

Norges miljø- og biovitenskapelige universitet
Fakultet for realfag og teknologi
Seksjon for vann og miljø

2018

ISSN: 1503-9196

REALTEK rapport 58

Følgforskning Tingvoll gard -masse- og energibalanser, økonomi og klimanytte

Forfattere:

John Morken, NMBU
Ingvar Kvande, NORSØK
Tormod Briseid, NIBIO
Aina Stensgård, Østfoldforskning
Simon Saxegård, Østfoldforskning



Morken, J., Kvande, I., Briseid, Stensgård, A., og Saxegård, S. 2018. **Følgforskning Tingvoll gard -masse- og energibalanser, økonomi og klimanytte** - REALTEK Rapport 58, 28 s.

Ås/Oslo, januar 2018

ISSN: 1503-9196

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

OPPDRAGSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Innovasjon Norge

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Guri Hotvedt

FORSIDEBILDE

Foto: Ingvar Kvande, NORSØK

NØKKELORD

Biogass, massebalanse, energipotensial, klimanytte

KEY WORDS

Biogas, mass balance, energy potential, environmental benefits

John Morken (johnmo@nmbu.no), Ingvar Kvande, Tormod Briseid, Aina Stensgård, Simon Saxegård.
Fakultet for realfag og teknologi, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Postboks 5003, NO-1432 Ås

Forord

Følgforskningen er et samarbeid mellom NIBIO, SINTEF Tel-Tek, Østfoldforskning, NORSØK og NMBU (Fakultet for realfag og teknologi). Dette er det andre delprosjektet i følgeforskningsprogrammet som er finansiert av Innovasjon Norge. Målinger og beregninger for masse- og energibalanser er utført av NORSØK. Østfoldforskning har utført økonomiberegninger samt klimanytteberegninger. NIBIO har utført de analysene som ikke kunne utføres av VestfoldLAB. REALTEK har hatt prosjektledelsen av prosjektet.

Ås 05.01.2018

John Morken

Sammendrag

Rapporten beskriver resultatene fra følgeforskningsprosjektet knyttet til biogassanlegget til Tingvoll gard som er eid av stiftelsen NORSØK (Norsk senter for økologisk landbruk). Prosjektet er finansiert av Innovasjon Norge, og er et underprosjekt i følgeforskningsprogrammet.

Rapporten baserer seg på to delrapporter – en fra NORSØK og en fra Østfoldforskning som til sammen omhandler anleggets netto energiutbytte, økonomi og - klimanytte.

I forsøksperioden, som var over 120 dager i 2017, ble mengdene av råstoff inn i anlegget registrert. Samtidig ble prøver tatt ut til analyser av innhold av tørrstoff (TS), organisk tørrstoff (beregnet som flyktig tørrstoff (VS) og kjemisk oksidasjonsforbruk (COD)). Mengde og sammensetning av biogass ble også registrert, samtidig med at utslipp av metan og ble estimert. Den hydrauliske oppholdstiden var på 30 døgn. Resultatene fra målingene på anlegget ble dessverre ikke som forventet pga. ustabile driftsforhold. Anlegget behandlet storfe gjødsel, men har også mulighet til å blande inn annet avfall. Det gjennomsnittlige tørrstoffinnholdet varierte fra 2 - 4,3 %. Den hydrauliske oppholdstiden var på 30 døgn. Den organiske belastningen på reaktorene varierte mellom 0,7 og 1,2 kg VS/m³*døgn. Det interne energibehovet i anlegget varierte mellom 61 og 85 % av produsert energi. Undersøkelsen viste et metanutbytte på mellom 310 og 550 Nm³ CH₄/tonn VS.

På grunn av den unormale driftssituasjonen under forsøksperioden, baserer økonomi- og miljønytteberegningene seg på resultater fra tidligere forsøk der gjennomsnittlig tørrstoffprosent var 6 % med et spesifikt biogassutbytte på 260 Nm³ CH₄/tonn VS. Det er gjort økonomi- og miljønytteberegninger og med bruk av fiskesåpe som tilleggssubstrat (et avfall fra GC Rieber Oils i Kristiansund som produserer omega-3 konsentrater fra fiskeolje). Tilsetningen av fiskesåpe er oppgitt til 5 % på volumbasis, noe som tilsvarer nær 50 % på tørrstoffbasis. Det spesifikke metanutbytte til fiskesåpe er beregnet til 720 Nm³ CH₄/tonn VS.

Økonomiberegninger er foretatt på grunnlag av estimerte anleggskostnader for tilsvarende anlegg til et vanlig gårdsbruk. Dette ble gjort fordi anlegget har vært gjennom flere ombygginger i tillegg til at det er bygd som et forskningsanlegg med komponenter som ikke anses nødvendig for kommersiell drift. Beregninger av økonomi er også beheftet med usikkerhet, men viste at selv med investeringsstøtte fra Innovasjon Norge og ENOVA, samt driftsstøtte fra Landbruksdirektoratet at anlegget hadde et negativt årsresultat, nåverdi og internrente. Anlegget var bygd med tanke på å bruke fiskesåpe som tilleggssubstrat. Analysene inneholder derfor to scenarier – ett uten og ett med fiskesåpe. Økonomianalysene viser at anleggets netto nåverdi er - 1,40 Mill NOK, med en internrente tilsvarende - 3,9 %. Dette betyr at anlegget, med drift- og, utviklings- og investeringsstøtte, ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomt ved forutsetningene om årlig energiproduksjon og salgspriser for el og varme i denne rapporten. Tingvoll gard har et årlig driftsresultat på ca. - 102 000 NOK ved sambehandling av storfe gjødsel og fiskesåpe.

Beregnet klimakostnad ble beregnet til 77 NOK/tonn CO₂-ekv. for behandling av kun storfe gjødsel. Dersom man blandet inn 5 % fiskesåpe, ble beregnet til 48 NOK/tonn CO₂-ekv.

Abstract

The report describes the results of the follow-up project related to the Tingvoll Farm biogas plant, owned by the Norwegian Society for Organic Research. The project is funded by Innovation Norway.

The report is based on two sub-reports - one from NORSØK and one from Østfold Research, which together deal with the plant's net energy yield, economy and climate change effects.

During the trial period, which was over 120 days in 2017, amounts of raw material into the plant were recorded and the characteristics of the input and output material were analyzed. Amount and composition of the biogas were also recorded, while methane emissions were estimated. The hydraulic residence time was 30 days. The results of the measurements at the plant were unfortunately not as expected due to unstable operating conditions. The plant treats dairy cow manure but also has the possibility of adding other waste. The average solids content was in the range 2-4.3%. The hydraulic retention time was 30 days. The organic load on the reactors varied between 0.7 and 1.2 kg VS/m³*day. The internal energy requirement of the plant varied between 61 and 85% of the energy produced. The survey showed methane yields between 310 and 550 Nm³ CH₄/tonnes VS.

Due to the non-stabilized operating situation during the trial period, the economy and environmental performance calculations were based on results from previous trials where the average solids percentage was 6% with a specific biogas yield of 260 Nm³ CH₄/tonnes VS. Economic and environmental utilization calculations have been made with the use of fish soapstock (waste product from Omega 3 fish oil refining industry) as a co-substrate. The addition of fish soapstock was 5% by volume, which corresponds to almost 50% on a dry basis. The estimated specific methane yield of fish soapstock is 720 Nm³ CH₄/tonnes VS.

Economic calculations have been made on the basis of estimated plant costs for corresponding plants for a normal farm. This was done because the plant has gone through several re-builds with added costs as well as it being designed as a research facility with some of the components not considered necessary for commercial operation. Calculations of the economy are also subject to uncertainty, but showed that even with investment support from Innovation Norway and ENOVA, as well as operating subsidies from the Norwegian Agricultural Directorate, the plant had a negative annual result, present value and internal interest rate. The plant was built with the intention to use fish soapstock as an additional substrate. The analyzes therefore contain two scenarios - one without fish soapstock and one with fish soapstock. The financial analysis shows that the plant's net present value is - 1.40 Mill NOK, with an internal interest rate equivalent to -3.9%. This means that the plant, with operational, development and investment support, is not economically profitable by the assumptions of annual energy production and electricity and heat sales prices in this report. Tingvoll farm has an annual operating profit of approx. - NOK 102 000 for co-digestion of dairy cow manure and fish soapstock.

The estimated climate cost is calculated to 77 NOK/ton CO₂-eq. for treating only cattle manure. If the manure is mixed with 5% fish soapstock, it is calculated to 48 NOK/ton CO₂-eq.

Innholdsfortegnelse

Innledning	7
Beskrivelse av anlegget.....	7
Massebalanse	9
Energibalanse.....	10
Utslipp.....	11
Modellering og beregninger av energiproduksjon, internt energiforbruk og egenskaper til biogjødsel.....	12
Økonomi	13
Klimanytte.....	19
Konklusjon.....	22
Potensiale for utvikling av løsningen valgt på Tingvoll gard	24
Litteratur	25

Vedlegg 1: Følgforskning – biogassanlegget på Tingvoll gard. NORSØK RAPPORT nr. 8/Vol. 2/2017, 22 s.

Vedlegg 2: Følgforskning: Tingvoll – Miljø- og økonomianalyse. Østfoldforskning, Rapportnr. 01.18, 36 s.

Innledning

Målet med følgeforskningen er å evaluere om anlegget gir netto energiutbytte og klimanytte som forutsatt ved planlegging, samt evaluere økonomien i anlegget og bidra til kompetanseoverføring til aktører i bransjen. Dette er gjort ved å utføre en masse- og energibalanse, samt en analyse av investering- og driftsøkonomi. Ved å bruke disse dataene inn i en klimanyttemodell utviklet av Østfoldforskning, oppnås en klimanytteberegning.

Biogassanlegget på Tingvoll gard eies av NORSØK. Prosjekteringen og byggingen av anlegget ble utført i tidsrommet 2010 - 2012. Anlegget ble bygd som en del av gjødselhåndteringen, og skulle være en brikke i satsning på fornybar energi.

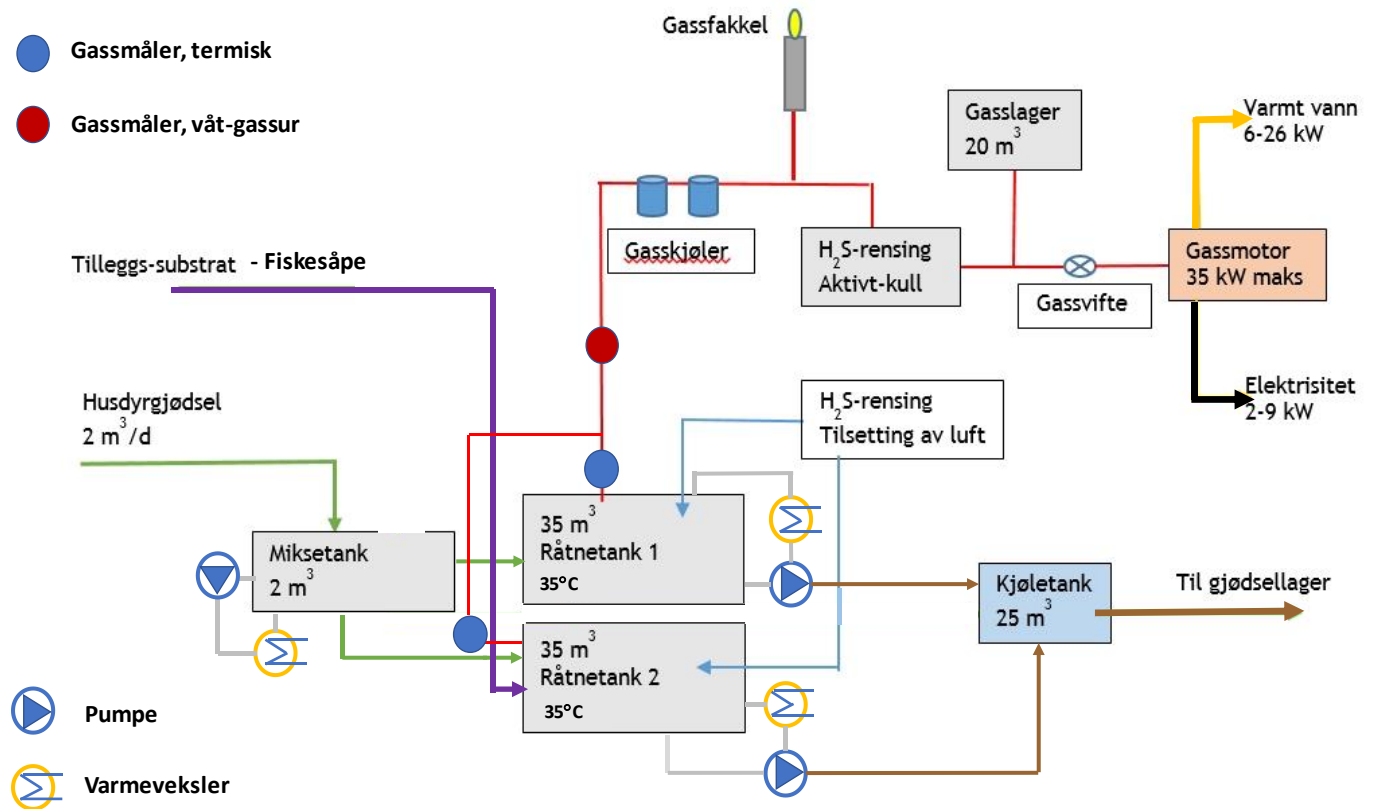
Som et ledd i Stortingets klimaarbeid har Klima- og miljødepartementet bevilget midler til Innovasjon Norge for investeringer i- og følgeforskning av fullskala pilotanlegg for biogass. Formålet med støtten er å tilrettelegge for testing av teknologi for biogass i mindre skala på gårdsnivå. NORSØK har mottatt utviklingsstøtte fra Innovasjon Norge, og er en av biogassanleggene med status som nasjonalt pilotanlegg. Denne rapporten er en del av følgeforskningen av anlegget, og er en sammenfatning av to delrapporter. Den ene er rapporten fra NORSØK (Kvande, Løes, & Ghaharamani, 2017), og den andre er rapporten fra Østfoldforskning (Saxegård & Stensgård, 2017).

