andmeid.

**Vaikimisi võetud väärtus on null. Tundlikkuse analüüsil kasutatakse väärtust 46 EUR/t

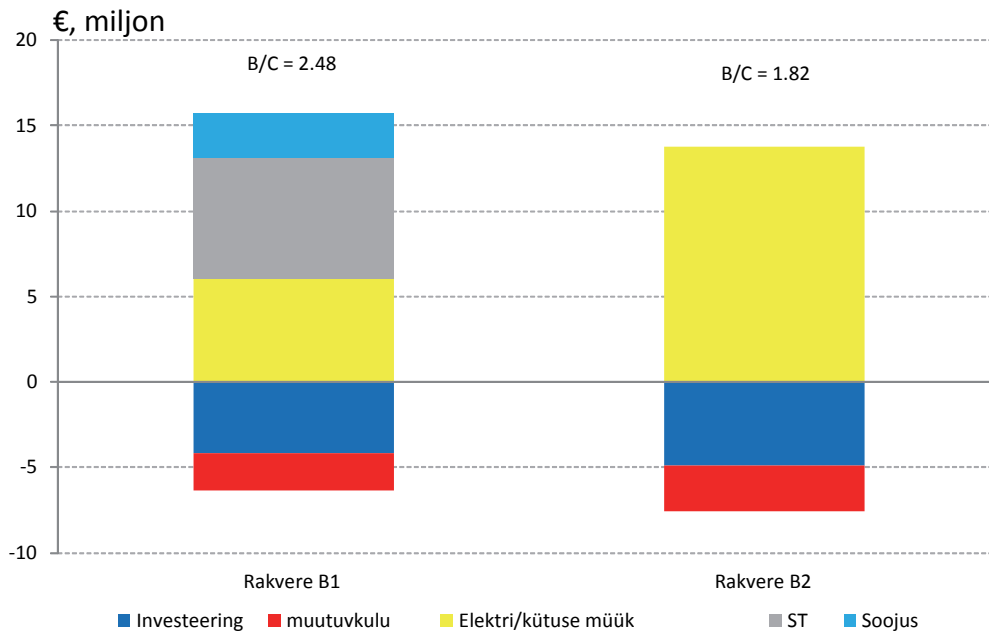
Allikas: (Heatco, 2006 – vt tabelid 6.2 ja 6.5)

Kui eeldada, et Euroopa Liidu kasvuhoonegaasidega kauplemise skeemiga (ingl k *EU ETS*) tulevikus ei jätkata, osutub biogaasi kasutamine elektri ja soojuse koostootmiseks, võrreldes Eesti keskmise elektritootmise struktuuriga, paremaks kui biometaani kasutamine mootorikütusena. Arvestades kasvuhoonegaaside lubatud heitkogustega kauplemise skeemi jätkumist, mis on väga tõenäoline, annab biometaani kasutamine mootorikütusena siiski märksa suurema keskkonnaseisundi paranemise kui biogaasist toodetud elektriga kas põlevkivi elektri (keskmise-) või piirelektri asendamine. Alljärgnev joonis 6 kujutabki diagrammi abil neid ülalkirjeldatud variante Rakvere näitliku biogaasijaama kohta tehtud arvutuste alusel aastal 2020.



