Mecklenburger Biogas Gesellschaft mbH

Põllumajanduses kasutatavate biogaasiseadmete gaasitootlus

Tõlge saksa keelest

Väljaandja

Registreeritud ühendus Põllumajanduse tehnika- ja ehitushoolekogu (KTBL), Darmstadt

Sisukord

1.	Probleemiasetus	5
2.	Eesmärgid	5
3.	Lähenemisviis	6
4.	Gaasitootluse väljaselgitamise meetodid	7
4.1.	Partii-katsed	7
4.2.	Pidevad katsed	8
4.3.	Arvutusmudelid	9
5.	Gaasitootus	10
5.1.	Gaasitootlus laborikatsete puhul	10
5.2.	Gaasitootluse orienteeruvad suurused	15
6.	Gaasitootlust mõjutavad tegurid ja fermentatsiooniprotsessi stabiilsus	17
7.	Nõuanded seadme parameetrite väljaselgitamiseks ja seadme ekspluateerimine	19
Lisa 1:	Arvutusmudeli näide	20
Lisa 2:	Lühendite loetelu	22

1 Probleemiasetus

Taastuvenergiate seaduse (EEG) 31.97.2004 täiendusega loodi eeldused biogaasi tootmise süvendatud kasutamiseks põllumajanduses. Lisaks tööstuslikult toodetavale väetisele leiavad tulevikuperspektiivis laiemat kasutamist ka põllumajandusliku primaartoodangu baasil saadud substraadid. Viimatinimetatud protsessi käigus saavutatav gaasitootlus sõltub olulisel määral substraadi koostisest ning oma tugevat mõju avaldavad ka kasutatavad tehnoloogiad ja tehnika.
Enne biogaasiseadmete kasutuselvõtmist vajalik gaasitootluse hindamine viiakse sageli läbi empiiriliste meetodite abil ja tuginedes kogemuste käigus omandatud individuaalsetele näitajatele. Selle tagajärjeks on seadmete väga erinevad parameetrid ja seda samasuguste lähtetingimuste puhul. Samaaegselt viivad erinevad laborid ja muud teadusasutused läbi mitmesuguseid mädanemiskatseid, mille eesmärgiks on nii seadmete parameetrite paikapanemiseks vajaliku gaasitootluse väljaselgitamine kui ka vastuste leidmine teaduslikele probleemidele. Kuna mitte alati ei olda kursis ka tehnoloogiatest tulenevate mõjuteguritega või siis ei võeta neid parameetrite väljatöötamisel piisavalt arvesse, on selle tulemuseks muidu võrreldavate tingimuste puhul seadmete erinevad ja sageli optimaalsuse nõuetele üldse mitte vastavad näitajad ning siit tulenevalt ka ebaökonoomsed biogaasiseadmed.
Biogaasiseadmete puhul tehtud vead avalduvad väga markantsel viisil, kuna tegemist on kapitalimahukate ja pikaealiste seadmetega. Nende väljatöötamise käigus tehtud vigade hilisem parandamine ei ole sageli enam võimalik.
Seepärast on tegemist praktilise vajadusega biogaasiseadmete tootlikkuse hindamise ühtse ja tunnustatud andmebaasi järele, mida saaksid kasutada nii tootjad, projekteerijad kui ka nõustajad.
Üksikute käärimiskatsete läbiviimine laboritingimustes (kas partiide kaupa või pideva tööprotsessi käigus) ja orienteeruvate näitajate kasutamine suudavad pakkuda gaasitootlusega seonduvate probleemide lahendust üksnes siis, kui suudetakse kokku koondada võimalikult paljude katsete tulemused ja asjatundjate teadmised ning kui need andmed, taandatuna võrreldavatele tingimustele, ka avaldamist leiavad. Seepärast on KTBL "biogaasitootluse " töögrupi katsetuste tulemuste baasil koostatud kokkuvõte oluliseks sammuks gaasiseadmete eeldatava tootluse hindamise ühtlase ja tunnustatud andmebaasi väljatöötamise poole.

2 Eesmärk

Käesoleva töö eesmärgiks on võtta kokku teostatud fermentatsioonikatsete tulemused, anda hinnang väljaselgitatud gaasitootlusele ja teha saadud tulemused kättesaadavaks antud valdkonnast huvitatud avalikkusele.
Käesoleva töö raames tutvustatakse gaasitootluse väljaselgitamiseks kasutatavaid meetodeid. Võrdleva hinnangu andmine kasutatud labori- ja arvutusmenetlustele koos kõigi nende eeliste ja puudustega on eelduseks labori- ja arvutustulemuste sihtotstarbelisele tõlgendamisele.
Erinevate substraatide baasil saadud gaasitootluse mõõtmistulemusi ja vastavaid seisukohti täiendatakse gaasitootlust mõjutavate tegurite väljatoomisega. See on vajalik

- olemasolevate biogaasiseadmete puhul kasutatava tehnoloogia ja substraadiliigi muutmiseks (näit. substraadi valik, koormuse suurendamine),

- uute biogaasiseadmete konstrueerimiseks (seadmete konstrueerimise ja optimeerimise võimalused) ja
- otsuste tegemiseks erinevate täiendavate taimsete substraatide kasvatamisel ja kasutamisel

ning hinnangu andmiseks eeldatavatele muudatustele gaasitootluse valdkonnas.
Töö eesmärgiks on ka praktikas esinevate konstrueerimise ja planeerimisega seotud probleemide vähendamine ja ebatäpsusi esilekutsuvate põhjuse tutvustamine.