Rapporten består av fire deler. Den ene er beskrivelse av anlegget, den andre er hovedresultater fra masse- og energibalanse-beregninger, den tredje er økonomianalyser, og den fjerde er klimanytteanalyser.

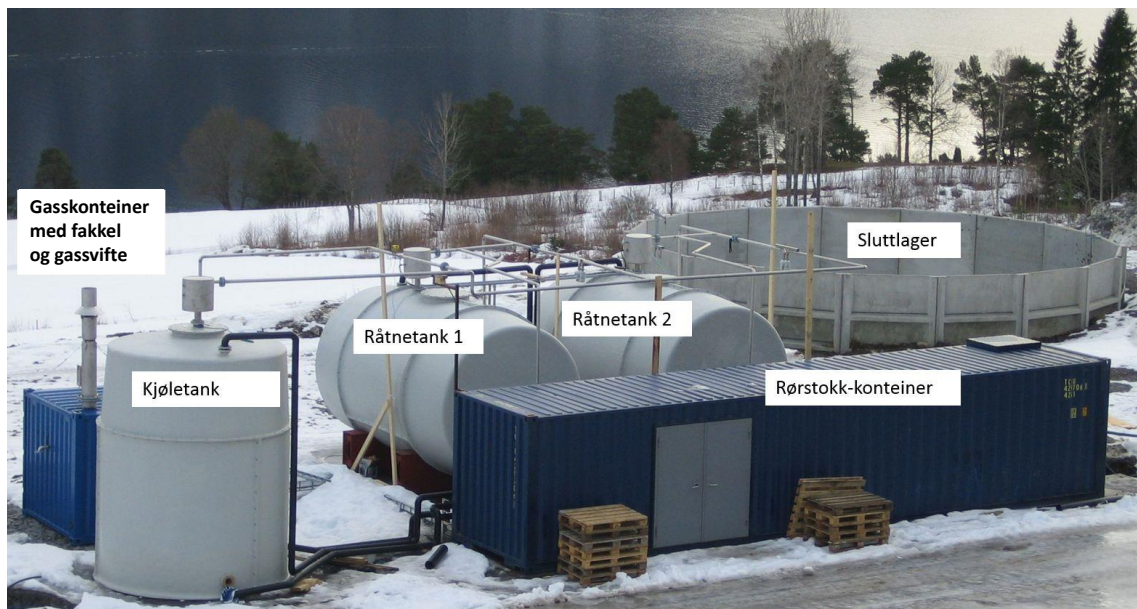
Beskrivelse av anlegget

Dette kapitlet referer i helhet til rapporten fra NORSØK. Flytdiagram for anlegget er vist på Figur 1.

I tillegg er propellomrører og fiberkutter installert i henholdsvis fjøset og før miksetanken.



Figur 1. Forenklet flytskjema for biogassanlegget på Tingvoll gard.. Grønn linje – gjødsel, lilla linje – fiskesåpe, grå linje – substrat i tanken (rundpumping/kompensasjon for varmetap), brun linje - biogjødsel før og etter kjøletank. Rød linje – gass. Oransje linje – varmt vann og svart linje – elektrisitet.



Figur 2. Oversiktsbilde av biogassanlegget før ferdigmontering, isolasjon og overbygg. Fjøset med pumpekum for storfejødsel ligger ca. 100 m vest for anlegget, dvs. til høyre for bildet. Gasslager på 20 m³ er plassert til venstre for kjøletank og gasskonteiner.

Anlegget har to reaktortanker laget av glassfiber, hver med et totalvolum på 35 m³ (70 m³ totalt). Disse er isolert med isolasjon tilsvarende 20 cm mineralull. Reaktortankene, rørstokk-konteiner og styringskonteiner er bygd inn i et uisolert hus. Den ene tanken, reaktortank 2, har i dag fungerende gassomrøring, mens den andre kun har omrøring ved tilbakepumping av substrat.

Blautgjødsel fra pumpekum/flyterenner (74 m³) i fjøset pumpes til miksetanken (2 m³) og forvarmes før innmating. Mengden gjødsel som pumpes inn i reaktorene måles ved hjelp av veieceller slik at nøyaktig mengde blir registret. Miksetanken er plassert i rørstokk-konteineren (Figur 2).

Reaktortankene varmes opp gjennom varmeveklser (vann til gjødsel) og røres ved rundpumping. Anlegget har oppvarming ved hjelp av en væske/væske varmepumpe (7 kW). Varmepumpen gjenvinner varme fra biorest som går ut fra reaktortankene til kjøletank. I kjøletanken blir temperaturen senket til ca. 15 °C før bioresten blir ført ut i sluttlager. Kjøletanken (ca. 25 m³) fungerer også som (statisk) gasslager. Fra kjøletanken pumpes bioresten ut til et sluttlager på 640 m³ som vist i figur 2.

Omrøringspumpene på hver tank (Figur 1) flytter substratet både i forbindelse med oppvarming og omrøring.

Det er rensing av hydrogensulfid ved tilsetning av luft i head-space på reaktorene (3 – 5 volumprosent av gassproduksjonen), samt ved hjelp av et aktivt-kull filter (Figur 1). Et partikkelfilter tar ut eventuelle partikler i gassen. Et gasslager på 20 m³, samt en gassvifte sikrer jevn gass-tilførsel til Stirling-motoren, som er plassert 400 m fra biogass-anlegget.

Stirling-motoren kan gi en effekt på 2-9 kW strøm og 8-25 kW varme avhengig av gassmengde og konsentrasjon av metan i biogassen. El-virkningsgrad er derfor på 25 % og en totalvirkningsgrad på 92-97%.

Råstoffet som brukes i anlegget på Tingvoll gard er hovedsakelig storfegjødsel (ca. 720 tonn) fra økologisk melkeproduksjon med 23 årskyr + påsett. Fiskesåpe/avfall (1-5 vekt %) fra Omega-3 produksjonen til GC Rieber Oils AS i Kristiansund tenkes anvendt som tilleggs-råstoff.

Massebalanse

Det var to påfyllinger av gjødsel per dag, til sammen 2 m³.

Det ble montert to termiske målere for gassmåling, en for hver tank samt et Ritter gassur (TG10) på gassrøret etter at gassen fra reaktortanker og kjøletank var samlet. En GA5000 portabel gass-analysator (CH₄, CO₂, H₂S, CO, O₂) ble brukt for å måle sammensetning av biogassen.

Væskevolumet i hver av reaktorene var på 30 m³ og den hydrauliske oppholdstiden for anlegget var på 30 dager. Forsøksperioden for anlegget ble først satt til 3 hydrauliske oppholdstider, ble seinere noe utvidet og gikk fra 19. juni (uke 25) til 29. september (uke 39).

Det var problemer med pumping av gjødsel fra fjøset til miksekummen, men dette ble dessverre ikke avdekket før forsøksperioden startet. I selve forsøksperioden ble det målt en økning i gassproduksjon fra uke til uke. Problemer med innmating av gjødsel oppsto 30. juli (uke 30) og tiltok i starten av august. Dette viste seg å være forårsaket av skumdannelse i miksetanken. Pumpen som tilfører råstoff fra miksetanken til reaktortankene fikk problemer i og med at dette skummet la seg foran pumpa slik at pumpa ikke fikk «tak» i råstoffet. Samtidig med skumproblemene sank pH i reaktortankene fra 7,7 til 7,5,

og 21. august (uke 34) ble innmating stoppet noen dager. Skummingen avtok noe og pH stabiliserte seg. En forsiktig innmating ble startet opp igjen 28. august (uke 35). Innmatingen var oppe på 1 tonn pr. dag 8. september (uke 36). Grunnet driftsproblemene ble det ikke foretatt nye gassmålinger i slutten av forsøksperioden og resultatene som presenteres for perioden 28. juni (uke 26) til 30. juli (uke 30) representerer den delen av forsøksperioden med mest stabil drift.

Nedbrytningsgrad for henholdsvis RT1 og RT2 var 28 % og 24 % for uke 26 og 40,3 % og 40,7 % for uke 30. Tørrestoffinnholdet for ubehandlet gjødsel varierte fra 2,09 % til 4,33 %.

Energibalanse

Tabell 1 gir en oversikt over beregnet energiproduksjon for de ulike ukene i forsøksperioden. Beregningene er basert på målte verdier for gassproduksjon, gassinnhold og organisk innhold i gjødsla.

Den spesifikke metanproduksjonen er relativt høy, 310 – 550 m³ CH₄/tonn VS sammenlignet med 100–260 m³ CH₄/tonn VS som man vil forvente å oppnå for storfe gjødsel. Dette tyder på at storfe gjødsel har hatt et høyt innhold av lett-omsettelig organisk materiale. Årsaken kan være at kun den svært flytende delen av gjødsla ble «silt» gjennom den mer faste delen på grunn av problemer med propellomrøreren (som skal homogenisere gjødsla). Mest sannsynlig var råstoffet som har blitt brukt i forsøksperioden preget av vaskevann som har tatt med seg lett-løselig og lett-omsettelig organisk materiale fra den faste massen (som har blitt liggende igjen i fjøset). I uke 28 og 29 har arbeidet med å flytte på gjødsel i fjøset resultert i at mer organisk materiale har blitt tatt med og at TS har økt i råstoffet. Dette førte til fallende spesifikk metanproduksjon. Dette kan skyldes økt innhold av tungt omsettelig karbon. Det kan i tillegg også skyldes at kulturen i reaktortankene hadde begrenset kapasitet med tanke på å tilpasse seg den relativt raske endringen i sammensetning på gjødsla.

Tabell 1. Organisk belastning, metan-innhold, spesifikk metan- og biogass- produksjon og energiproduksjon.

Uke nr	kg VS/døgn	Organisk belastning [kg VS/m ³ reaktor døgn]	m ³ biogass/døgn	Spesifikk biogassproduksjon [m ³ biogass/ kg VS]	CH ₄ [vol%]	Spesifikk metanproduksjon [m ³ CH ₄ /kg VS]	Energi-produksjon per uke [kWh]
U27	40,6	0,7	35,9	0,88	59,1	0,52	1485
U28	29,9	0,5	27,3	0,91	60,0	0,55	1147
U29	59,4	1,0	31,8	0,53	57,1	0,31	1271
U30	72,4	1,2	38,8	0,54	58,5	0,31	1598

Gassproduksjonen er omregnet til et totalt teoretisk utbytte i kWh (før tap i gasskjele eller motor) og ligger mellom 164,0 og 227,2 kWh per dag perioden fra uke 27 til 30.

Gjennomsnittet av strømforbruket per uke for biogass-anlegget ble avlest til 1050 kWh. Tabell 2 viser størrelsen på de 4 største forbrukerne av elektrisk kraft. For forsøksperioden var strømbroken for disse

forbrukerne samlet per dag i snitt 139 kWh. Dette tilsvarer 973 kWh/uke (16,2 kWh/uke og m³ reaktor). 93 % av strømforbruket i biogass-anlegget er knyttet til oppvarming og omrøring/fordeling av varme.

Oppvarmingsbehovet i miksetanket ble beregnet ca. 58 kWh. Tilsvarende mengde elektrisk energi brukes også i pumpene i anlegget for å fordele varmen (58,9 kWh). Varmekolbene avga hver dag ca. 80 kWh med varme, og ca. 22 kWh gikk tapt i rørnett og fordelingen av varmen.

Tabell 2. Energibruk biogass-anlegget på Tingvoll gard.

	Effekt [kW]	Driftstid gj.snitt i forsøksperioden [timer]	Strømbruk i forsøksperioden [kWh]	Driftstid 2016 [timer]	Strømbruk 2016 [kWh]
Varmekolber, oppvarming av vann	8	10	80,0	4 302	34 416
Pumpe distribusjon av vann til varmeveksler miksetank og reaktortanker	0,37	19,8	7,3	5 695	2 107
Pumpe omrøring miksetank/forvarming	1,1	17,3	19,0	3 463	3 809
Pumpe omrøring/kompensasjon av varmetap	4,4	7,4	32,6	3 494	15 374
Total strømbruk [kWh]			139		55 706

Forbruket per dag var i gjennomsnitt ca. 153 kWh.

Tallene viser at oppvarmingen av råstoffet kunne vært mer effektivt. Varmetapet kunne nok i større grad vært redusert ved annen utforming på systemet for å oppnå kortere rørstrekk.

Utslipp

Såpevann har blitt brukt til deteksjon av utslipp fra flenser. Både da anlegget ble bygd og ved vedlikeholdsoperasjoner har man foretatt lekkasjesøk. De lave verdiene av flyktige fettsyrer i kjøletanken tyder ellers på at ubetydelig potensial for metanproduksjon fra biogjødselen i sluttlageret. Det er tidligere foretatt målinger på restpotensialet i bioest fra kjøletank, der dette også ble funnet å være ubetydelig (Kvande og Løes, 2014).