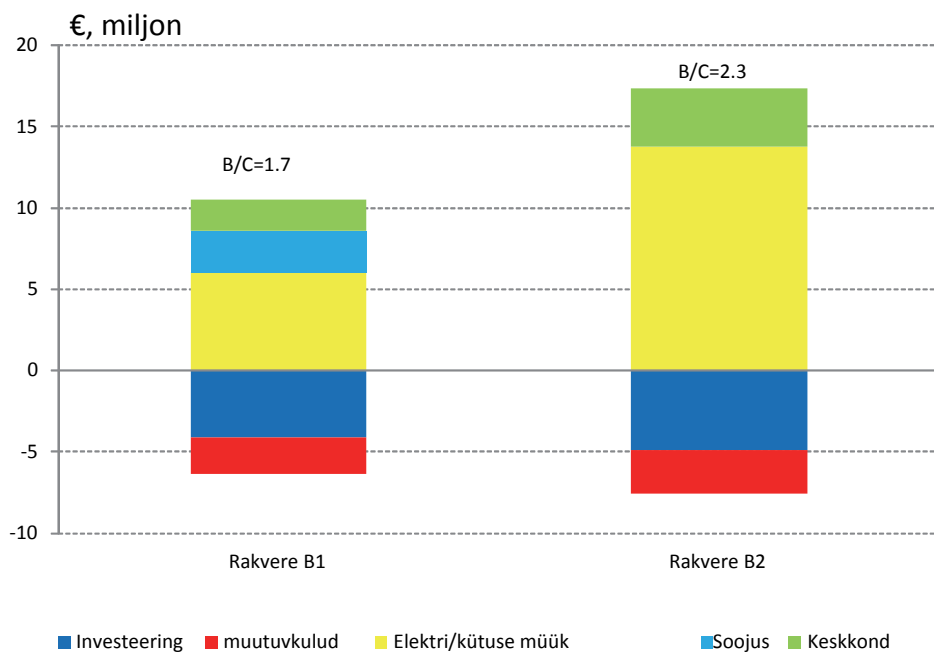
Joonis 6. Rakvere näitliku biogaasijaama õhuheitmete vähenemised 2020.a väljendatud väliskuludena variantide B₁ and B₂ puhul võrreldes baasvariandiga A (BAU)

Joonisel 7 esitatud diagrammid esitavad biometaani tootmise kulusid ja tulusid Rakvere näitlikus biogaasijaamas, kus täht B tähistab tulusid (ingl k *benefit*) ja C – kulusid (ingl k *cost*). Suhe, mis on ühest suurem, kirjeldab tulusat varianti. Nii investeeringud kui ka muutuvkulud on väiksemad juhul, kui Rakvere biogaasijaam valiks elektri ja soojuse koostootmise variandi. Kuna Rakvere biogaasijaama puhul on kogu biogaasi toorme maksumus hinnatud nulliks, on seal muutuvkulud investeeringutega võrreldes märgatavalt väiksemad kui Hinnu näitlikus biogaasijaamas. Arvestades hetkel (kevad 2012) kehtiva taastuvenergia toetuskeemi (ingl k *feed-in tariff*) püsijäämist, on oodatav tulude-kulude suhe suurem variandi B₁ puhul, võrreldes variandiga B₂.



Joonis 7. Kulud ja tulud Rakvere näitliku biogaasijaama variantide B₁ ja B₂ jaoks, võrreldes baasvariandiga A (BAU) ajaldatud nüüdisväärtus, ST – soodustariif

Väärrib tähelepanu, et joonis 7 kajastab üksnes äritulusust. Ühiskonna seisukohalt tervikuna vaadates on äärmiselt huvitav analüüsida olukorda, kus ka biogaasi tootmise ja tarbimisega kaasnevad väliskulud võetakse arvutustes samuti arvesse. Sotsiaalse mõõtme sissetoomisel jäetakse praegu kehtiva taastuvenergia toetuskeemi poolt pakutav rahaline toetus arvesse võtmata, kuna analüüs hõlmab mõlemaid, nii neid, kes taastuvenergia toetust saavad (võrdselt suur pluss taastuvate allikate baasil elektri tootjatele) ja ka neid, kes maksavad (miinus kõikidele elektritarbijatele). Alltoodud joonis 8 illustreerib sotsiaalseid kulusid ja tulusid.



Joonis 8. Sotsiaalsed kulud ja tulud biogaasi tootmisel Rakvere näitlikus biogaasijaamas ajaldatud nüüdisväärtus –variant B₁ ja variant B₂ võrrelduna baasvariandiga A (BAU)

Analüüsi tulemused näitavad, et mõlemad variandid B₁ ja B₂ on Rakvere biogaasijaama puhul sotsiaalselt tulusad, kuid mootorikütuse tootmise sotsiaalne tulusus on kõrgem.