3 Lähenemisviis

Käesolev töö hõlmab endas vastavalt osalenud institutsioonide poolt tehtud 253 fermentatsioonikatset ja nende tulemusi. Nimetatutest 173 puhul on tegemist partiide kaupa läbiviidud katsetega ja 80 kujutavad endast läbivoolukatseid.
Töö käigus ilmnes, et substraatide ühemõtteliseks iseloomustamiseks vajalikke täiendavaid uuringuid tehakse liiga vähe. Üldistavate järelduste tegemine osutus võimalikuks üksnes sel teel, et üksikkatsed koondati teatud substraadigruppide juurde. Andmaks järeldustele suuremat kaalu jäeti väärtusnäitajate hulgas esinevad seletamatud äärmuslikud suurused hindamisel arvesse võtmata. Partiide kaupa tehtavate ja läbivoolukatsete vaheline eristamine osutus muuhulgas ka olemasolevate andmete hulga tõttu mittesihtotstarbeliseks. Ka ei õnnestunud hilisema töö käigus tõestada kindlakstehtavate erinevuste olemasolu partiide kaupa tehtavate ja läbivoolukatsete perioodiliste ja kulukatsete vahel.
Läbiviidud laboriuuringute tulemuste baasil tuletati keskmised väärtused. Praktikal põhinevaid näitajaid ei kaasatud keskmiste väärtuste väljaarvutamisse, kuna monosubstraate kasutatakse äärmiselt vähe.
Paljude substraatide puhul puuduvad kirjanduses igasugused andmed nende gaasitootlikkuse ja metaanisisalduse kohta või siis sisaldavad need andmed liiga suuri kõikumisi. Sageli pole laboriuuringute tulemusena saadud andmed nendega kaasnevate metodoloogiliste küsimuste ja substraadi iseloomustamiseks vajalike täiendavate uuringute puudumise tõttu omavahel võrreldavad. Ülaltoodud probleemid on lahendatavad arvutusmudelite abil ning seepärast kujutavadki sellised mudelid endast gaasitootluse hindamise tunnustatud meetodit.
Tulenevalt laboriuuringutele antud hinnangutest, arvutusmudeli abil ja ka praktikas kasutatavate seadmetega saavutatud tulemustest antakse käesolevas töös äratoodud orienteeruvate väärtuste alusel soovitused seadmete konstrueerimiseks.
Töö käigus esilekerkinud raskused olid osaliselt tingitud erinevustest kasutatud analüüsimeetodite vahel, kuna mingeid norme polnud siiani välja töötatud. Saksa Inseneride Ühingu (VDI) direktiiv nr. 4630 "Orgaaniliste ainete kääritamisest", mis kehtib alates 2005.a. veebruarist, aitab tulevikus kindlasti kaasa tekkivate probleemide lahendamisele. Lisaks sellele avaldasid uuringute tulemustele oma mõju ka üksikutes substraatides sisalduvate komponentide "loomulikud" kõikumised ja nende gaasitootlikkus. Laboriuuringute tulemuste usaldatavust võib mõjutada ka proovide võtmise kvaliteet. Uurimistulemuste otsest praktikasse ülekandmist piiravad ka erinevad tehnoloogilised parameetrid (näit. reaktsiooni pikkus, reaktori koormus, reaktorite arv jne).
Laboriuuringute käigus saadud tulemuste tõlgendamisel tuleks pöörata tähelepanu ka asjaolule, et erinevalt katsete teel saavutatust on meil praktikas tegemist metaanisisalduse 3-8%-lise vähenemisega väävli bioloogilise eraldumise tõttu. Lisaks sellele avaldavad oma mõju ka erinevates substraadisegudes toimivad sünergiaefektid.

Eriti keeruline on metaanisisalduse väljaselgitamine partiide kaupa tehtavate katsete puhul, kuna uurijate käsutuses on enamasti vaid väiksed gaasikogused. Seepärast pole ka käesoleval juhul metaani sisaldust alati üldse määratud.
Kõik käesolevas töös äratoodud gaasitootlust käsitlevad andmed lähtuvad normkogustest. See on vajalik seetõttu, et gaaside maht muutub vastavalt rõhule ja temperatuurile. Gaasi temperatuuri tõustes suureneb püsiva rõhu tingimustes ka gaasi maht. Mida suurem on rõhk, seda väiksem on gaasi maht püsiva temperatuuri tingimustes. Rõhust ja temperatuurist tingitud mahu muutused võivad ulatuda kuni 20%-ni. Mahunäitajate (biogaasi tootluse) võrdlemiseks tuleb andmed taandada normtasandile (normtemperatuur T = 273,15 K või t = 0^0C ; Normaalrõhk P = 101325 Pa = 1,01325 bar = 1013,25 mbar; kuivgaas = suhteline gaasi niiskus 0%).
Sõltuvalt kasutatavatest seadmest on biogaasi puhul alati tegemist väiksema või suurema niiskusesisaldusega. Midas suuremaks muutub biogaasi niiskusesisaldus, seda enam langeb tema küttevääртus (Hu). Andmete võrreldavuse tagamiseks on soovitav võtta normmahuks veevaba gaas. Normmahule ümberarvestamiseks on vaja teada gaasi mahtu, gaasi temperatuuri, gaasi niiskust ja õhurõhku (eeldades, et biogaasi transportimine torujuhtmetes toimub rõhuvabalt). Rakenduslik abimaterjal mõõdetud gaasimahtude ümberarvestamiseks normtingimustele on ära toodud aadressil www.lfl.bayern.de/ilb/.

4. Gaasitootluse väljaselgitamise meetodid

Alljärgnevalt kirjeldatakse lühidalt gaasitootluse väljaselgitamisel kasutatavaid uurimismeetodeid ja arvutusi. Uurimismeetodi täpsem ja üksikasjalik kirjeldus on olemas Saksa Inseneride Ühingu direktiivis nr. 4630 "Orgaaniliste ainete kääritamisest".

4.1. Batch- (partiide kaupa tehtavad) katsed

Batch – katsed, juhul kui neid tehakse ühtse meetodi alusel, kujutavad endast usaldusväärset võimalust biogaasi ja metaanitootlikkuse väljaselgitamise. Nimetatud meetodi puhul on kõige tähtsamaks maksimaalse metaanitootlikkuse näitajate väljaselgitamine. Saadud väärtused vastavad praktikas kasutatavate seadmete biogaasi tootlusele väikese oTS (orgaanilise kuivaine) - ruumikoormuse korral (näit. väike 0,5 kg oTS/m^3.d), (Tabel 1).
Lisaks öeldule võimaldavad Batch – katsed anda kvalitatiivset hinnangut anaeroobse lagunemiskiiruse kohta ning teha järeldusi uuritud ainete pidurdustoime kohta. Ka ei tohi jätta tähelepanuta asjaolu, et Batch – katsete tulemusi mõjutab ka bioloogiliste protsesside algatamiseks kasutatud muda bakteriaalne aktiivsus.
Käesolevas töös ei tehta mingeid järeldusi protsessi stabiilsuse kohta, substraatide monokääritusvõime kohta protsessi tingimustes, positiivsete ja negatiivsete sünergiaefektide ning ruumikoormuse piiride kohta.

Tabel 1: Batch – katsete eelised ja puudused

Eelised	Puudused
• Tehnilises mõttes lihtne • Võimalik on suur korduste arv • Lihtne standardiseerimine ühe substraadigrupi raames • Tulemuste kiire kättesaadavus (30...50 d / päeva) • Soodne maksumus	• Puudub praktikas kasutatava seadme jaoks vajalike reaktsiooniaja ja koormuse simulatsioon • Lagunemisprotsessid ei toimu sünkroonselt • Sageli on katsete läbiviimiseks vajalik substraatide eelnev töötlemine (purustamine) • Katsete tulemuste piiratud ülekantavus suurematele tehnilistele mastaapidele (praktikas kasutatavatele seadmetel)

Kasutusvaldkond

- Substraadigrupi sisene standardiseeritud võrdlus sobivate substraatide ja substraadi omaduste testimiseks
- Substraadi baasil tekkivate maksimaalsete biogaasi ja metaani koguste väljaselgitamine
- Erinevate substraadigruppide sobivuse teaduslik testimine

4.2. Pideva protsessina läbiviidavad katsed

Pidevalt teostatavad käärimiskatsed võivad peegeldada tööstustehniliste käärimisseadmete protsessi iseloomustavaid tingimusi paremini kui partiide kaupa tehtavad katsed. Seega sobivad pidevad katsed eriti hästi ruumikoormuse, reaktsiooniaja, mitmefaasilise protsessijuhtimise, protsessi stabiilsuse, šokikoormuse, sissetöötamisprotsesside ja muu sarnase simulatsiooniks ning nende tulemused on ka hästi ülekantavad. Kuid näiteks reaktori konstruktsiooniliste variantide, eeltoitesageduse ja läbisegamise intensiivsuse kohta saab nende aluselt teha vaid piiratud järeldusi (tabel 2).
Statistiliste hinnangute andmist nimetatud katsetele piirab ka nendega seonduv suur ajakulu ning seadmete vajadus. Kuna katsematerjal on meie käsutuses vaid piiratud kogustes, siis ei ole pideva protsessina läbiviidavate katsete teostamine otstarbekas.