Modellering og beregninger av energiproduksjon, internt energiforbruk og egenskaper til biogjødsel

Feil! Fant ikke referanseilden. Måleperioden var preget av lite operativ normaldrift på grunn av en rekke faktorer nærmere forklart i NORSØK rapporten (Vedlegg 1). Tabell 3 viser målte verdier og beregnede verdier for biogassproduksjonen og fremtidig drift med sambehandling med fiskesåpe. Dataene er basert på informasjon fra rapportene (Ward, 2012) og (Kvande et al., 2017), og man antar at disse vil gi det mest sannsynlige biogassutbyttet ved normaldrift. Beregnede verdier er merket oransje. En sammenstilling av beregnede verdier for ulike lab-utbyttmålinger og for forventete utbytter er gitt i tabell 3.

Tabell 3. Oppgitte og beregnede verdier for produsert biogass, metaninnhold, levert varme og elektrisitet, samt mengde og andel faklet biogass for 2017 og fremtidig drift.

Biogassanlegget på Tingvoll gard.	Kun storfejødsel	Sambehandling storfejødsel og fiskesåpe	Enhet
Våtorganisk avfall fra næring (fiskesåpe)	0	37	Tonn
Storfejødsel	730	730	Tonn
SUM Substrat	730	767	Tonn
Biogass produsert	15 129	52 163	Nm ³
Varme produsert	60 725	235 936	kWh
El produsert	22 658	88 036	kWh
Biogjødsel	1 075	1 963	Tonn
Andel faklet	2,6%	2,6%	Andel

Som vist i tabell 3 er det stor forskjell mellom beregnet biogassutbytte ved behandling av storfejødsel vis à vi sambehandling av storfejødsel og 5% fiskesåpe våt vekt (v.v). Årsakene til den store økningen i biogassutbytte for sambehandling er flere, men den viktigste er nok at fiskesåpe har et høyt biogassutbytte (720 L CH₄/ kg TS fra labforsøk). Dette gjør at sambehandling gir et estimert biogasspotensial på 450 L CH₄ / kg vektet TS.

Tabell 4 viser målte og beregnede verdier for tonn biogjødsel, ubehandlet substrat, andel tørrstoff (TS) i biogjødselen samt andel og tonn TS nitrogen og fosfor for 2017. Beregnede verdier er merket grønt.

Tabell 4. Beregnede mengder tonn biogjødsel samt relativ og absolutt mengde TS for 2017 og fremtidig drift.

Mengder ut biogjødsel	Kun storfejødsel	Sambehandling	Enhet
Biogjødsel levert ut (tonn)	1 074	1 963	Tonn
Biogjødsel TS (%)	2,26%	1,21 %	Andel
Biogjødsel TS (Behandlet)	24,3	23,8	Tonn
Nitrogen (% av TS)	7,0%	7,2 %	Andel
Nitrogen	1700	1700	kg
Fosfor (% av TS)	1,1 %	1,2 %	Andel
Fosfor	276	276	kg

Ved sambehandling produseres det en større mengde biogjødsel med en lavere mengde TS enn behandling av storfejødsel. Årsaken til at sambehandling i dette tilfellet gir lavere TS mengde ut er fordi det forventes en sambehandlingsseffekt i tillegg til at 100% av TS i fiskesåpen forventes å bli omdannet til gass.

Tingvoll biogass oppgir et årlig energiforbruk på 67 900 kWh, hvorav 13 000 kWh direkte elektrisitet forbruk og 54 900 kWh varme fra elektrisitet.

For kun storfejødselbehandling blir elektrisitetsforbruket tilsvarende 1550 kWh/tonn TS storfejødsel eller 840 kWh /tonn TS for sambehandling av storfejødsel og fiskesåpe. Fiskesåpen forventes å ikke endre elektrisitetsforbruk. I tabell 5 presenteres beregnet energiregnskap for Tingvoll for biogassanlegget samt hele verdikjeden.

Tabell 5. *Energiregnskap for Tingvoll.*

	Storfejødsel	Sambehandling	
Energiforbruk, kun biogassanlegg	67 917	67 917	kWh
Energiforbruk, hele verdikjeden	68 517	69 144	kWh
Energiproduksjon biogass	81 798	323 971	kWh

Gitt at energiforbruket er likt i biogassanlegget ved behandling av storfejødsel og sambehandling med storfejødsel og fiskesåpe er det kun energi forbundet med transport av fiskesåpe som vil øke energiforbruket igjennom hele verdikjeden for de to scenariene. Ser en på energiregnskapet vil produsert elektrisitet og varme overskride totalt energiforbruk igjennom hele verdikjeden, men energikvaliteten er vesentlig lavere for elektrisitet – og varme produksjonen.

Økonomi

Økonomi- og miljøanalysene av biogassanlegget på Tingvoll gard tar utgangspunkt i to scenarier:

- Dagens løsning med behandling av storfejødsel.
- Fremtidig løsning med sambehandling av storfejødsel og fiskesåpe.

Anlegget behandler i dag kun storfejødsel, men er bygd for sambehandling. De to scenariene bygger på beregnede verdier fra målinger i lab og litteraturdata. Dette skyldes at anlegget foreløpig er i en innkjøringsfase og det per dags dato ikke fins data for normal drift.

For begge scenariene produserer anlegget varme og el av biogassen, og biogjødselen utnyttes i landbruket.

Tabell 6 viser forutsetningene for de to scenariene i miljø- og økonomianalysen av biogassanlegget på Tingvoll gard. Varme og el produsert er beregnet ut fra oppgitt substratmengde, energibruk, oppholdstid andel biogass faklet og biogasspotensialer fra labmålinger og litteratur.

Tabell 6. Forutsetninger for scenarioanalysene av miljø- og økonomi for Biogassanlegget på Tingvoll gard.

Forutsetninger	Forventinger om at Stirling-motoren er flaskehals	29% nedbrytning (nedre målte gjennomsnittsverdier)	44% nedbrytning storfegjødsel	44% nedbrytning storfegjødsel, 100% nedbrytning fiskesåpe	
Biogassproduksjon	Forventet 2017	Kun storfegjødsel	Kun storfegjødsel	Sambehandling	Enhet
Mengde produsert (59%* 70,5%** CH ⁴)	52 429	6 085	15 866	52 163	Nm ³
Mengde rågass faklet	1 363	263	412	13 15	Nm ³
Varme produsert	221 512	38 720	59 570	231 448	kWh
Elektrisitet produsert	82 654	14 448	22 228	86 361	kWh
Rågass faklet %	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	Andel

Økonomianalysen tar utgangspunkt et kommersielt Tingvoll-anlegg uten forsknings-, utviklings- og testaktivitetene. Dette er for å belyse det økonomiske potensialet for et biogassanlegg som Tingvoll.

Økonomianalysen, - som miljøanalysen, tar utgangspunkt i de to forhåndsdefinerte scenariene (behandling av storfegjødsel og sambehandling av storfegjødsel og fiskesåpe). Analysen vurderer anleggets bedriftsøkonomi for de to scenariene, både med og uten støtteordninger. Støtteordningene som er vurdert er investeringsstøtte fra Enova, utviklingsstøtte fra Innovasjon Norge, samt tilskudd for levering av storfegjødsel til biogassanlegg. Andre støtteordninger som juridiske virkemidler o.l. er ikke vurdert, da det er usikkert hvordan fravær av disse virkemidlene vil påvirke økonomien til anlegget.

Datagrunnlaget er basert på verdier og beskrivelser gitt av NORSØK v/Ingvar Kvande samt litteraturdata. Resultatene i denne rapporten er spesifikk for biogassanlegget på Tingvoll gard, og er ikke representativ for biogassanlegg generelt. Resultater, tallgrunnlag og systemgrenser kan være svært forskjellig fra anlegg til anlegg og fra år til år.

I studien til NORSØK ble det registrert driftsproblemer knyttet til maskinfeil og inhiberende effekter som skumming, nedgang i pH samt lav innmating av substrat (Kvande et al., 2017). Målt biogassutbytte og nedbrytningsgrad for samtlige forsøk preges av disse problemene og anses ikke som realistiske ved normal drift (Kvande et al., 2017).

Grunnet store variasjoner mellom forventet biogassproduksjon og resultater fra forsøk, samt store usikkerheter knyttet til forsøkene, er det valgt å kjøre to scenarier basert på beregnede verdier og litteraturdata. Scenario 1 er behandling av kun storfegjødsel og scenario 2 er sambehandling av storfegjødsel og fiskesåpe.

Biogassanlegget på Tingvoll gard mottok i 2017 totalt 730 tonn våt vekt (v.v) storfegjødsel. Ut fra angitte verdier for tørrstoff-andel (TS%) for substratet tilsvarer anaerob behandlet mengde 43,8 tonn TS. Mottatte og behandlede mengder våtvekt (tonn) og andel tørrstoff for de to substratene er vist i tabell 7.

Tabell 7. Mottatte og behandlede mengder (tonn) avfall i våtvekt (v.v) og tonn TS samt TS-andel for behandlede mengder fordelt på de to scenariene.

Substrat kun storfe gjødsel	Mottatte mengder (tonn v.v)	Behandlede mengder (tonn TS)	TS (%)
Storfe gjødsel	730	43,8	6 %
Totalt 2017	730	0	6 %
Substrat sambehandling	Mottatte mengder (tonn v.v)	Behandlede mengder (tonn TS)	TS (%)
Næring våtorganisk (fiskesåpe)	37	37	98,9 %
Storfe gjødsel	730	43,8	6,0 %
Totalt	767	80,8	6,0 %

Økonomianalysene gir en sammenlikning av anleggets økonomi basert på behandling av storfe gjødsel (scenario 1, dagens løsning) og sambehandling av storfe gjødsel og fiskesåpe (scenario 2, planlagt fremtidig drift). Deretter vurderes anleggets bedriftsøkonomi for de to scenariene, både med- og uten støtteordninger.

I og med at anlegget er bygd for å motta både fiskesåpe og storfe gjødsel, er det vanskelig å beregne investeringskostnader for anlegget dersom det hadde blitt bygd som et anlegg for behandling av kun storfe gjødsel. NORSØK har oppgitt at total investeringskostnad muligens hadde vært 100 000 NOK lavere om anlegget ikke skulle tatt imot fiskesåpe, men usikkerheten er stor, og det er derfor ikke gjort en egen investeringsanalyse for behandling av kun storfe gjødsel.

Det kan være økonomisk lønnsomt på sikt å kartlegge tidsbruk og reparasjonsbehov i de forskjellige fasene i biogassbehandlingen (eksempelvis for fasene forbehandling, behandling, biogass-rensing og bruk, biorest behandling og spredning) slik at en kan finne ut hva som forbruker mest økonomiressurser og hvor det kan være lønnsomt å endre praksis eller anvendt teknologi. For å oppnå god miljønytte samt forholdsmessig god økonomi er kontinuerlige driftsperioder essensielt for å unngå uforholdsmessige store kostnader og produksjonstap.

Via ENOVA mottok anlegget støtte for utbygging av varmesentral for utnyttelse av biogassen, mens støtten fra Innovasjon Norge gikk til utbyggingen av selve biogassanlegget.

Total investeringskostnad for anlegget havnet på 4,16 Mill NOK uten støtte og 2,81 Mill NOK inkl. støtte. Til sammen utgjorde støttesatsene 32 % av total investeringskostnad.

Uten støtte fordeler investeringskostnadene seg blant annet på gjødselbehandling og fortank (6,1 %) råtnetank og kjøletank (37,2 %), varmpumpe (6,3 %), arbeidstimer (19,4 %), diverse (15,6 %) og gasshåndtering (8,4%) og gassmotor (6,9 %)

Tabell 8 viser summen av investeringskostnader og energiproduksjon, samt spesifikke investeringskostnader (NOK/kWh) for behandling av kun storfe gjødsel (scenario 1) og sambehandling av storfe gjødsel og fiskesåpe (scenario 2).

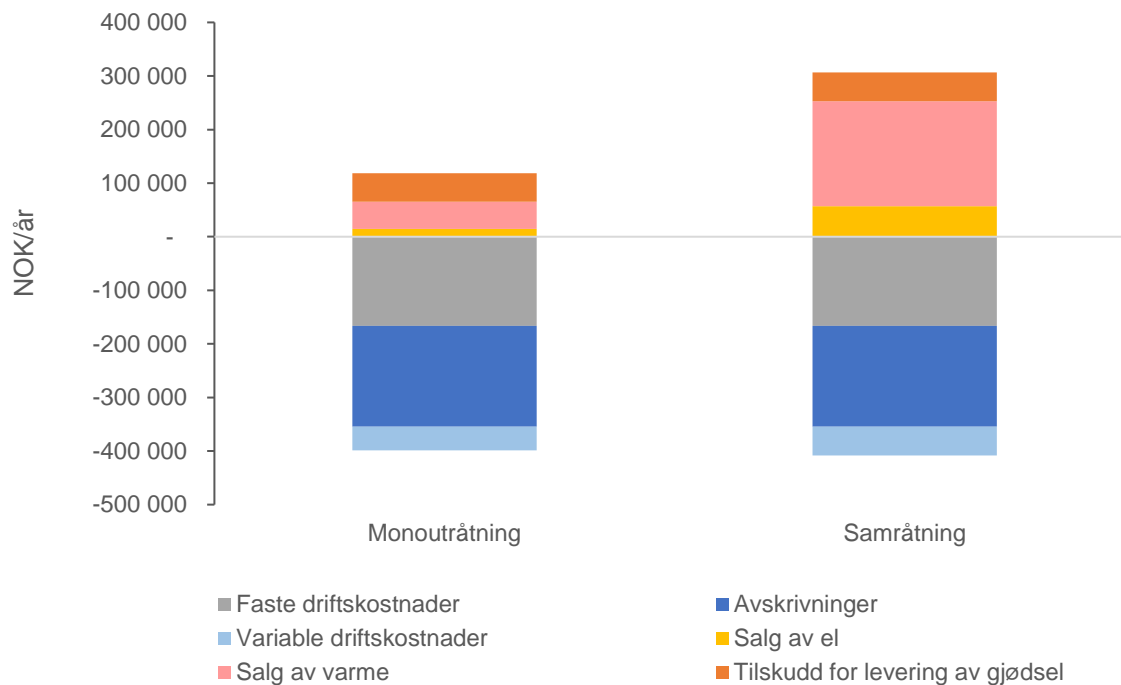
Tabell 8. Investeringskostnader, energiproduksjon og spesifikk investeringskostnad for de to scenariene.