5. Kokkuvõte

Direktiivi 2009/28/EÜ kohaselt peab Eesti tagama 2020. aastal taastuvenergia osakaalu 25% energia lõpptarbimisest ja 10% energiatarbimisest transpordisektoris. Nende eesmärkide saavutamise raamistiku annab riigi taastuvenergia tegevuskava. Eestil on transpordisektori vastavusse viimiseks võetud kohustustega endiselt veel pikk tee ees. Selles uuringus vaadeldi eeskätt biometaaniks puhastatud biogaasi kasutamist mootorikütusena Lääne-Viru maakonnas.

Sobivamaks näitliku biogaasijaama asukohaks valiti Rakvere äärelinn. Rakveres asuvad 2-3 km kaugusel maakonna kaks suuremat biojäätmete tekitajat (AS Rakvere Lihakombinaat ja Estonian Spirit Ltd) ning ka reovee puhastamisega tegelev AS Rakvere Vesi. Kavandatavas Rakvere biogaasijaamas oleks mõistlik võtta kasutusele märgkäiritustechnoloogia (vertikaalse kääritiga ~3 000 m³) koos täieliku segamise meetodiga. Vajalik on ka pastörisaatori lisamine, sest substraadid tulevad erinevatest tööstusettevõtetest ning võivad olla saastunud patogeenidega. Biogaasijaam on soovitatav ehitada reovee puhastusjaama lähedusse. Kääritusjääk ei ole tõenäoliselt kasutatav väetisena põllumajanduses vaid haljastuses ja kompostilisandina. Tehtud arvutuste kohaselt võib nende kolme suurima biojäätmete ja reoveesete tekitaja biometaanitootmispotentsiaal ulatuda aastaks 2020 2,4 miljoni m³/a. Juhul, kui biogaasi kasutatakse koostootmisjaamas, võib elektritoodang ulatuda 9 GWh ja soojuse toodang 9,7 GWh. Biogaasi, mida ei kasutata koostootmisjaamas või transpordikütusena kohapeal, saab biometaaniks puhastatuna suunata Rakveres asuvasse maagaasi trassi.

Teine variant näeb ette puhastatud biogaasi kasutamist mootorikütusena kas kohalikus gaasitanklas või suunamist lähedalasuvasse maagaasijuhtmesse. Optimistliku stsenaariumi kohaselt võimaldab Rakvere biogaasijaama aastane biometaanitoodang (üle 4 miljonit Nm³) varustada mootorikütusega ligikaudu 500 autot (nt 30 bussi, 20 veoautot, 20 prügiveoautot ja 450 sõiduautot). Selle variandi järgi võibki saavutada parema tulemuse toorbiogaasi puhastamisel maagaasi omadusteni – nn biometaaniks. Biometaanitootmised on võrreldavad maagaasi omadustega ning neid kahte kütust saab kasutada paralleelselt – kummaski on põhikomponendiks metaan. Biometaanitootmist ja maagaasi erinevus seisneb selles, et esimest toodetakse taastuvatest energiaallikatest, kuid maagaas on fossiilset päritolu.

Kummagi konkureeriva variandi jaoks viidi läbi biogaasitootmise ja selle edasise kasutamise keskkonna- ja majanduslike mõjude hindamine ning variantide võrdlus andis üsnagi üllatavaid tulemusi.

Tehtud analüüsi põhjal võib öelda, et keskkonnamõjude hindamistulemused on suurel määral sõltuvad sellest, millisel viisil toodetakse elektrit. Biogaas, mis asendab ühe kilovatt-tunni elektrit Eesti keskmises elektritootmise struktuuris, kus täna 87% kuulub põlevkivielektrile, annab suurema emissioonide kokkuhoiu ühe kWh kohta, võrreldes tema kasutamisega mootorikütuseks. Kuid juhul, kui biogaas asendab marginaalset- ehk nn piirelektrit, mis toodetakse Eestis tõenäoliselt maagaasist, on olukord vastupidine. Keskkonnamõjud on väljendatud rahalises vääringus, kasutades riigile omaseid väliskulude väärtusi, mis põhinevad varasematel uurimistöödel.