Tabel 2: Pideva protsessina tehtavate katsete eelised ja puudused

Eelised	Puudused
• Reaktsiooniaja ja koormuse simulatsioon on lihtsalt teostatavad • Lagunemisprotsessid sarnanevad praktikas kasutatavates seadmetes toimuvate protsessidega • Protsessi kõik parameetrid on seadistatavad ja ka kontrollitava / jälgitavad • Protsessile omaste bioloogiliste protsesside kohaldatavus seadistatud tingimustega	• Tehniliselt kulukas • Standardiseeritavus vaid piiratud ulatuses, kuna toimub bioloogia kohaldamine • Korduste tegemine praktiliselt võimatu ning tulemused on kasutatavad mitte enne kui pärast kolme reaktsiooniaja möödumist • Eeltoite sageduse ja segamise intensiivsuse simulatsioon on võimalik vaid piiratud ulatuses • Toide tahkete ainetega on raskesti simuleeritav • Kulukas

Kasutusvaldkond

- Protsessiga seonduvate bioloogiliste ja tehnoloogiliste küsimuste kontrollimine menetluste ja substraatide osas
- Optimeerimisele suunatud katsed
- Kasutatava menetluse abil substraadi ja substraadisegude baasil saavutatava biogaasi tootluse väljaselgitamine
- Tehnilised soovitused praktikas kasutatavate seadmete konstrueerimiseks
- Baasuuringud

4.3. Arvutusmudelid

Kui konkreetse üksikjuhtumi korral puuduvad gaasitootluse uurimiseks vajalikud andmed või kui teostatud uuringud kirjeldavad kasutatud substraadiliiki ja selle kvaliteeti ebapiisavalt, võivad arvutusmudelid osutuda väga väärtuslikuks abivahendiks. Sellised mudelid võimaldavad anda substraadile ka laboriuuringute tulemuste olemasolu puhul võrdleva hinnangu. Nad võivad olla väga edukalt ka aluseks seadmete projekteerimisele ja ka otsuste tegemisel mingi substraadi kasutamise küsimuses juba olemasoleva põllumajandusliku biogaasiseadme puhul (tabel 3).

Tabel 3: Arvutusmudelite eelised ja puudused

Eelised	Puudused
• Lihtsad ja laialdaselt kasutatavad • Olemas on suur hulk standardiseeritud söödaanalüüse ja/või nad on soodsa hinnaga tehtavad • Tulemused on koheselt käes ja kasutatavad • Soodne hind	• Vajalikud on andmed substraatide keemilise koostise kohta (näit. Weender – analüüs ja seeditavuse koefitsient) • Vajalik on mudeli kinnitamise olemasolu • Järelduste tõsiseltvõetavus sõltub mudeli kvaliteedist • Osaliselt on vajalikud täiendavad labori standarduuringud

Kasutusvaldkond

- Orienteeruvad väärtused substraadi valikuks ja seadmete parameetrite määramiseks /seadistamiseks
- Biogaasi tootluse teoreetiline väljaselgitamine laborikatsete tulemuste ja analoogide alusel
- Erinevate substraadigruppide eelneva valiku teostamine

Gaasitootlus ja metaanisisaldus arvutatakse välja ligikaudsete väärtustena teatud lähtesuuruste nagu näit. seeditavuse ja komponentide sisalduse alusel. Meie käsutuses olev üha suurem hulk laborikatsete (nii partiide kaupa tehtud kui ka pideva protsessina teostatud katsete), aga ka praktikas kasutatavate seadmete tulemusi aitavad kaasa uute mudelite täiustamisele /vt. ka lisa 1).

5 Gaasitootlus

5.1 Gaasitootlus laborikatsete puhul

Kõik "Biogaasi tootlikkuse" töögrupi poolt väljaselgitatud gaasitootlikkuse näitajad sisestati KTBL andmebaasi. Nimetatud andmebaas sisaldab endas informatsiooni komponentide ja substraatide, aga ka kääritamise tingimuste ja katse läbiviimise kohta. Edaspidi tuuakse substraatide puhul ära üksnes keskmised väärtused (Tabel 4).
Fikseerides katsete arvu ja variatsioonide koefitsiendi (VK = standardkõrvalekalle keskmisest väärtusest protsentides) kui lähtealuse üksikute näitajate kõrvalekalde mõõtmiseks keskmistest väärtustest on võimalik hinnata keskmiste väärtuste kohta tehtud järelduste kvaliteeti. Variatsioonide koefitsient puudutab gaasitootlust. Variatsioonide madal koefitsient pisteliste proovide suure arvu (n) korral on tõendiks gaasitootluse näitajate väikese hajuvuse ja seega väärtustele antud hinnangu tõsiseltvõetavuse kohta. Variatsioonide kõrge koefitsient viitab aga seevastu vääruste suurele omavahelisele hajumisele.
Substraatide puhul, mille kohta oli olemas ainult üks hindamisele läinud katse, ei ole ühegi variatsioonikoefitsiendi väljatoomine võimalik. Sellest tulenevalt on ka gaasitootlust puudutavad andmed vaid piiratult põhjendatud.
Praktikas avaldavad biogaasi tootlusele olulist mõju mitmesugused erinevad tehnoloogilised parameetrid ja seadmete tehnilised näitajad ning konstruktsioon. Seepärast peaks tabelis 4 äratoodud väärtuste kasutamisel projekteerimisetööde puhul põhimõtteliselt maha arvama 10%, ja seda turvalisusest tulenevatel eesmärkidel.

Tabelis 4 äratoodud metaanisisalduse näitajad on osaliselt oluliselt kõrgemad praktikas kogetud väärtustest. Selle põhjuseks on muuhulgas asjaolu, et laborikatsete puhul ei leia aset bioloogilist väävli eemaldumist või see pole katse enese tõttu lihtsalt teostatav. Õhu lisamise tõttu seadmete gaasikambrisse langeb suhteline metaanisisaldus (vrdl. ptk. 3.2.). Projekteerimistööde puhul kõrgete variatsioonikoefitsientide, katsete väikese arvu ja > 60%-lise metaanisisalduse korral on soovitav teha vastav mahaarvamine.