	Kun storfegjødsel	Sambehandling	Enhet
Investering	4,16	4,16	Mill NOK
Energiproduksjon	83,38	323,97	MWh/år
Spesifikk investeringskostnad	49,87	12,83	NOK/kWh

For de to scenariene utgjør spesifikk investeringskostnad henholdsvis 52,42 og 13,49 NOK/kWh for behandling av kun storfegjødsel (scenario 1) og sambehandling av storfegjødsel og fiskesåpe (scenario 2). Grunnet økt biogassutbytte ved sambehandling er spesifikk investeringskostnad betydelig bedre for dette scenariet, men det ligger fremdeles relativt høyt sammenliknet med Enovas hovedportefølje som har ligget mellom 1,4 til 4,5 NOK/kWh.

Den spesifikke investeringskostnaden er nyttig for å sammenlikne prosjekter med like inntekter og utgifter, men forteller oss lite noe om lønnsomheten i et prosjekt. I tillegg til investeringskostnadene, er lønnsomheten avhengig av driftskostnader og driftsinntekter, som til sammen utgjør årsresultatet i et prosjekt.

Figur 3 er en forenklet illustrasjon av driftskostnadene og driftsinntektene fordelt ulike kostnads- og inntektskomponenter for de to scenariene (behandling av kun storfegjødsel og sambehandling av storfegjødsel og fiskesåpe). Positive verdier er inntekter og negative verdier er kostnader. Verdiene for de to scenariene er beregnet ved å multiplisere enhetskostnader/-inntekter med målt/beregnet produksjon og innsatsfaktorer, og forutsetter like enhetspriser (se Tabell 5).



Figur 3. Årlige driftskostnader og driftsinntekter fordelt på komponenter for de to scenariene.

Figuren viser tre inntektskomponenter og tre kostnadskomponenter. Faste drifts- og vedlikeholdskostnader er utgifter knyttet til arbeidskraft, forsikring og vedlikehold. Variable driftskostnader er kostnader knyttet til bruk av strøm, transport av fiskesåpe og bruk av varme.

Figuren viser at driftskostnadene er høyere enn driftsinntektene for begge scenariene. Dette betyr at anlegget ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomt. Av figuren ser vi at ved sambehandling er inntektene knyttet til salg av varme og el betydelig høyere sammenliknet med scenario 1, kun storfe gjødsel. Dette skyldes at biogassutbyttet er betydelig større ved sambehandling av fiskesåpe. Samtidig er driftskostnadene ved sambehandling omtrent like høye som ved behandling av kun storfe gjødsel, hvilket fører til at sambehandlings-scenariet har bedre økonomi.

Analysen av viser at anleggets lønnsomhet er avhengig av sambehandling da dette gir betydelig bedre lønnsomhet. Anlegget ble designet med tanke på sambehandling.

Tabell 9 viser årlige kapitalkostnader, driftsresultat og årsresultat for anlegget, med- og uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte for de to scenariene. Årlige kapitalkostnader er beregnet ved 3,5 % rente og 20 års avskrivning.

Tabell 9. Årlige kapitalkostnader, driftsresultat og årsresultat for Tingvoll gard med- og uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte for de to scenariene.

	Kun storfe gjødsel		Sambehandling	
	Inkludert støtte	Uten støtte	Inkludert støtte	Uten støtte
Kapitalkostnader	- 187 895	- 307 529	- 187 895	- 307 529
Driftsresultat	- 91 864	- 145 434	86 057	32 487
Årlig resultat	- 279 758	- 452 962	- 101 837	- 275 042

Tabellen viser at anlegget ikke oppnår positivt årsresultat i de to scenariene, verken med eller uten støtte. Beregnet drift for sambehandlings-scenariet gir positivt driftsresultat både med og uten drifts-, utviklings- og investeringsstøtte, men kapitalkostnadene overgår driftsinntektene, slik at totalt årsresultat blir negativt. Investerings- og utviklingsstøtten bidrar til ca. 119.000 NOK/år, mens driftsstøtten bidro med er beregnet til å bidra med ca. 53.500 NOK per år.

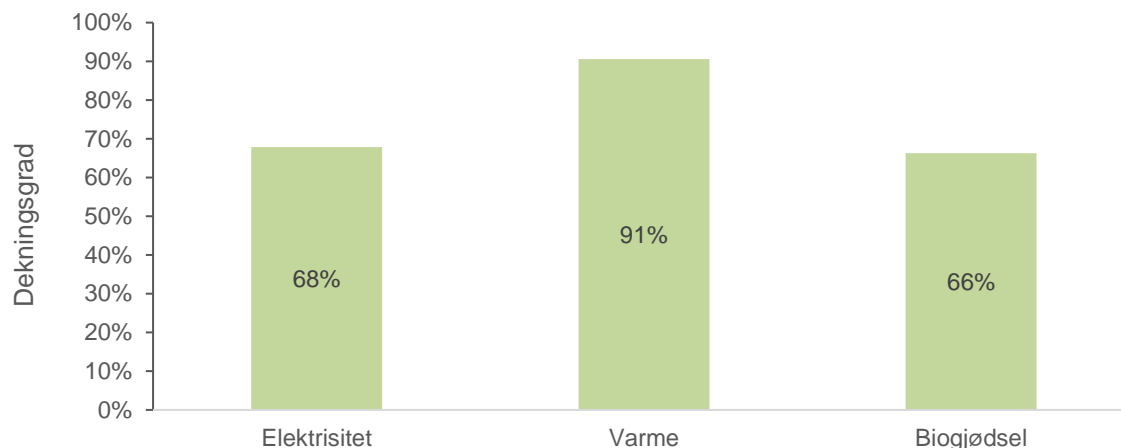
Det er noen usikkerheter knyttet til beregningene av årlig resultat og driftsresultat, og salgsprisene for varme og elektrisitet er en av dem. Det er som nevnt antatt en salgspris for elektrisitet på 65/kWh øre og en salgspris for varme på 85 øre/kWh. Det ble derfor kjørt en liten sensitivitetsanalyse på energiprisene, noe som viste at med dagens forutsetninger knyttet til årlig energiproduksjon og kostnader, ville anlegget oppnå positivt årlig resultat ved salgspris over 110 øre per kWh.

Årsresultatet forteller oss om den totale lønnsomheten i et prosjekt, men forteller oss ikke om økonomien knyttet til de ulike produktene og/eller tjenestene en bedrift selger. For et anlegg som Tingvoll gard, som produserer flere ulike tjenester og produkter, er det interessant å se på dekningsbidraget eller dekningsgraden (dekningsbidraget i %) knyttet til de ulike produktene/tjenestene.

Dekningsbidrag er salgsprisen knyttet til et produkt minus variable kostnader, og sier noe om hvor stor del av inntekten som er igjen til å dekke faste kostnader etter at de variable kostnadene er trukket fra. Tingvoll gard leverer tre ulike tjenester/produkt; elektrisitet, varme og biogjødsel.

Figur 4 viser dekningsgraden for produktene/tjenestene som Tingvoll gard leverer basert på datagrunnlaget for scenario 2, sambehandling. For allokering av variable kostnader er utgifter knyttet til bruk av varme og energi samt transport av fiskesåpe fordelt likt mellom de ulike produktene (1/3 per produkt).

Det er stor usikkerhet knyttet til fordelingen av de variable kostnadene mellom elektrisitet, varme og biogjødsel, og derfor også stor usikkerhet knyttet til beregnet dekningsgrad fordi de henger sammen og er avhengig av hverandre.



Figur 4. Dekningsgrad for elektrisitet, varme og biogjødsel fra Tingvoll gard (scenario 2).

Figuren viser at de tre produktene har positiv dekningsgrad. Det betyr at de variable kostnadene dekkes av salgsprisen og de variable kostnadene utgjør ca 34 % - 9 % av salgsprisen, slik at det gjenstår ca. 66 -91 % av salgsprisen til å dekke opp om faste kostnader. Varme er det produktet som har høyest dekningsgrad, hvilket betyr at en større andel av salgsprisen per kWh er tilgjengelig etter at variable kostnader er trukket fra.

Nullpunktomsætning, eller "break-even", er omsætningen som verken gir overskudd eller underskudd, og beregnes ved å dele anleggets samlede dekningsbidrag på totale faste kostnader. For sambehandlings-scenariet ved Tingvoll gard er nullpunktomsætningen beregnet til 214 MWh/år (inkludert støtte). Det betyr at så lenge anlegget produserer mer enn 214 MWh årlig, vil driftsresultatet, uten kapitalkostnader, være positivt (forutsetter driftsstøtte).

Netto nåverdi (NNV) er et uttrykk for dagens verdi av et prosjekt eller investering. Netto nåverdi beregnes ved å diskontere alle fremtidige kontantstrømmer forbundet med et prosjekt, basert på oppgitt avkastnings- eller rentekrav. Et prosjekt er lønnsomt dersom netto nåverdi er positiv.

Internrenten forteller oss hvilket rentekrav som gir netto nåverdi lik null. Dersom internrenten i et prosjekt er høyere enn vårt eget avkastningskrav, bør prosjektet gjennomføres.

Tabell 10 viser netto nåverdi i Mill NOK og internrenten for de to scenariene ved Tingvoll gard, med- og uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte. Netto nåverdi er beregnet ut fra 3,5 % rente og 20 års avskrivning.

Tabell 10. Netto nåverdi (Mill NOK) og internrente for de to scenariene ved Tingvoll gard med- og uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte.

	Kun storfe		Sambehandling	
	Inkludert støtte	Uten støtte	Inkludert støtte	Uten støtte
NNV Mill (3,5 % rente)	-3,48 Mill NOK	-6,22 Mill NOK	-1,40 Mill NOK	-3,78 Mill NOK
Internrente	n/a	n/a	-3,9 %	-13,8 %

Tabellen viser at anleggets netto nåverdi er negativ for begge scenariene, både med og uten støtte. Ettersom driftsresultatet før avskrivninger er negativ for scenario 1, kun storfe behandling, er det ikke mulig å beregne internrenten for dette scenariet. For scenario 2, sambehandling, er internrenten med og uten støtte negativ (- 3,9 % og -13,8 %). Negativ internrente betyr at driftsresultatet ikke kan dekke opp om investeringskostnadene ved den gitte levetiden på anlegget (20 år).

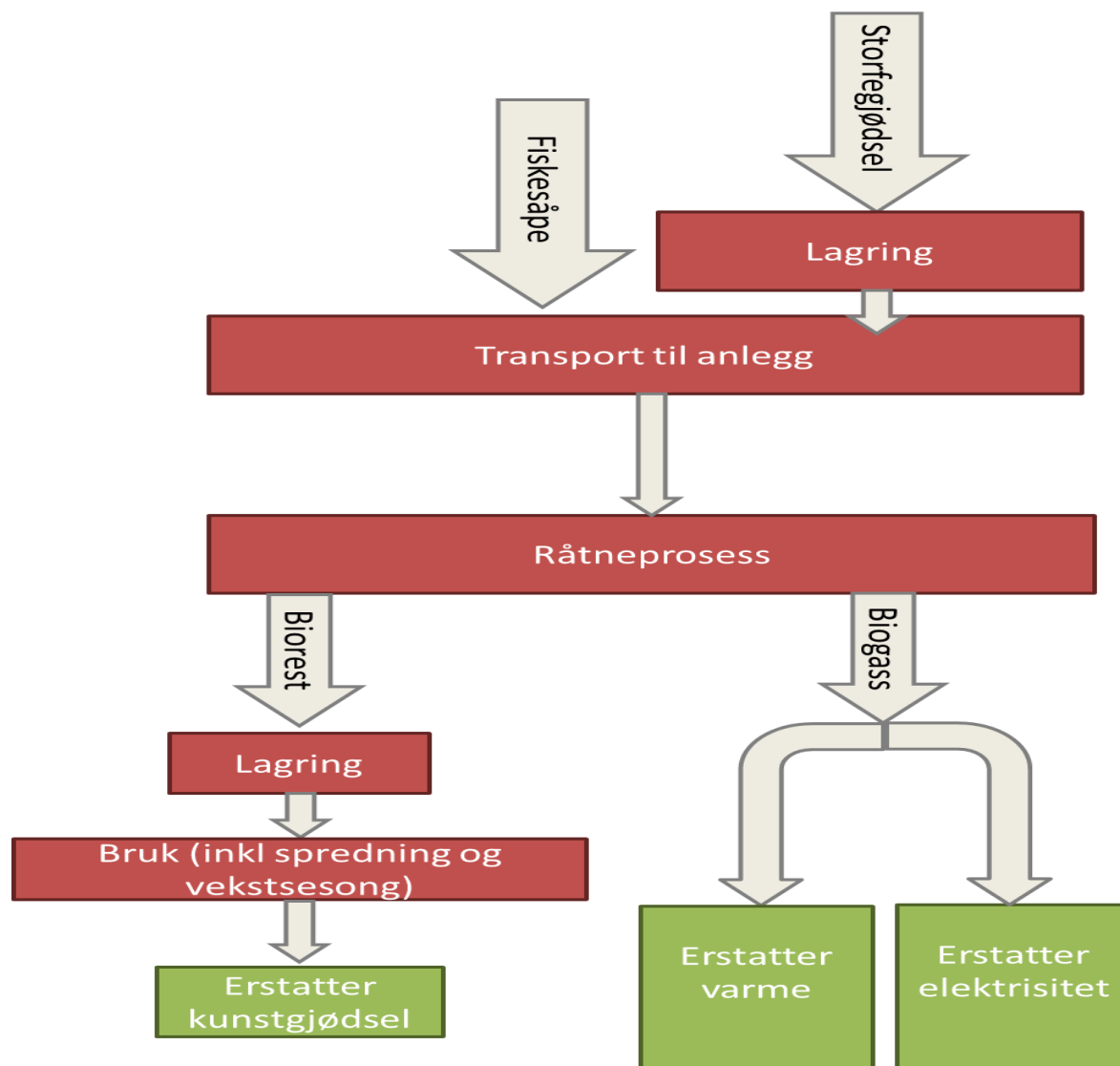
Klimanytte

Miljøanalysen av Biogassanlegget på Tingvoll gard tar utgangspunkt i de to scenariene, behandling av kun storfe gjødsel og sambehandling av fiskesåpe og storfe gjødsel. Miljøanalysen er begrenset til å omfatte klimagasser og gjenvinningsgraden av næringsstoffene nitrogen og fosfor samt et overordnet energiregnskap.