Tulemused on suurel määral mõjutatud ka Euroopa Liidu kasvuhooonegaaside lubatud kogustega kauplemise skeemist, milles on osalisteks ka põlevkivi elektrijaamad. Kui need suudavad vähendada oma heitmeid tavapärasest enam, võivad nad selle võrra oma saastekvooti turul teistele kauplemis-skeemi osalistele maha müüa, kes siis omakorda saavad õiguse enamale CO₂ emissioonile. Kauplemise skeemi kogumaht on fikseeritud ja kauplemine toimub nendes piirides. Kui biogaasist toodetud elekter asendab kauplemise skeemis fossiilsete kütuste baasil toodetud elektrit, siis vaatamata sellele, et skeemi osaliste koguemissioon ei muutu, on sama kogus energiat toodetud kuluefektiivsemalt ja pealegi, taastuvatest energiaallikatest. Arvestades

kasvuhoonegaaside lubatud heitkogustega kauplemise skeemi mõju, annab biogaasi kasutamine mootorikütusena siiski suurema keskkonnaseisundi paranemise kui biogaasist toodetava elektriga kas põlevkivi- või piirelektri asendamine.

Majandusliku mõju hindamise tulemused näitavad, et biometaani tootmine on sotsiaalselt tulus. Saadud tulemused võimaldavad ka väita, et ühiskonnale tervikuna annab biogaasist mootorikütuse tootmine suuremat kasu kui elektri ja soojuse koostootmine. Konkreetse ettevõtte – biogaasi tootja tasandil võib tulemus olla vastupidine või siiski ka küsitav. Elektri ja soojuse koostootmisjaama investeeringu kulu on väiksem kui biogaasi puhastusseadmetel. Lisaks, arvestades praegust toetusüsteemi taastuvatest energiaallikatest toodetud elektrile (nn soodustariife – ingl k *feed-in tariffs*), on eeldatav tulu elektri ja soojuse müügist suurem kui biometaani müügist mootorikütusena. Aga seda vaid tingimusel, et soojust on võimalik efektiivselt kasutada, ja eriti veel aasta soojal ajal, kui hoonete kütmisvajadus puudub.

Samal ajal peame paratamatult arvestama, et biogaasi tootmine mootorikütuseks on Eestis alles uus, kuid suure arengupotentsiaaliga valdkond, mis vajab nii tehniliste standardite väljatöötamist kui ka rahaliste toetusüsteemide ülevaatamist, kõrvaldamaks praegused ebakõlad erinevate taastuvenergia liikide kasutamise edendamisel.

Käesolevas töö lubab näitliku juhtumiuuringu tulemuste põhjal teha üsna ühese järelduse, et biogaasi tootmine ja selle puhastamine maagaasi kvaliteedini võimaldab seda kasutada mootorikütusena ning kokkuvõtteks on see kogu ühiskonna seisukohalt sotsiaalselt tasuvam, võrreldes biogaasi kasutamisega soojuse ja elektri koostootmiseks.