Tabel 4: Biogaasi ja metaani tootlikkuse keskmised näitajad valitud substraatidega teostatud laborikatsete puhul (andmed on ära toodud normmahtudes). (Allikas: KTBL "Biogaasi tootlikkuse" töögrupi laboriuuringute tulemuste hindamine)

Substraat	Substraadi omadused (substraadi olek, töötlus, päritolu)	Katsete arv (n)	TS (%)	oTS % TS (%)	Biogaasi tootlikkus (I_N/kg oTS)	Variatsioonide koefitsient Biogaasi tootlikkus (%)	Biogaasi tootlikkus M^3/t FM)	Metaani sisaldus (%)
KOHALIK VÄETIS								
Veise vedelsõnnik	Vasikad	2	12,3	83,8	220	7,2	23	55,7
Veise vedelsõnnik	Nuumkari	4	11,1	86,2	229	15,3	22	56,3
Veise vedelsõnnik	Piimakari	6	10,1	85,6	233	9,7	20	61,9
Veise vedelsõnnik	Veised	2	9,7	81,0	264	17,8	21	57,1
Veise vedelsõnnik	-	14	8,5	81,4	345	31,7	24	58,0
Veise vedelsõnnik söödajääkidega	Maisisilo osakaal 10% d. oTS	1	8,0	81,3	388	-	25	58,0
Veise vedelsõnnik söödajääkidega	Maisisilo osakaal 20% d. oTS	1	8,0	81,3	460	-	30	58,0
Sea vedelsõnnik	-	12	4,7	71,9	447	33,9	15	60,8
Veisesõnnik	-	2	21,8	82,3	337	72,1	60	53,2
Kanasõnnik	Kuiv	1	86,4	69,3	385	-	231	51,4
Küüliku vedelsõnnik	-	1	12,7	81,1	410	-	42	61,0
TAASTUVAD TOOREINED								
Mais	Silo, piimaküps	7	21,9	95,7	578	14,6	121	51,9
Mais	Silo, taignaküpsuse algus	9	27,8	94,8	651	9,3	171	51,9
Mais	Silo, taignaküps	17	32,6	94,7	642	17,4	198	54,0
Mais	Silo, täisküps	29	40,1	96,3	593	15,3	229	54,0
Rohi	Värske	17	21,1	89,7	596	22,7	113	55,4
Rohi	Silo	19	28,3	89,0	627	22,2	158	52,9
Rohi	Hein	2	83,9	92,5	580	19,6	451	50,9
Ristikhein	Silo	3	12,7	90,3	482	12,6	55	69,4
Ristikhein	Hein	1	89,5	93,1	414	-	345	67,5
Rohi	Maastikuhooldus, värske	2	21,6	90,2	145	24,4	28	57,0
Rohi	Maastikuhooldus, kuiv	2	74,7	93,0	143	3,5	99	56,1
Muruniide	Haljasniide	2	28,2	72,4	207	29,8	42	49,0
Muruniide	Golfiväljak	1	31,8	78,0	457	-	113	56,9
Söödakultuurid	Värske	1	19,3	92,2	335	-	60	70,7
Söödakultuurid	Silo	3	12,7	89,2	477	10,7	54	69,4
Söödakultuurid	Hein	1	87,6	92,6	399	-	323	67,1
Pilliroog, miscanthus	Värske	1	31,3	94,2	369	-	109	49,0

Pilliroog, miscanthus	Silo	1	30,2	94,4	470	-	134	46,7
Sudaani rohi	Värske	6	40,7	95,6	364	6,3	141	62,9
Sudaani rohi	Silo	6	26,3	93,4	531	24,7	131	53,7
Rukis	Tervetest taimedest valmistatud silo	3	29,4	92,9	664	23,5	182	52,3
Hirss	-	2	31,9	87,3	635	0,6	158	46,7
Kanep	Silo	2	27,8	88,0	340	11,9	83	46,9
Peedilehed	-	2	13,6	73,4	535	4,0	53	54,3
Söödapeet	-	3	15,0	93,1	850	19,4	119	54,5
Söödapeet	Silo, mesofiilne kääritus	1	10,5	91,0	950	-	91	58,0
Söödapeet	Silo, mesofiilne kääritus	1	10,5	91,0	1100	-	105	55,0
Suhkrupeedi lehed	Värske	1	18,1	73,2	704	-	93	48,9
Suhkrupeedi lehed	Silo	1	23,4	73,6	503	-	86	46,9
Suhkrupeet	-	4	19,5	96,0	775	8,7	145	49,7
Kartulid	Tükeldatud	4	20,1	92,2	728	15,0	134	56,5
Nisu	Terad	1	86,6	98,0	764	-	649	48,0
Nisu	Õled	1	90,2	91,8	280	-	232	55,0

SUBSTRAADID ÜMBERTÖÖTLEMISPRODUKTIDEST JA ORGAANILISED JÄÄKAINED

Õunapressimise jäätmed	-	1	15,9	97,3	480		74	Andmeid pole
Õlleraba	Värske või pressitud	3	19,9	95,3	589	38,0	112	57,1
Biojäätmete kast	-	1	32,0	71,9	350		81	63,0
Rasvaeraldaja	Flotatsiooni muda	2	43,0	90,0	1300	5,4	508	Andmeid pole
Teravili	Puhastusjäägid	2	89,2	93,6	656	12,5	548	54,0
Teravili	Praak (alkoholitootmine)	3	6,9	94,5	673	6,2	44	54,2
Kanep	Presskook	1	89,4	93,0	119		99	65,2
Kartul	Tehnoloogiline vesi (tärklise tootmine)	1	1,6	81,3	423		6	65,0
Kartul	Viljas sisalduv vedelik (tärklise tootmine)	1	3,5	62,9	727		16	71,0
Kartul	Praak (alkoholitootmine)	2	4,7	85,1	674	3,6	27	54,4
Kartul	pulp	1	19,0	94,7	480		86	58,0
Linnasekohvi raba	-	1	21,1	97,6	525		108	59,0
Ravimtee	tootmisjäägid	2	20.5	76,8	329	29,7	52	50,5
Vatsa sisu	-	1	15,0	86,7	300		39	60,0
Rapsikook	Külmpress	2	88,5	88,8	900	12,6	707	54,3
Silo nõrutusmahl	Rohu- ja maisisilo, ca 1:1	3	1,4	71,2	849	20,0	8	58,0
Toidujäägid	-	1	18,2	92,9	856		145	56,2
toidujäägid	Mesofiilne	3	16,4	87,2	530	20,6	76	57,0
Toidujäägid	Termofiilne	3	16,4	87,2	681	5,0	97	58,9
Viinamarja pressimisjäägid	< 1mm jahvatatud	1	28,2	74,5	287		60	55,8