Miljøanalysen bygger på livsløpsanalyse (LCA), og er gjennomført i henhold til ISO 14044: 2006. Analysen tar for seg klimabelastningen knyttet til innsamling (transport), forbehandling og behandling av de ulike substratene, samt foredling og levering av varme, elektrisitet og biogjødsel. Direkte utslipp i form av bl.a. metanlekkasjer er inkludert, og fordelt på verdikjedeleddene der utslippene oppstår. De ulike livsløpsfasene er illustrert i figur 5, der pilene illustrerer massestrømmene, røde bokser indikerer livsløpsfaser som bidrar til utslipp og grønne bokser er livsløpsfaser som bidrar til utslippsreduksjoner.

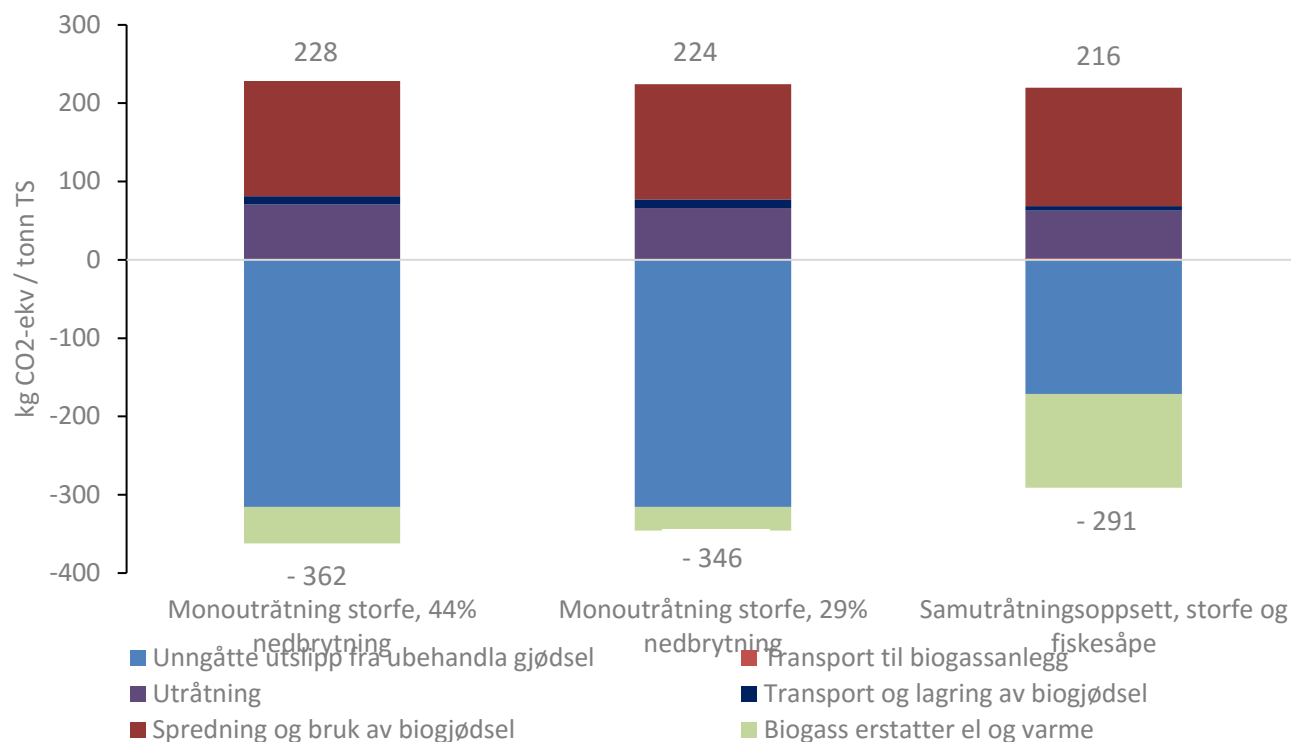
Direkte- og indirekte utslipp knyttet til bygging og vedlikehold av selve anlegget er ikke inkludert. Til slutt er substitusjonseffekt (unngåtte klimagassutslipp) knyttet til bruk av biogassen og biogjødselen inkludert, der biogassen erstatter varme og elektrisitet og biogjødsel erstatter ubehandlet gjødsel og kunstgjødsel.

Beregninger av masse- og energistrømmer er gjennomført i verktøyet OWSTT (Organic waste substrate treatment tool) utviklet ved NTNU og beskrevet av Saxegård & Baxter (2016). OWSTT er tilpasset LCA-modellen BioValueChain (BVC) som er utviklet av Østfoldforskning i samarbeid med Tel-Tek, NIBIO og NMBU, Modahl et al. (2016).



Figur 5. Livsløpsfaser for miljøanalysen av Biogassanlegget på Tingvoll gard. Røde bokser indikerer utlipp, grønne bokser indikerer unngåtte utlipp.

Figur 6 viser klimaeffekten knyttet til de tre scenariene a) storfe gjødsel 29 % nedbrytning av organisk materiale, b) storfe gjødsel 44 % nedbrytning av organisk materiale, c) sambehandling av storfe gjødsel med 5 % fiskesåpe. Netto klimapåvirkning er estimert til hhv -121 og 134 kg CO₂-ekv/ tonn TS behandlet storfe gjødsel for scenario a) og b). Ettersom biogassen utnyttes til å erstatte norsk elektrisitet, enten direkte eller indirekte i form av varme, er det liten forskjell på klimanytten for dagens situasjon og forventet situasjon ved behandling av kun storfe gjødsel i scenario a) og b). Det er vesentlig lavere klimanytte ved sambehandling av storfe gjødsel og fiskesåpe, beregnet til -74 kg CO₂-ekv/ tonn TS, et resultat av at fiskesåpen gir netto klimabelastning. Dette henger sammen med at fiskesåpen ikke inneholder næringsstoffer (nitrogen, fosfor, kalium) som gjør at biogjødselen kan erstatte minergjødsel slik tilfellet er for andre tilleggssubstrat. Estimert for et helt år vil klimanytten bli hhv 5 315, 5 856 og 5 751 kg CO₂-ekv. for scenario a), b) og c).



Figur 6. Klimavirkinger av biogassanlegget på Tingvoll gard inkl. unngåtte klimautslipp knyttet til erstatta mineralgjødsel og energi.

Kilden til den største klimapåvirkningen er spredning og bruk av biogjødsel, hvor det nyttes diesel som drivstoff og hvor spredningen medfører til lystgassutslipp. Nest største utslippskilde for klimagasser er knyttet til prosessen i råtnetankene som inkluderer direkteutslipp fra reaktorer, vannforbruk, totalt energiforbruk samt direkteutslipp tilknyttet rensing av biogassen før forbrenning. Direkte utslipp fra rensesprosessen er antatt minimal (0,1%) ettersom gassen kun går igjennom et kullfilter før det mates inn i gassmotoren.

Lagring av biorest ved Tingvoll Gård har lave klimapåvirkninger ettersom bioresten blir nedkjølt før lagring, hvilket gir en drastisk reduksjon i metanutslipp fra lagertanken for biogjødsel (Kvande & Løes 2014).

For klimanytten er det unngåtte klimagassutslipp knyttet til lagring av storfegjødsel som bidrar mest per tonn TS behandlet substrat. Produksjon av elektrisitet og varme for behandling av kun storfegjødsel bidrar til relativ liten klimanytte. Sambehandlings-scenariet gir minst klimanytte av de tre scenariene, fordi bidraget fra unngått klimagassutslipp fra storfegjødsel er vesentlig lavere per tonn behandlet TS substrat. Årlig vil sambehandlings-scenariet bidra til like store unngåtte klimagassutslipp fra lagring av storfegjødsel som behandling av kun storfegjødsel, ettersom total mengde storfegjødsel er det samme for scenariene. I sambehandlings-scenariet er det vesentlig høyere klimanytte knyttet til erstattet elektrisitet og varme ettersom det produseres tilnærmet fire ganger så mye energi sammenlignet med forventet normaldrift for behandling av kun storfegjødsel.

Ved å dele kostnader knyttet til biogassanlegget på årlig klimanytte, får man netto kostnad per tonn CO₂-ekv. Innenfor rammene av dette prosjektet har det ikke vært mulig å gjøre en samfunnsøkonomisk analyse av anlegget, hvilket betyr at anslaget for klimakostnaden knyttet til Tingvoll gard ikke nødvendigvis er 100 % sammenliknbar med andre biogassanlegg, eller liknende klimatiltak, men kan gi en indikasjon på anleggets kostnad per tonn CO₂-ekv.

Klimakostnaden er beregnet ved å dele årlige kostnader uten investerings-, utviklings- eller driftsstøtte for Tingvoll gard på årlig klimanytte.

Tabell 11 viser netto årlig klimanytte, årlige kostnader (uten investerings-, utviklings og driftsstøtte) og beregnet klimakostnad (NOK/tonn CO₂-ekv.) for de to scenariene.

Tabell 11. Årlig klimanytte, årlig kostnad uten støtte og klimakostnad for Tingvoll gard ved behandling av storfegjødsel og sambehandling med 5 % fiskesåpe.

	Storfegjødsel	Sambehandling	Enhet
Netto klimanytte	- 5 856	- 17 319	tonn CO ₂ -ekv./ år
Årlige resultat uten støtte (3,5 % rente)	- 452 962	- 275 042	NOK / år
Klimakostnad	77	48	NOK /tonn CO₂-ekv.

Klimakostnaden inkluderer ikke kostnader nedstrøms eller oppstrøms for anlegget, eller andre eksterne kostnader utover klimanytte (eks. utslipp av partikler og NO_x eller bruk av fosfor), slik at klimakostnaden presentert i tabellen over ikke er direkte sammenliknbar med klimakostnaden knyttet til andre biogassanlegg eller andre klimatiltak.

Konklusjon

Biogassanlegget på Tingvoll gard er et relativt lite anlegg. Det behandler ca. 770 m³ storfegjødsel per år. Anlegget er bygd for å kunne sambehandle storfegjødsel og fiskesåpe som er et avfallsprodukt fra Omega-3 produksjon fra fiskeolje.

1. Resultater fra følgeforskningen

I perioden man gjorde målinger som skulle brukes i følgeforskningen, ble det målt energiproduksjon på mellom 1 147 og 1 598 kWh per uke. Det interne energibehovet var i gjennomsnitt 1 050 kWh per uke. Hele energibehovet ble dekket av elektrisk energi. Energien fra biogass ble brukt i en Sterling-motor til å produsere elektrisk kraft. Virkningsgraden på denne er ca. 30 %. Det betyr at det i perioden ikke ble produsert tilstrekkelig mengde elektrisk energi til å dekke det interne energibehovet. Varmeenergien fra Sterlingsmotoren brukes til oppvarmingsformål, og slik sett er det totale energiregnskapet positivt. Hovedårsakene til dette var både at anlegget fikk tilført for liten mengde organisk tørrstoff, og at man ikke brukte tilleggs-substrat i form av fiskesåpe, noe som var en forutsetning for realisering av anlegget. Årsaken til dette var at bruk av fiskesåpe i biogassanlegget må godkjennes av Mattilsynet. Denne godkjenningen ble trukket tilbake like før følgeforskningen ble satt i gang.

Anlegget skulle være en del av forskningsanlegg innen fornybar energi, og det er mulig at energibalansen ville vært annerledes dersom anleggene for solvarme og biobrensel hadde vært i drift og fungert sammen med biogassanlegget.