6. Kasutatud kirjandus

- Biogaasi teostatavus-tasuvusanalüüs. 2010. ERKAS Valduse OÜ. Tartu. 37 lk.
- Biogaasi tootmine ja kasutamine. Käsiraamat 2009. Eesti Põllumeeste Keskliit. 157 lk.
- Directive 2008/98/EC of the European Parliament on of the Council on waste. <http://eur-lex.europa.eu>
- Directive 2009/28/EC of the European Parliament on of the Council on the promotion of the use of energy from renewable sources. <http://eur-lex.europa.eu>
- Eesti Konjunktuurinstituut. www.ki.ee
- Estonian Renewable Energy Action Plan until 2020 (<http://www.mkm.ee/nreap-2/>)
- Estonian Road Administration Statistics. <http://www.mnt.ee/?id=10667>
- Guide to Cost Benefit Analysis of Investment Projects. 2008. European Commission, 259 pp. http://ec.europa.eu/regional_policy/sources/docgener/guides/cost/guide2008_en.pdf
- Guidelines on waste prevention programmes. 2009. Bio Intelligence Service, 44 pp.
- Heatco. 2006. Developing Harmonised European Approaches for Transport Costing and Project Assessment. Deliverable 5 Proposal for Harmonised Guidelines. <http://heatco.ier.uni-stuttgart.de/> , accessed 22.05.2011
- de Hullu, J., Maassen, J.I.W., van Meel, P.A., Shazad, S., Vaessen, J.M.P. 2008. Comparing different biogas upgrading techniques. Eindhoven University of Technology, The Netherlands.
- Keskkonna säästev sõnniku hoidmine ja käitlemine. 2004. Keskkonnaministeerium. Põllumajandusministeerium. AS Maves. 48 pp. www.maves.ee
- Keskkonnateabe Keskus. www.keskkonnainfo.ee
- Kiander 2012. Virosta Euroopan Unionin jäsen. Downloaded on 16.1.2012. <http://www.hel2.fi/tietokeskus/suunnat/ss204/Artikkeli.html>
- Maanteeamet. 2010. <http://www.mnt.ee/public/2010/liiklusloendus/Lisa4-6.pdf>
- OÜ 4e Biofond poolt Vinni valda Vinni alevikku vilgu maaüksusele sea- ja veiseläggast metaankääritamise teel biogaasijaama, biogaasi transportimiseks Vinni katlamajja torujuhtme ja katlamajja biogaasist elektri- ja soojusenergia koostootmisjaama ehitamise ja kasutamise keskkonnamõju strateegilise hindamise aruanne. 2008. OÜ Vetepere.
- Põllumajanduse Registre ja Informatsiooni Amet. www.pria.ee
- Põllumajanduses kasutatavate biogaasiseadmete gaasitootlus. 2005. KTBL. 18 pp.
- Ryckebosch, E., Drouillon, M., Vervaeren, H. 2011. Techniques for transformation of biogas to biomethane.
- Siseministeerium 2009. Uuringu Eesti regioonide majandus-struktuuri muutuste prognoos. Lõpparuanne. Vastutav täitja: Tartu Ülikool. http://www.siseministeerium.ee/public/SIREG_lqpparuanne_2_.pdf
- Statistics Estonia. www.stat.ee
- Tartu linna ja Tartu maakonna biogaasi tooraine uuring. 2011. BalticBiogasBus. Tartu Linnavalitsus.
- Tartu linna ja Tartu maakonna biogaasi toorme uuring. 2010. Tartu Linnavalitsuse lepingulise töö nr SIHT-015 aruanne. SA Säästva Eesti Instituut (SEI Tallinn). 67 lk.
- Waste Prevention. Overview on Indicators. 2009. Bio Intelligent Service. [http://ec.europa.eu/environment/waste/prevention/pdf/WPG_indicators.pdf]
- Wellinger, A. & Lindberg, A. Biogas upgrading and utilization. IEA Bioenergy Task 24: Energy from biological conversion of organic waste, 2004, 20 pp. <http://www.iea-biogas.net/download/publi-task37/Biogas%20upgrading.pdf>

MTT TEKEE TIETEESTÄ ELINVOIMAA

MTT RAPORTTI

www.mtt.fi/julkaisut

MTT Raportti -julkaisusarjassa julkaistaan maatalous -ja elintarviketutkimusta sekä maatalouden ympäristötutkimusta käsitteleviä tutkimusraportteja. Lukijoille tarjotaan tietoa MTT:n kaikilta tutkimusaloilta eli biologiasta, teknologiasta ja taloudesta.

MTT, 31600 Jokioinen.