SEGUD

Segu	1 000 g veise vedelsõnnikut + 100 g kartulitit	1	10,1	84,4	250		21	Andmeid pole
Segu	1 000 g veise vedelsõnnikut + 100 g maisi	1	9,4	100,0	560		53	Andmeid pole

Segu	1 000 g veise vedelsõnnikut + 100 g silo kattematerjali	2	10,7	72,5	120	58,9	9	Andmeid pole
Segu	1 000 g veise vedelsõnnikut + 100 g ZR- šnitslit	2	9,4	80,7	360	31,4	27	Andmeid pole
Segu	1 000 g veise vedelsõnnikut + 100 g šnitslit/ pressimisjäätmeid	1	11,1	87,9	300		29	Andmeid pole
Segu	1 000 g sea vedelsõnnikut + 50 g rapsi	1	20,0	86,6	480		42	Andmeid pole
Segu	1 000 g sea vedelsõnnikut II + 5 % glütseriini	1	8,5	78,8	760		51,1	Andmeid pole
Segu	1 000 g sea vedelsõnnikut III + 41,6 g rapsikooki	1	4,3	79,5	880		30	Andmeid pole
Segu	1 000 g sea vedelsõnnikut IV + 9 % RZ presssnitslit	1	9,1	55,4	420		21	Andmeid pole
Segu	1 000 g sea vedelsõnnikut V + 60 g kanepi GP	1	9,4	86,8	460		37	Andmeid pole
Segu	1 000 g veise vedelsõnnikut + 100 g rohtu	1	12,7	79,3	210		21	Andmeid poel
Segu	Teraviljajäätmed, tahke sõnnik	1	26,1	80,1	420		88	58,0
Segu	Kliid 70% ja teraviljajäätmed 30%	1	95,0	93,7	624		555	46,0
Segu	S-nisu 40% / herned 40% / põldtuder 20%	1	34,50	90,9	564		177	52,4

n. e. = ei ole välja selgitatud

5.2. Gaasitootluse orienteeruvad väärtused

Üksikute käärimiskatsete tulemusi käsitleva ülevaate koostamise käigus ilmnes, et üksiktulemuste vahel on suured ja olemasolevate andmete alusel põhjendamatud erinevused.. Osaliselt on tegemist ka üsna suurte erinevustega võrreldavate üksikkatsete arvus laborite kohta ja ka substraatide liikide kaupa. Võttes arvesse nimetatud mõjutegureid ning ka asjaolu, et sama substraadiliigiga tehtud käärimiskatsete arv on ositi väike, on äratoodud näitajate põhjendatuse aste ka erinev (tabel 5).

Tael 5: Käärismisubstraatide gaasitootlikkuse orienteeruvad näitajad (andmed on ära toodud normmahtudes)

Substraadi omadused		Orienteeruvad väärtused							
Substraat	Substraadi olek, töötlus, päritolu	TS (%)	s.h. oTS (%)	Biogaasi tootlikkus (I_N/kg oTS)	Metaani sisaldus (%)	Elektri-voolu kogus [1] (KWh/t FM)	Toitainete sisaldus käärimisjäägis N [2]	P_2O_5	K_2O
KOHALIK VÄETIS									
Kanasõnnik	Kuivaine, ilma õlgedeta	45	75	500	65	351	18,4	14,3	13,5
Hobusesõnnik	Ilma õlgedeta	28	75	300	55	111	-	-	-
Veise vedelsõnnik	söödajääkidega	8	80	370	55	42	3,5	1,7	6,3
Veise vedelsõnnik	Ilma söödajääkideta	8	80	280	55	32	3,3	1,6	5,9
Veisesõnnik	-	25	80	450	55	158	4,0	3,2	8,8
Sea vedelsõnnik	-	6	80	400	60	37	3,6	2,5	2,4
TAASTUVAD TOORAINED									
Viljaterad	(Rukis / nisu) peenestatult	87	98	700	530	1012	12,5	7,2	5,7
Silo teraviljast ja tervetest taimedest	Keskmine teravilja terade osakaal	40	94	520	52	325	4,4	2,8	6,9
Rohi	Värske, töötlemata	18	91	600	54	170	3,3	1,4	6,1
Rohi	Märg ja närtsinud silo	25	88	560	54	213	4,0	2,2	8,9
Rohelise rukki õied	Varane niit, silo	25	88	590	54	224	3,9	2,3	9,0
Keskmise tärklisesisaldusega kartul	püreeritud	22	94	730	52	251	2,5	1,3	5,8
Maisisilo	piimaküpsus	22	95	570	52	198	2,3	1,5	4,2
Maisisilo	Taignaküpsus, terarikas	30	96	600	52	288	2,8	1,8	4,3
Maisisilo	Kasvuküpsus, terarikas	35	96	600	52	335	3,3	1,9	7,8
Söödapeet	-	11	88	700	52	113	1,2	0,6	4,6
Peedilehed	Sileeritud (suhkru- ja söödapeet)	18	80	600	54	149	3,2	1,0	7,7
Valge peakapsa lehed	Värsked	13	82	610	55	114	2,7	-	-
Nisuõled	Lühikeseks hekseldatud	86	92	370	51	478	3,7	1,6	10,3
Suhkruhirss / sudaani hein	-	18	91	550	53	153	2,3	-	-
Suhkrupeet	värske	23	92	700	51	242	1,8	0,8	2,2
SUBSTRAADID ÜMBERTÖÖTLEMISPRODUKTIDEST JA ORGAANILISED JÄÄKAINED									
Vananenud leib	-	65	97	760	53	813	9,2	3,7	3,9
Puuvilja pressimisjäätmed	Värsked, töötlemata	22	98	520	52	187	1,7	0,5	1,9
Õlleraba	Värske või pressitud	24	96	530	59	231	7,0	3,7	0,3
Biojäätmed	Vt. 3)	40	50	615	60	236	4,6	2,0	2,2
Maapähklikliid	-	93	90	520	62	864	21,7	-	-
Rasvaeraldaja	-	5	90	1000	68	98	0,7	0,2	0,2
Friteerimisrasvad	-	95	87	1000	68	1798	-	-	-
Teravilja praak (nisu)	Alkoholi tootmine	6	94	640	59	68	2,5	0,7	0,6

Teraviljatolm	-	87	65	680	53	652	15,8	8,4	25,3
Glütseriin	-	100	99	850	50	1346	-	-	-
Kartuli pulp	Pressitud, tärklise tootmisest	25	94	610	50	229	1,2	1,4	6,6
Kartuli praak	Alkoholi tootmine	6	87	670	56	63	2,1	1,0	4,0
Linnasekohvi pressimisjäägid	Värske	20	98	510	57	182	4,6		
Vadak	värske	5	92	750	53	59	0,8	1,0	1,5
Vatsa sisu	-	15	84	480	55	106	1,9	2,0	1,0
kohupiim	Värske	22	95	670	67	300	19,3	-	-
Rapsikook	15% jääkõli sisaldus	91	93	680	63	1160	37,7	24,8	16,4
Söögijäägid	Keskmise rasvasisaldusega	16	87	680	60	182	5,2	4,1	1,9
Täispiim	värske	13	95	900	63	224	4,1	2,2	1,8

1) Arvestatud 32%-lise elektrilise kasuteguriga (ilma süüteõli energiata) ja 10 kWh/m^3 metaani korral.
2) N – sisaldus käärimisjääkides võtte sarvesse 28%-list kadu ladustamisel ja laost väljatoimetamisel.
3) Biojäätmed moodustuvad suurest hulgast erineva päritoluga ainetest; Tegelikud väärtused võivad igal üksikul juhul erineda oluliselt siinkohal ärätoodud andmetest.