2. Resultater basert på tidligere forsøk

De økonomiske og miljønytte-analysene som er foretatt, er foretatt under forutsetninger av at anlegget kan nyttiggjøre seg av fiskesåpe, og at anlegget får tilført vesentlig med organisk tørrstoff fra storfe gjødsel enn det som ble tilført under følgeforskningen. Resultater fra tidligere forsøk er derfor brukt i disse analysene.

Rapporten viser at Tingvoll gard ikke har tilstrekkelig mengde storfe gjødsel til at kostnadene blir dekket inn av inntekter fra produksjon av energi. Dette henger sammen med at investeringskostnaden på små anlegg blir høye, og at mengden av produsert gass blir liten. Underskuddet kan minimeres ved å sambehandle fiskesåpe med storfe gjødsel fordi biogasspotensialet er betydelig større ved sambehandling enn for storfe gjødsel alene.

Innblanding av fiskesåpe er 5 % (massebasert), hydraulisk oppholdstid er hhv 30 og 28,6 dager for behandling av kun storfe gjødsel og sambehandling med storfe gjødsel og fiskesåpe. er beregnet å inneholde 6 % TS. Disse to scenarioene er beregnet å gi hhv 15 129 og 52 163 Nm³ Biogass, og totalt hhv 85 551 og 332 295 kWh for kun storfe gjødselbehandling og sambehandling. Dette betyr at sambehandling gir en økning på mengde produsert energi på 298 %.

Internt energiforbruk tilsvarer 21,8 kWh/m³ reaktor og uke. Til selve oppvarmingen var energiforbruket 17,6 kWh/m³ reaktor og uke.

Siden målingene er foretatt bare for en del et helt år, vil det være usikkerhet i hvordan man estimerer mengden energi som blir produsert og mengden energi som brukes internt til produksjonen av biogass. Beregninger av økonomi er også beheftet med usikkerhet, men beregningene av internrente basert på netto nåverdi av investeringene gav et resultat på -3,9 %. Klimanytten for Tingvoll Gard ved forventet normaldrift er beregnet til hhv ca. 5 800 og 5 751 tonn CO₂-ekv. per år for kun storfe gjødselbehandling og sambehandling. Når dette ses i sammenheng med investeringsøkonomi og driftsøkonomi (inkl. offentlig støtte), ble det beregnet en klimakostnad på hhv. 77 og 48 NOK/tonn CO₂-ekv. for kun storfe gjødselbehandling og sambehandling.

Samtidig er gårdsanlegget på Tingvoll et relativt rimelig klimatiltak (48 NOK/tonn CO₂-ekv.) sammenliknet med beregnet samfunnsøkonomisk kostnad for biogassproduksjon i Norge, tilsvarende ca. 400 NOK/tonn CO₂-ekv. (Pettersen et al. 2017). Utfordringen for anlegget er at det per dags dato ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomt, hvilket begrenser realiseringen av denne typen anlegg.

Bedriftsøkonomien i anlegget er i stor grad påvirket av høye investeringskostnader sett i forhold til anleggets lave netto energiproduksjon. Som vist utgjør spesifikk investeringskostnad 13,49 NOK/kWh for sambehandlings-scenariet (beste alternativ), noe som er relativt høyt sammenliknet med Enovas hovedportefølje som har ligget mellom 1,4 til 4,5 NOK/kWh.

Det er ikke mulig å redusere investeringskostnadene for anlegget i dag da dette er tapte kostnader, men det er likevel verdt å påpeke at anlegget ble bygget relativt tidlig (2011), da biogass teknologien var på et enda tidligere utviklingsstadium enn hva det er i dag, noe som reflekteres i høye investeringskostnader. Et tilsvarende anlegg vil med andre ord kunne være mer lønnsomt dersom det ble bygget i dag.

Anleggets strømproduksjon kan ikke økes nevneverdig uten ytterligere investeringer, da gassmotorens kapasitet nesten er fullutnyttet. I og med at gassmotoren utgjør en liten andel av total investeringskostnad (ca. 7 %), er det nærliggende å tro at anlegget kunne forbedret økonomien ved å investere i en ekstra gassmotor, og dermed øke energiproduksjonen. Dette er selvfølgelig avhengig av investeringskostnad og energipris.

Potensiale for utvikling av løsningen valgt på Tingvoll gard

Potensialet for løsningen etablert på Tingvoll gard diskuteres her kort.

- Investeringskostnad og teknologisk løsning. For et CSTR-anlegg av typen på Tingvoll gard reflekterer nok godt hva man vil måtte betale for et slikt anlegg også hvis man hadde brukt en annen leverandør. I følge leverandøren av anlegget vil det kunne være mulig å redusere investeringskostnaden på sikt ved bygging av flere anlegg. Dette gjelder spesielt arbeid- og monteringskostnaden som vil reduseres ettersom leverandøren får erfaring med bygging av flere anlegg. Denne utgjør ca. 1 MNOK av totaltkostnaden per i dag. Forbehandling/hydrolyse for økt nedbrytning av og større gassutbytte fra storfe gjødsel er en løsning som foreløpig er lite utprøvd for CSTR-anlegg og hvor man anser at det ligger et signifikant potensiale.
- Lokasjon og substrattilgang. Prisen for anlegget på Tingvoll reflekterer en minimum investeringskostnad for små CSTR-anlegg. For et større storfe-bruk vil det være mulig å bygge tilsvarende anlegg uten betydelig tilleggskostnad. Det vil da også være mulig å sambehandle mer fiskesåpe eller annet tilleggssubstrat. Det vil da være avgjørende at det på lokasjonen vil være behov for den økte gassproduksjonen. For Tingvoll gard har situasjonen bedret seg i den sammenheng i og med at Tingvoll Økopark – et opplevelsessenter for økologisk landbruk og fornybar energi, er etablert. Senteret har energibehov på sommerstid som gjør at man kan opprettholde gassproduksjonen også på sommeren. For realisering av bygging av denne typen anlegg for storfe-bruk er det avgjørende å tenke verdikjede og eventuell samlokalisering med annen virksomhet som kan ha bruk for energien. Når det gjelder substrat-tilgang så er muligheten for små anlegg for å motta avfall som man kan ta betalt for utforsket kun i begrenset grad. Tingvoll ligger i Møre og Romsdal. Alternativet med større anlegg for behandling av denne typen substrat og innkjøring av større mengder storfe gjødsel er utforsket i betydelig grad i Møre og Romsdal, blant annet i regi av Møre og Romsdal Fylkeskommune (Berg et al, 2016), men transportavstander og behov for ferger gjør at dette er krevende å realisere ut fra både med tanke på økonomi og klimanytte.

Litteratur

- Kvande, I., Løes, A.K., 2014, *Energiproduksjon, klimaeffekt og avlingseffekt i et gårdsbasert biogassanlegg*, Bioforsk rapport 9, 98,
- Kvande, I., Løes, A.-K., & Ghaharamani, H. (2017). *Følgeforskning - biogass-anlegget på Tingvoll gard* (Nr.8/Vol. 2/2017). Retrieved from Tingvoll, Norway:
- Modahl, I.S. et al., (2016). *Biogassproduksjon fra matavfall og møkk fra ku, gris og fjørfe Status 2016 (fase IV) for miljønytte for den norske biogassmodellen BioValueChain*, Østfoldforskning AS, Fredrikstad. OR.34.14
- Saxegård, S. A., & Stensgård, A. E. (2017). *Følgeforskning: Tingvoll - Miljø- og økonomianalyse (lukket versjon)* (O.R.xx.17). Retrieved from Fredrikstad, Norge:
- Saxegård, S.A. & Baxter, J., 2016. *Resource recovery and life cycle assessment in co-treatment of organic waste substrates for biogas versus incineration value chains in Poland and Norway*, Østfoldforskning, Fredrikstad, OR 06.16
- Pettersen, I. et al., 2017. *Klimatiltak i jordbruk og matsektoren Kostnadsanalyse av fire tiltak*, NIBIO rapport, Vol. 3, nr. 85.
- Ward, A. J. (2012). *Biogas potential of soapstock and bleaching earth* (DCA Report no. 004). Retrieved from Aarhus, Denmark:
- Ødegård Berg, H., Monsen Rangøy, M.M., Hostrup, M., Lånke, A.F., *Utredning Biogass Nyhamna for Møre og Romsdal Fylkeskommune*, 2016.



NORSØK RAPPORT | NORSØK REPORT

NR 8./VOL. 2/2017

FØLGEFORSKNING - BIOGASS- ANLEGGET PÅ TINGVOLL GARD



TITTEL/TITLE

FØLGEFORSKNING - BIOGASS-ANLEGGET PÅ TINGVOLL GARD

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

INGVAR KVANDE, ANNE-KRISTIN LØES, HAMID GHAHARAMANI

DATO/ DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/ AVAILABILITY:	PROSJEKT NR./ PROJECT NO.:	SAKSNR./ ARCHIVE NO.:
13.12.2017	NR.9/VOL 2/2017	ÅPEN	4010	
ISBN-NR./ISBN-NO:	ISBN DIGITAL VERSJON/ ISBN DIGITAL VERSION:	ISSN-NR./ISSN-NO:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:
978-82-8202-043-5	VERSJON NR 1		22	VEDLEGG

OPPDRAUGSGIVER/EMPLOYER:

INNOVASJON NORGE

KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:

GURI BJØNNES HOTVEDT

STIKKORD/KEYWORDS:

STORFEGJØDSEL, GASSUTBYTTTE, ENERGIBALANSE

COW MANURE, GAS YIELD, ENERGY BALANCE

FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:

BIOGASS

BIOGAS

SAMMENDRAG/SUMMARY:

FØLGEFORSKNING, DET VIL SI DOKUMENTASJON AV GASSPRODUKSJON, DRIFT, ENERGIBRUK OG ENERGIPRODUKSJON FRA BIOGASS-ANLEGGET PÅ TINGVOLL GARD ER GJENNOMFØRT I TIDSROMMET 19.JUNI TIL 29.SEPTEMBER 2017. RESULTANENE REFLEKTERER IKKE STABIL DRIFT (ULIK ORGANISK BELASTNING), MEN PEKER I SAMME RETNING SOM TIDLIGERE RESULTATER OG ERFARINGER:

FØLGEFORSKNINGEN VISER AT DET ER AVGJØRENDE FOR STABIL BIOGASSPRODUKSJON Å OPPNÅ GOD GJØDSELYLT FRA FJØS TIL BIOGASSANLEGG. PROBLEMER MED PROPELLOMRØING I FJØSET FØRTE TIL AT RÅSTOFFET HADDE LAVT TØRRSTOFF-INNHOLD OG TESTEN TYDER PÅ AV RÅSTOFFET INNEHOLDT EN HØY ANDEL LETT-OMSETTELIG ORGANISK MATERIALE.

MÅLT SPESIFIKT METANUTBYTTE FOR DEN KONTINUELIG OMØRTE REAKTOR-LØSNINGEN ER HØYT PÅ GRUNN AV TILSTANDEN PÅ RÅSTOFFET OG ANSES IKKE FOR Å VÆRE REPRESENTATIVT.

UTBYTTE I FORM AV ENERGIPRODUKSJON I KILOWATT-TIMER ER RELATIVT LAVT OG VIL VÆRE BEGRENSET SELV MED HOMOGEN GJØDSEL FOR ANLEGGET PÅ TINGVOLL GARD. ANLEGGET ER BYGD MED TANKE PÅ UTNYTTELSE AV FISKESÅPE SOM TILLEGGSRÅSTOFF FOR Å OPPNÅ LØNNSOMHET.

INTERN ENERGIBRUK I ANLEGGET ER RELATIVT HØY OG KAN TIL DELS TILSKRIVES RELATIVT HØY ENERGIBRUK FORBUNDET MED PUMPE- OG VARMEVEKSLER -LØSNING FOR OPPVARMING SAMT FOR LANGE RØRFØRINGER FOR TRANSPORT AV GJØDSEL OG SUBSTRAT MED TILHØRENDE VARMETAP. BIORESTEN VISER TILSVARENDE

NÆRINGSINNHOLD SOM TIDLIGERE TESTER MEN INNHOLD AV KOBBER OG SINK ER HØYERE ENN GRENSEVERDIEN FOR KLASSE 0 I GJELDENDE GJØDSELVAREFOKSRIFTT.

THE DOCUMENTATION OF GAS PRODUCTION AND PLANT OPERATION OF THE TINGVOLL BIOGAS PLANT WAS PERFORMED FROM 19TH OF JUNE TO 29TH OF SEPTEMBER 2017. THE RESULTS DO NOT REFLECT STABLE OPERATING CONDITIONS BUT SHOW THAT:

IT IS VITAL TO ESTABLISH A CONTROLLED MIXING AND FLOW OF MANURE TO ATTAIN A STABLE GAS-PRODUCTION. PROBLEMS WITH THE MANURE MIXING SYSTEM RESULTED IN THE MANURE HAVING A LOW DRY MATTER CONTENT BUT A HIGH FRACTION OF HIGHLY DEGRADABLE ORGANIC MATTER.

BECAUSE OF THE MANURE COMPOSITION A HIGH SPECIFIC METANHE YIELD WAS MEASURED THAT IS NOT CONSIDERED TO BE REPRESENTATIVE TO THE PRODUCTION WITH A HOMOGENOUS MIX OF THE MANURE.

THE ENERGY YIELD IN KWH IS RELATIVELY LOW AND WILL BE LIMITED EVEN WITH A HOMOGENEOUS MIX OF THE MANURE. THE PLANT IS DESIGNED TO UTILIZE FISH SOAP AS AN ADDITIONAL SUBSTRATE TO ATTAIN A ECONOMICALLY VIABLE PLANT.