Viimatinimetatud põhjusel otsustas töögrupp avaldada orienteeruvad näitajad. Nende puhul on tegemist eksperimentide tulemusel saadud väärtustega, mis tuginevad laborikatsetele (tabel 4) ning lisas 1 ärätoodud arvutusmudelile, aga ka praktikas saadud näitajatele. Ärätoodud hinnangulised gaasitootluse näitajad on sobivad orienteeruvate väärtustena seni, kuni meie käsutuses pole mingi konkreetse kasutusjuhtumi jaoks sobivaid paremaid näitajaid. Soovitavalt on vajalik ärätoodud näitajate jooksev ülevaatamine ja täpsustamine gaasitootlust kajastavate uute tulemuste alusel.

6 Gaasitootlust mõjutavad tegurid ja fermentatsiooniprotsessi stabiilsus

Laboriseadmeid iseloomustavad enamasti anaeroobsele biotsönoosile vastavad optimaalsed tingimused. Ka tabelis 5 ärätoodud orienteeruvad väärtused eeldavad seadmete häireteta ja stabiilset töörežiimi. Praktikas avaldavad biogaasi tootlikkuse orienteeruvatele näitajatele olulist mõju tehnoloogilised parameetrid, ainete kontsentratsioon ja inhibiitorid ning ka seadmed ise.
Alljärgnevalt tuuakse ära olulised tehnoloogilised näitajad ja nende mõju gaasitootlusele, iseloomustatakse nende mõju sellele protsessile ja viimase stabiilsusele ning kirjeldatakse varieerimisvõimalusi ja kasutusvaldkondi (tabel 6).

Tabel 6

Gaasitootlust mõjutavad tegurid ja protsessi stabiilsus

Parameeter	Ühik	alates kuni	Gaasitootlus M^3/kg oTS	Protsessi stabiilsus	Kasutusala praktika	Märkused
Reaktori temperatuur	^{0}C ^{0}C ^{0}C	Kuni 20 30 kuni 40 45 kuni 55 (70)	Temperatuuri tõustes suureneb lagunemis-Kiirus; temperatuurid > 55°C tekitavad protsessi depressiooni.	Temperatuuri suurenedes väheneb protsessi stabiilsus	Väga harva Tavaline üksikjuhud	Külmalembesed bakterid Mesofiilsed bakterid Termofiilsed bakterid

Temperatuuridiapasoonide siseselt ei ole mõju gaasitootlusele ja stabiilsusele praktikas rakendatavate tingimuste korral praktiliselt tõestatav.
Temperatuuri kõikumisi tuleb vältida, kuna vastasel juhul võivad tekkida negatiivsed mõjud gaasitootlusele ja protsessi stabiilsusele.

Reaktsiooni aeg	Päevad	10 kuni üle 100	Gaasitootlus suureneb pikema reaktsiooniaja puhul kuni maksimaalse tootluseni	Suureneb pikema reaktsiooniaja puhul	25 kuni 100	Kasvava temperatuuri puhul saab kasutada lühemaid reaktsiooni-aegu; reaktsiooniaja < 20 d tulemuseks on väga vähene roiskumine ja substraadi kasutus ning väiksem gaasitootlus ja vaiksemad haisuga seotud probleemid. Vältida tuleb aktiivse bakteripopulatsiooni väljapesemist. Ka fermentidesse tagasivoolu puhul ei tohiks rakendada reaktsiooniaega, mis jääb allapoole kriitilist piiri (20 d)
Reaktori koormus	Kg oTS / m^3.d	0,5 kuni 10	Gaasitootlus väheneb koormuse suurenedes (diapasoonis 1 kuni 3 kg oTS / m^3.d võib eeldada lineaarset langust kuni 10% ulatuses, kui koormus kasvab 1 kg/m^3 võrra).	Protsessi stabiilsus langeb alates 3 kg oTS / m^3.d koos koormuse suurenemisega	0,5 kuni 5	Reaktsiooniaega ja reaktori koormust tuleb vaadelda koos ja võtta neid projektide koostamisel ka arvesse. Sõltuvalt kasutatavast substraadist ja komponentide lagundatavusest tuleb kasutada erinevaid orienteeruvaid näitajaid. Reaktorite järjestikuse ühenduse puhul tuleb pidada silmas üksikute reaktorite koormust.

Reaktsiooniaeg ja reaktori koormus — Reaktsiooniaja ja reaktori koormuse kindlaksmääramisel tuleb arvestada substraadi selliseid parameetreid nagu substraadi liik, näitajad, kogus, kontsentratsioon, lagunemiskiirus. Reaktorite järjestikuse ühenduse puhul on vajalik metaanimahuti eraldi arvestamine.

Substraat:	Reaktsiooniaeg:	Reaktori maks. koormus
Veise vedelsõnnik + NAWARO	≥50 päeva	3-4 kg/m^3-d
Sea vedelsõnnik + NAWARO	: ≥80 päeva	3-4 kg/m^3-d
NAWARO monokääritus	: ≥80 päeva	kuni 3 kg/m^3-d

Eeltoite sagedus	d^{-1}	1 kuni 12 kuni 24	Substraatidele vastava eeltoite sageduse korral gaasitootlus väheneb	Raskesti lagunevad substraadid Kergelt lagunevad substraadid	3 kuni 12 kuni 24	Reaktori suure koormuse ja lühikese reaktsiooniaja puhul tuleb eeltoite sagedust suurendada. Sageduse tõstmisel peab päevane ratsioon kas jääma samaks või vähenema. Toite väiksemad intervallid võivad vähendada H_2S-koormust gaasis.

Rikastuskihi tugevus — cm — 0 kuni 30

Kutsub esile gaasivahetusprotsessi takistumise ja teatud tugevusest alates ei ole tema lõhustamine olemasolevate segamisseadmete abil enam võimalik. Järelkääritusmahutistes võib ta olle osaliselt soodustavaks teguriks näit. baktereid kandva substantsina väävli bioloogilise eemaldamise jaoks.