THE INTERNAL ENERGY USAGE IS RELATIVELY HIGH. THIS CAN BE ATTRIBUTED TO THE PUMP- AND HEAT- EXCHANGER SYSTEM FOR EXTERNAL HEATING AND COMPENSATION FOR HEAT LOSSES AND THE RELATIVELY LONG PIPES FOR TRANSPORTING MANURE AND DIGESTATE.

THE DIGESTATE SHOWS A SIMILAR COMPOSITION OF NUTRIENTS AS FOUND IN EARLIER TESTS. THE DIGESTATE ANALYSIS SHOWS THAT THE ZINK AND COPPER-CONTENT IS HIGHER THAN THE LIMIT FOUND FOR QUALITY CLASS 0 IN THE REGULATION FOR UTILIZATION OF MANURE AND DIGESTATE.

LAND/COUNTRY:

NORGE

FYLKE/COUNTY:

MØRE OG ROMSDAL

KOMMUNE/MUNICIPALITY:

TINGVOLL

STED/LOKALITET:

TINGVOLL GARD

GODKJENT /APPROVED

Turid Strøm

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

Ingvar Kvande

Forord

Arbeidet med biogass-anlegget på Tingvoll Gard har pågått siden 2011. Erfaringene viser at det å utvikle effektive anlegg og i mindre skala enn anleggene som bygges i Europa tar tid, og det har krevd kompetanseheving på mange plan. I løpet av denne tiden er relativt mange komponenter skiftet ut for å få anlegget til å fungere bedre og for å kunne bruke til forsknings- og utviklingsarbeid. Både anleggseier, leverandører og andre har stått på for å få anlegget til å fungere bedre. Det ligger mange erfaringer bak konklusjonene i denne rapporten, noe som gjør at man vil kunne lykkes med bygging og utvikling av nye anlegg. Vi takker Innovasjon Norge, Møre og Romsdal Fylkeskommune og Enova for økonomisk støtte til å utvikle anlegget. Vi retter også en stor takk til alle som har vært med på prosessen så langt, og vi ser frem til videre utvikling av biogass på gårdsnivå i tiden som kommer.

Tingvoll – 13.12.2017

Ingvar Kvande

Forkortelser og uttrykk m/ forklaringer

BIOREST	I en biogassprosess dannes biogass, mens den gjenværende massen som da tas ut av reaktoren etter prosessen betegnes biorest.
COD	Chemical Oxygen Demand – Kjemisk oksygenforbruk. Måles vanligvis ved oksidasjon med kromat.
HRT	Hydraulic retention time – Hydraulisk oppholdstid
Organisk belastning	Hvor mye organisk materiale som tilføres råtnetankene pr tid. og volum reaktor.
Råstoff	Det organiske materialet som benyttes i en biogass-prosess
SUBSTRAT	Substratet er det organiske materialet som mates inn i en biogassprosess. Det kan enten være råstoffet direkte, dersom råstoffet ikke krever noen form for forbehandling, eller forbeholdt råstoff. I denne rapporten er substrat betegnelsen brukt på det organiske materialet som befinner seg i råtnetanken og som oppvarmes eller omrøres i den forbindelse. Dvs. ved tilsats av fiskesåpe eller annet tilleggs-substrat vil blandingen som til enhver tid befinner seg i råtnetankene kalles for substrat.
TS	Total Solids – totalt tørrstoff
VFA	Volatile Fatty Acids – flyktige fettsyrer. Eddiksyre og andre kortkjedede fettsyrer som dannes ved lagring og i prosessen.
VS	Volatile Solids (den organiske delen av TS). Måles vanligvis ved å foraske prøven ved 550 °C etter TS måling. VS er differansen mellom TS og asken.

Det henvises til biogassveileder (Morken et al, 2017) for detaljer og ytterligere informasjon om begrep som brukes i forbindelse med biogass.

Innhold

Forord	4
Forkortelser og uttrykk m/ forklaringer	5
Innhold	6
Innledning	7
Anleggsbeskrivelse	7
Forsøk	11
Driftsperiode og kommentarer rundt driftsproblemer	11
Driftsbetingelser og analyser i forsøksperioden	11
Råstoff	12
Resultat og diskusjon	13
Nedbrytning og gassproduksjon	13
Intern energibruk	15
Ekstern energibruk	16
Metanlekkasjer	17
Bioresten – innhold av næringsstoffer og tungmetaller	17
Feilkilder	18
Konklusjoner	19
Litteraturreferanser	20

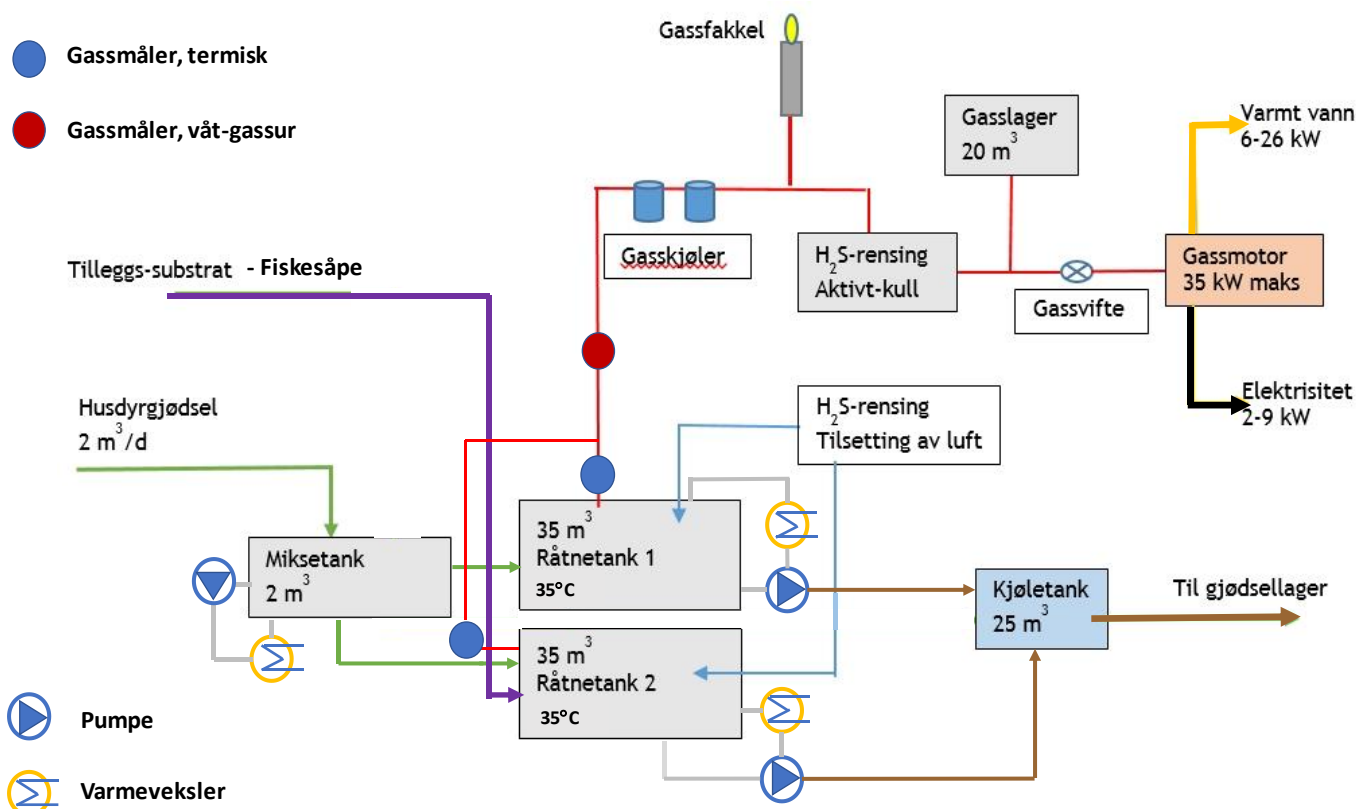
Innledning

Biogass-anlegget på Tingvoll Gard eies av Norsk senter for økologisk landbruk (NORSØK). Innovasjon Norge og ENOVA har bidratt med midler til henholdsvis anlegget med råtnetanken og varmesentralen der gass-motoren er installert. Ideen om å satse på biogass var et resultat av at man i 2009 bestemte seg for å bygge nytt fjøs på Tingvoll gard og at stortingsmelding nr. 39, *Klimautfordringene - landbruket en del av løsningen* ga grunnlag for satsing på biogass. NORSØK fikk tidlig innsikt i at biogass som løsning kan på gårdsnivå kan være utfordrende både ift. valg av løsninger og ift. økonomi. NORSØK sin satsing på fornybar energi ligger i vedtektene og grunnlaget er å være tidlig ute med å teste og utvikle løsninger på gårdsnivå for å kunne gi anbefalinger som vil gjøre det mulig å ta i bruk slike løsninger. Valget om å satse på biogass henger også sammen med tilgang på ulike typer fiskeavfall i området som fiske-ensilasje, fiskesåpe og bleikejord og muligheten for å utnytte disse lokalt.

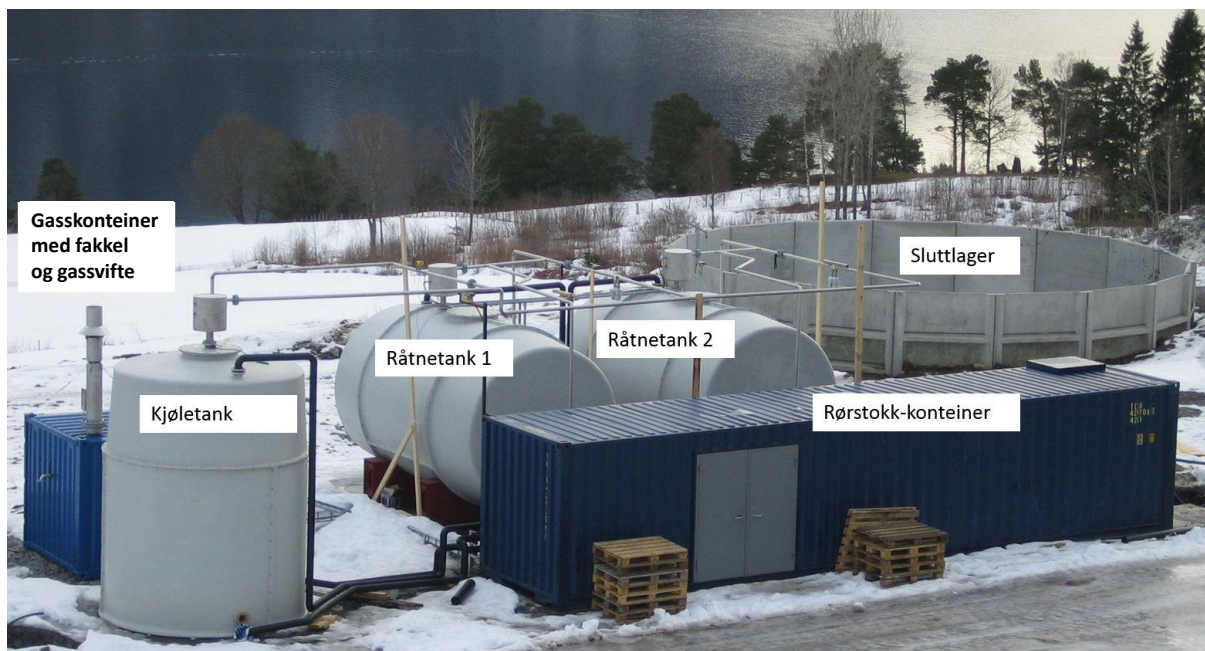
Anleggsbeskrivelse

Råstoffet som brukes i anlegget på Tingvoll gard er hovedsakelig storfegjødsel (ca. 600 tonn) fra økologisk melkeproduksjon med 23 årskyr + påsett. Fiske-såpe/avfall (1-5 vekt %) fra Omega-3 produksjonen til GC Rieber Oils AS i Kristiansund tenkes anvendt som tilleggs-råstoff.

Enkelt flytskjema for anlegget er vist i figur 1. Anlegget ble igangsatt ved årsskiftet 2011/2012. Varmesentral for bruk av gassen ble montert i 2012. Propell og fiberkutter er installert i ettertid henholdsvis i fjøset og før miksetanken for å sikre homogen gjødsel til et pumpebasert system (se vedlegg 1). Gasslager, kolonne for rensing med aktivt kull og ny varmesløyfe med solvarme og el-backup ble montert våren 2015. I 2016 ble rørstokken ombygd ved hjelp av midler for pilotanlegg for biogass fra Innovasjon Norge for å kunne kjøre reaktorene separat. I tillegg er et solvarmesystem installert i tilknytning til anlegget for å se på i hvor stor grad dette kan bidra med prosessvarme.



Figur 1. Forenklet flytskjema for biogassanlegget på Tingvoll Gard. Grønn linje – gjødsel, lilla linje – fiskesåpe, grå linje – substrat i tanken (rundpumping/kompensasjon for varmetap), brun linje - biorest før og etter kjøletank. Rød linje – gass. Oransje linje – varmt vann og svart linje – elektrisitet.