Lisaks sellistele tehnoloogilistele parameetritele nagu reaktsiooniaeg ja reaktori koormus mõjutavad gaastitootlust ka ainete kontsentratsioon ja kasutatavate substantside pärssiv toime. Silmas tuleb pidada asjaolu, et fermentatsiooni protsessi õnenstumise seisukohalt on esmase tähtsusega reaktoris olev ainete kontsentratsioon ja eeltoide. Nii on materjali eeltoide näit. 86% kuivaine puhul täiesti probleemitu, kui reaktoris ei ületata 10 kuni 12 % kuivaine piiri. Kui kuivaine suurte kontsentratsioonide puhul muutuvad oluliseks hüdraulikaga seotud küsimused, siis kõrge lämmastikukontsentratsiooni ja lenduvate rasvhapete puhul hakkavad mõjutama biloogiliste protsessidega kaasnevad pärssivad toimed.

Kontsentratsioonide piirid võivad olla ka muutuvad, kuna tegemist on ka bakterite adapteerumisega. Kindlakstehtud vastastikused toimed ja mõjutegurid on ära toodud tabelis 7.

Tabel 7: reaktoris olevate ainete kontsentratsioonide ja pärssiv toime mõju

Parameetrid (reaktoris ja/või biogaasi vedelsõnnikus)	Märkused
Kuivaine sisaldus (%)	Kuni 10% sisalduse puhul puuduvad negatiivsed toimed. (Mõju on põhjendatav hüdralikaga, sest vastasel korral ei ole reaktori hüdralilised probleemid üldse lahendatavad). Täheldatav on sõltuvus substraadi struktuurist.
NH_4-N (kg/m^3)	Kuni suurusjärguni 4 kg/m^3 ei ole mingeid negatiivseid toimeid. Mõju sõltub bioloogia adapteerumise astmest kontsentratsioonile.
pH - väärtus	Seadme käitlemine pH- väärtuse alusel on keeruline. Trendikarakteristikutest ja gradientidest on kasu ainult vähemalt üjekordse igapäevase mõõtmise korral.
Rasvahapete sisaldus (mg/l) Äädikhappesisaldus Propioonhappe sisaldus	Praktikas kasutamiseks ei ole olemas mingeid kohaldatud kiirteste, mida oleks võimalik väikeste kulutustega läbi viia. Rasvhappete kogusisalduse mõõtmine on seotud suure ajakuluga (mitu päeva kuni mingi tulemuse saamiseni) ning suurte kulutuste tõttu kasutatakse seda pigem harva ja üsna eberegulaarselt. Kuid muudatused äädik- ja propioonhappe sisalduses lubavad siiski teha olulisi järeldusi protsessi kulgemise kohta.
Veterinaarravimid ja desinfitseerivad vahendid	Nimetatud vahendite professionaalse ja asjatundliku kasutamise korral ei ole siiani täheldatud mingeid protsessidega seonduvaid probleeme. Juhul kui nimetatud vahendeid kasutatakse mitte ainult ühe looma vaid terve talli / osakonna puhul, võivad esineda teatud toimed, kui ravimitest ja desinfektsioonivahenditest mõjutatud vedelsõnik satub kontsentreeritud olekus biogaasi tootmisseadmesse.

7 Nõuanded seadmete parameetrite väljaselgitamiseks ja seadme ekspluateerimiseks

Lähtuvalt laborikatsete käigus saadud gaasitootlusest (tabel 4) ja tootluse orienteeruvatest näitajatest (tabel 5) on soovitav põllumajandusliku biogaasi tootmisseadme kavandamise etapil lasta neid kotrollida mõne neutraalse institutsiooni, näit. põllumajanduse nõustamiskeskuse poolt ja just nende tehnoloogilise vastavuse ja finantsilise rentaabluse mõttes. Eriti vajab kontrollimist pikajaliste kapitalimahutuste otstarbekus ja kavandatud väljaspoolt tarnitavate lisasubstraatide hangete jätkusuutlikkus. Täiendava kindlustunde annab "halvima võimaliku variandi" läbimängimine.

Tabel 8 Seadmete tehniliste näitajate mõju

Parameetrid	Märkused
Reaktori suurus	Ei avalda mingit mõju, kui on tagatud komponentide korralik läbisegamine ja kui ei teki lühiseid; on tihedalt seotud reaktori koormuse ja reaktsiooniajaga
Segisti liik Sukelmootor Laba- ja suurlabasegisti	NaWaRo ja/või kõrge kuivainesisalduse puhul ei ole kõigil juhtudel soovitavad. Osaliselt sobivad NaWaRo ja substraadi kalduvuse puhul tekitada ujuvkihti.
Segamissagedus	Sõltub segamistehnikast, substraadist ja kuivainesisaldusest reaktoris, tavapärased on 2 kuni 5 läbisegamisperioodi.
Kütmisliik	Ei avalda õigete mõõtmiste ja külgekõrbemiste vältimise korral mingit toimet; kõne alla võib tulla mikroorganismide kahjustumine kõrge eelkäivitustemperatuuri korral; põranda-(põhja-)kütte kasutamine on settekihtide puhul piiratud.
Reaktorite (järjestikune) ühendus	Gaasi suurem tootlus ja substraadi edukam hügieniseermisprotsess tänu tagurpidise segamise väiksemale mahule.
Täiendavate substraatide lisamine eelsüvendisse otse fermentimisseadmesse	Pikema hoiustamisaja puhul võib algava käärimisprotsessi tulemusena tekkida tootluse vähenemise oht. Gaasi suurema tootluse võimalus parema läbisegamise tulemusena, kergemini automatiseeritav.
Substraadi peenestamine	Positiivne mõju gaasi tootlusele ja lagunemise kiirusele.
Substraadi konserveerimine sileerimise teel	Täpse bilansi koostamise seisukohalt on oluline sileerimisel tekkivate kadude ja rasvhapetega seotud süsiniku jälgimine. Gaasi suurema tootluse puhul tagab sileerimine parema kääritusprotsessi.
Seadmete juhtimine gaasi kvaliteedi mõõtmise teel	Seadme juhtimine gaasianalüüsi ja vastavate mõõtmiste teel kujutab endast head vahendit, trendikarakteristikud ja gradiendid on abiks vaid iga päev või sageli läbiviidavate mõõtmiste korral.

Põllumajandusliku biogaasiseadmega toodetava gaasikoguse optimeerimise ja seadme efektiivse tööprotsessi põhimõtteliseks eelduseks on igal juhul kasutatavate ainete koguste ja nende kvaliteedi, aga ka toote (biogaasi koguse ja kasutatava elektrienergia) koguste ja kvaliteedi (CH_4- ja H_2S - sisalduse) mõõtmine. Nimetatud parameetrite jooksev järelvalve ja nende hindamine näit. ajajadade abil, võimaldab anda hinnangut biogaasiseadme võimsusele ning loob võimaluse vajaduse korral vajalike juhtimismeetmete rakendamiseks ja põhimõtteliste otsuste langetamiseks. Kahjuks paljudes seadmetes seda elementaarset mõõtmistehnikat lihtsalt ei ole.
Kõige tähtsam on rektori suuruse, koormuse, reaktsiooniaja ja plokkkütteseadme võimsuse seadistamine kasutatavatele ja pikaajalises perspektiivis saadaolevatele substraatidele. Majanduslikel kaalutlustel on ülalnimetatud parameetritega seotud ja protsessi optimeerimise eesmärgil läbiviidavate arvutuste tegemine tungivalt soovitav, kusjuures nende raskuspunkt peaks olema lisasubstraatide koguste kindlaksmääramisel.

Lisa 1: Näide arvutusmudeli kohta

Arvutuste teostamise aluseks on järgmised eeldused:

- Substraadi biogaasi / metaani tootlus on oma olulises osas määratud proteiinide, rasvade ja süsivesikute sisaldusega ning nende ainegruppide seeditavusega.
- Kääritamismahutis asetleidvad muundumis- ja lagunemisprotsessid toimuvad sarnaselt looma maos asetleidvate protsessidega.

Lähtuvalt nimetatud eeldustest on biogaasiseadmes kasutatavate söötade puhul võimalik kasutada söödaväärtuste tabelites olemasolevaid toitainetesisaldusi ja seeditavuse näitajaid

(VQ) ning arvutada välja ligikaudse gaasi tootluse. Toiteainetesisaldus ja seeditavuse näitajad varieeruvad sõltuvalt ainete küpsuse (valmiduse) astmest ja ka konserveerimisviisist. Nagu ka loomade söötmise puhul ei ole ka siin olemas ühe põlluvilja ühesugust söödakvaliteeti.
Rohu sileerimisseadme (1. niide, õitsemise keskperiood) näite varal tuuakse siinkohal ära gaasitootlus komponentide kaupa. Toortoitainete sisaldused ja seeditavuse näitaja VQ (tabel 9) on ülevõetud andmetöötlusprogrammist ZIFO (Zielwert Futteroptimierung / sööda optimeerimise sihtväärtused/, dr. Rutzmoser K., dr. Spann B., Bayerische Anstalt für Tierzucht, Grub 2001).
Nende andmete baasil on võimalik arvutada välja orgaanilise kuivmassi (oTM) sisaldus, seeditavate süsivesikute, seeditava toorproteiini ja seeditava toorrasva mass kuivmassi (TM) kilogrammi kohta ja seda alljärgmisel viisil:

- orgaanilise kuivmassi (oTM) sisaldus:
  (toorkiud + NfE (lämmastikuvaba ekstraktaine) + toorproteiin + toorrasv) = 89,80%
- seeditavad süsivesikud:
  (toorkiud x $VQ_{toorkiud}$) + (NfE x VQ_{NfE}) = 522,77 g
- seeditav toorproteiin:
  (toorproteiin x VQ_{RP}) = 85,92 g
- seeditav toorrasv:
  (Toorrasv x $Vq_{toorrasv}$) = 24,98 g

Seega on ühe kilogrammi orgaanilise kuivaine puhul tegemist 582 g seeditavate süsivesikute, 96 g seeditava toorproteiini ja 28 seeditava toorrasvaga.
Seeditavate komponentide juurde kuulub ka spetsiifiline gaasi moodustamise määr ja metaani sisaldus (tabel 10). Vastavalt sellele võib sellise rohusilo kääritamise puhul arvestada umbes 562 l biogaasiga orgaanilise kuivmassi kilogrammi kohta ning 53,6%-lise metaanisisaldusega. See vastab umbes 182 m^3 gaasitootlusele 1000 kg toormassi kohta (561,7 x 0,989 x 0,36).

Tabel 9: Rohusilo toortoiteainete sisaldused ja seeditavuse näitaja, 1. niide, õitsemise keskperiood

Kuivmassi (TM) sisaldus %	Toorkiud g/kg kuiv-massis	$VQ_{toorkiud}$ % kuiv-massis	NfE g/kg kuiv-massis	VQ_{NfE} % kuiv-massis	Toor-Proteiin g/kg kuiv-massis	VQ_{RP} % kuiv-massis	Toorrasv g/kg kuiv	$VQ_{toorrasv}$ % kuiv-massis
36	293	74,30	436	69,97	132	65,09	37	67,51

Tabel 10: Rohusilo gaasitootlus: 1. niide, õitsemise keskperiood

Ainete grupp	Gaasi tootlus[1] l / kg orgaanilises substantsis	CH_4 osakaal[1] Mahu %	Mass kg / kg orgaanilises kuivmassis	Gaasi tootlus l / kg orgaanilises substantsis	CH_4 – osakaal Mahu %
Süsivesikud	790	50	0,582	459,9	40,9
Proteiinid	700	71	0,096	67,0	8,5
Rasv	1250	68	0,028	34,8	4,2
Kokku	-	-	0,706	561,7	53,6

[1] Põllumajanduslikud kääritusseadmed, Baserga U., FAT-Berichte nr. 512, Tänikon (1998)

Lisa 2: Lühendite loetelu

TS	Kuivaine
oTS	orgaaniline kuivaine
d	päevad
m^3	kuupmeeter
VK	variatsioonide koefitsient = standardkõrvalekalle % keskmisest väärtusest
n	pisteliste proovide maht
lN	liitrit normgaasi
FM	toormass
H_2S	väävelvesinik
VQ	seedivuse näitaja
NfE	lämmastikuvaba ekstraktaine
RP	toorproteiin
CH_4	metaan

Kaane tagakülg

Põllumajanduslikes biogaasiseadmetes saavutatav gaasitootlus sõltub olulisel määral substraadi koostisest ning kasutatavast tehnoloogiast ja tehnikast. Enne biogaasiseadmete kasutuselvõtmist vajalik gaasitootluse hindamine toimub sageli tuginedes kogemuste käigus omandatud individuaalsetele näitajatele ning selle tulemuseks on erinevate parameetritega seadmete kasutamine samasuguste lähtetingimuste puhul.
Biogaasiseadmete parameetrite väljaarvutamisel tehtud vead mõjutavad seadmete suure maksumuse väga oluliselt tootmise efektiivsust. Arvestuslike näitajatega seotud vigade hilisem korrigeerimine ei ole sageli enam teostatav. Käesolevas töös tutvustatakse gaasitootluse väljaselgitamise ja arvutamise meetodeid ning antakse neile ka hinnang. Samuti tuuakse ära teostatud fermentatsioonikatsete tulemused ning gaasitootluse kooskõlastatud orienteeruvad näitajad, mida täiendatakse hinnangu andmisega gaasitootlust mõjutavatele teguritele. Töö avalikustamise eesmärgiks on vähendada praktikas esinevaid seadmete parameetrite kindlaksmääramise ja projekteerimisega seotud probleeme ning teavitada asjasthuvitatuid esinevate ebatäpsuste põhjustest.