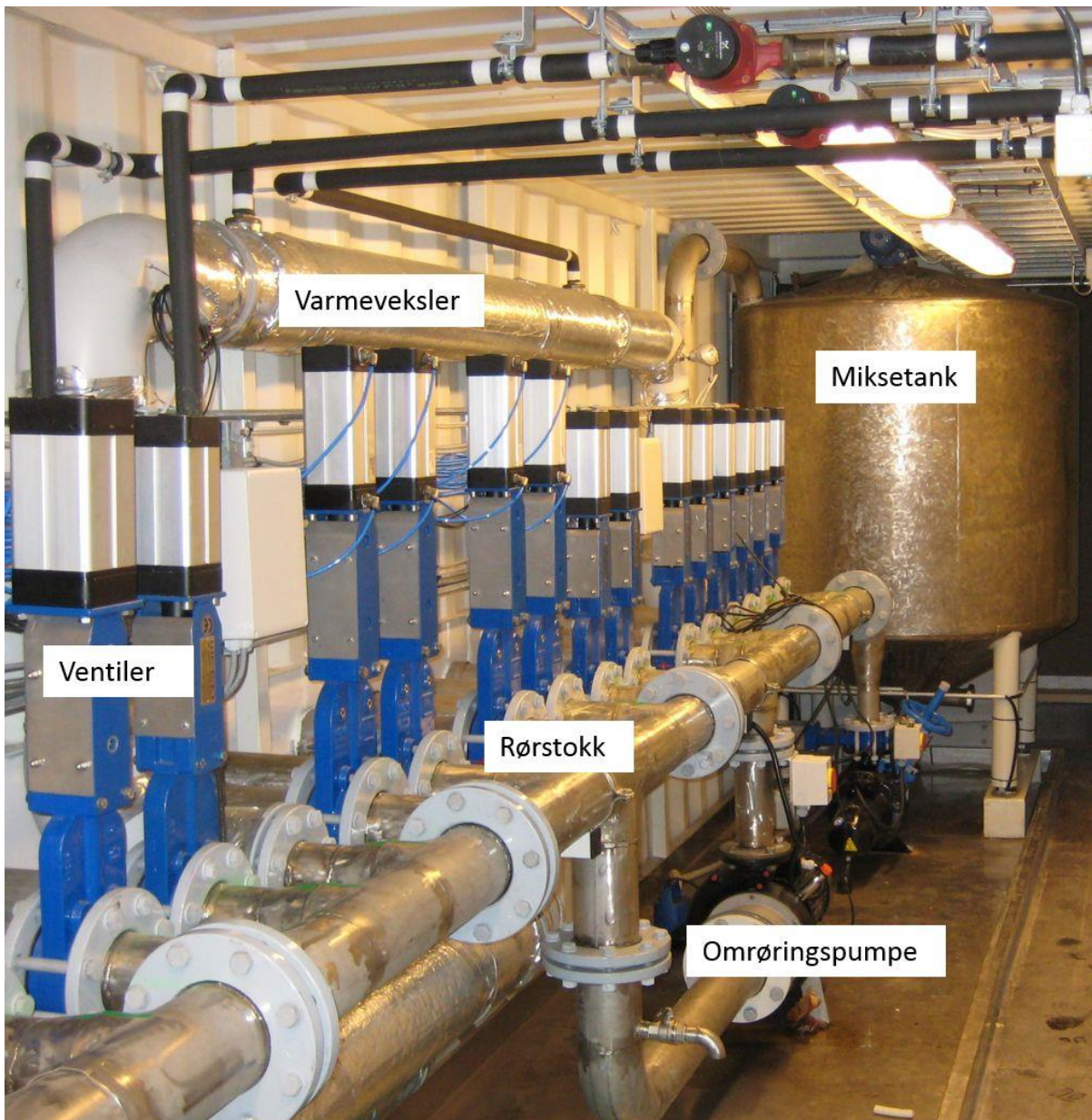
Figur 2. Oversiktsbilde av biogassanlegget før ferdigmontering, isolasjon og overbygg. Fjøset med pumpekum for blautgjødning ligger ca. 100 m vest for anlegget, dvs. til høyre for bildet. Gasslager på 20 m³ er plassert til venstre for kjøletank og gasskonteiner.

Anlegget har to råtnetanker- kontinuerlig omrørt (CSTR) laget av glassfiber, råtnetank 1 og 2 (se figur 1 og 2.), hver med et totalvolum på 35 m³ (70 m³ totalt). Disse er isolert med isolasjon tilsvarende 20 cm standard Glava mineralull. Råtnetankene, rørstokk-konteiner og styringskonteiner er bygd inn i et hus (uisolert) med tanke på å lettere kunne drive forsøks- og utviklingsvirksomhet. Begge tankene ble i utgangspunktet bygd med skillevegg og med mulighet for gassomrøring. Skilleveggene var ikke god nok og måtte tas ut, dvs. begge tankene er uten skillevegg. Kun den ene tanken, råtnetank 2, ha i dag fungerende gassomrøring.

Blautgjødning fra pumpekum/flyterenner (74 m³) i fjøset, veies ut (veiecelle) i en miksetank på 2 m³ og forvarmes før innmating. Denne er plassert i rørstokk-konteineren (figur 3). Løsning for tilsats av fiskesåpe (eller annet råstoff) skal gjøres fra palletank direkte inn i den ene reaktoren.

Råtnetankene varmes og røres (indirekte) ved rundpumping gjennom dobbeltvegget varmeveksler (vann til gjødning) – 1 i miksetank (oppvarming før innmating og 1 på hver av råtnetankene (kompensasjon for varmetap). Arealet for varmeoverføring på hver veksler er ca. 5 m². Anlegget ble levert med en løsning for oppvarming ved hjelp av en væske/væske varmepumpe (7 kW). Varmepumpen skal gjenvinne varme fra bioest som går ut fra råtnetankene (vha. kjøletank) eller tilføres varme fra el-kolbe som også er montert på kald side av varmepumpen. Per dags dato (24.10.2017) er varmepumpen ute av drift. I kjøletanken blir temperaturen senket til ca. 15 °C før råtneresten blir ført ut i sluttlager. Kjøletanken (ca. 25 m³) fungerer også som (statisk) gasslager. Fra kjøletanken pumpes råtneresten ut til et sluttlager på 640 m³ som vist i figur 2. Ny varmesløyfe ble montert i 2014 med mulighet for å varme opp råstoffet i miksetanken samt tilføre varme til hver av råtnetankene. Varmetilførsel skjer ved hjelp av el-kolbe (8 kW) og solvarme (30 kWp).

Omrøringspumpene på hver tank vist i figur 1 og 3 flytter substratet både i forbindelse med oppvarming og omrøring. Figur 3 viser rørstokken og ventilene som brukes for å styre substrat inn og ut av råtnetankene. Massen i råtnetank 1 omrøres ved rundpumping av substrat. Massen i råtnetank 2 omrøres ved hjelp av at noe av gassen i systemet brukes sammen med substratet i et Landia gass-mix system (<http://www.landia.co.uk/mixers/gasmix>) som benytter seg av venturi-effekten (http://en.wikipedia.org/wiki/Venturi_effect), der hastigheten på en væske øker når tverrsnittet av røret den presses gjennom blir redusert.



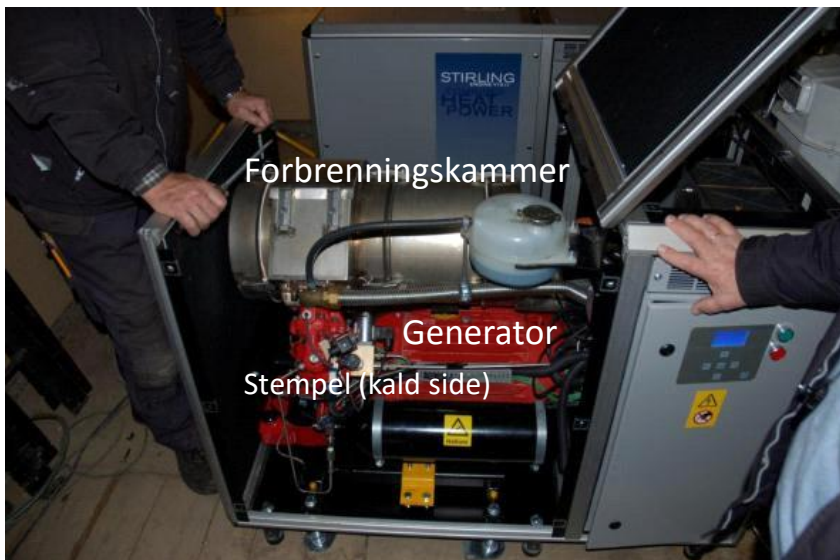
Figur 3. Rørstokk-kontainer, med varmeveksler, omrøringspumpe og miksetank. Bildet er tatt før det ble lagt isolasjon på rørstokk og miksetank.

Ved biogassproduksjon vil en viss mengde nytt substrat tilføres og en tilsvarende mengde biorest tas ut daglig fra råtnetanken. Mengden vil være avhengig av ønsket hydraulisk oppholdstid i råtnetanken.

Hydrogensulfid (H_2S) -rensing skjer biologisk som det legges til rette for ved hjelp av luft-tilsats (3 – 5 volumprosent av gassproduksjonen), samt ved hjelp av et aktivt-kull filter, se figur 1. Ved tilsats av luft oksiderer mikro-organismer H_2S i hovedsak til elementært svovel, mens noe oksideres til sulfat. Vann kondenseres ut i domer på $0,25\text{ m}^3$ over reaktorene og kondenspotter på gassrørledningen. Et partikkelfilter tar ut eventuelle partikler i gassen. Et gasslager på 20 m^3 er montert for å sikre jevn gass-tilførsel til gassmotoren. Gassen ledes fra biogass-anlegget 400 meter til varmesentralen nede i den gamle driftsbygningen. Trykket og gasshastigheten kontrolleres vha. en gassvifte (inntil 200 mbar trykk inn på gassmotoren). Gassviften og kull-filteret står i en EX-sikret (område sikret mot eksplosjon) gasskonteiner.

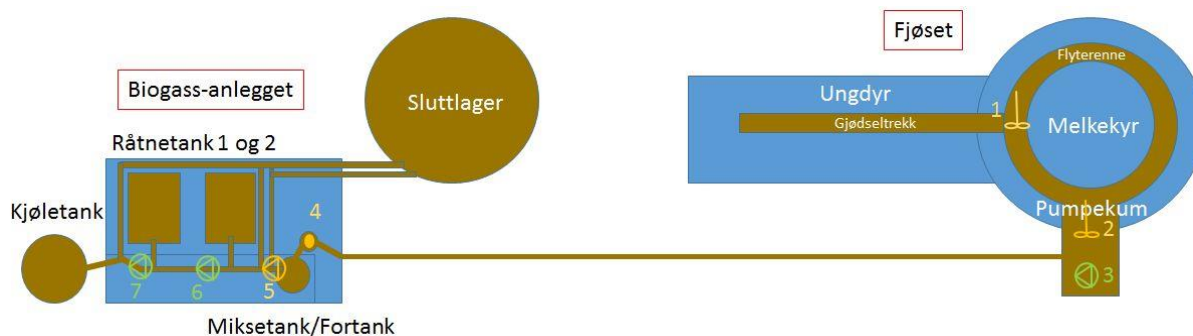
Gassen anvendes i en Stirling Cleanergy V161gassmotor (Figur 4). Arbeidsgassen er helium. Effekten på motoren er oppgitt til å være 2-9 kW strøm og 8-25 kW varme avhengig av gasshastighet og konsentrasjon av metan i biogassen. Den har en tilsvarende el-virkningsgrad på 25 % og en totalvirkningsgrad på 92-97 %.

Anlegget er automatisert og styres ved hjelp av CX-supervisor (OMRON). Det er montert to termiske målere (FCI ST100) for gassmåling, en for hver tank samt et Ritter gassur (TG10) på gassrøret etter at gassen fra råtnetanker og kjøletank er samlet. En GA5000 portabel gass-analysator (CH_4 , CO_2 , H_2S , CO , O_2) brukes for å måle sammensetning av biogassen.



Figur 4. Stirling V161 CHP

Detaljer - innmating av storfe gjødsel



Figur 5. Gjødsel flyt frem til og gjennom biogass-anlegget på Tingvoll Gard.

Gjødsel fra ungdyra og melkekyr samles i pumpekum før det sendes til biogass-anlegget ved hjelp av pumpe (Figur 5 og 3). Propell er satt inn i overgangen mellom gjødseltrekket (figur 6, 1) og flyterenna samt i pumpekummen (figur 6, 2), for å påse homogen innblanding og jevn flyt av gjødsel ut fra fjøset. Figuren viser også en maserator (Rotacut 3000) (figur 5, 4) som ble satt inn for å kutte fiber og ta ut stein og store partikler.



Figur 6. Propell (1) fastmontert ved enden av gjødseltrekket september 2014.

Forsøk

Driftsperiode og kommentarer rundt driftsproblemer

Væskevolumet i reaktorene er 30 m³ og den hydrauliske oppholdstiden for anlegget er 30 dager. Forsøksperioden for anlegget ble først satt til 3 hydrauliske oppholdstider, ble seinere noe utvidet og gikk fra 19.juni (Uke 25) til 29.september (Uke 39). Som del av forberedelsene ble termisk gassmåler installert på tank 2, slik at tank 1 og tank 2 hadde identisk måling og at Ritter-gassuret kunne brukes til kontroll og kalibrering. Ved oppstart hadde anlegget vært i stabil drift med storfe gjødsel som råstoff siden nyttår, dvs. råtnetankene hadde fått 1 tonn med ny storfe gjødsel hver per dag (se diskusjon om tørrstoffprosent nedenfor). Stirling-motoren hadde da vært i drift kun deler av vinteren og våren på grunn av at gassvifta ikke ga stabilt og høyt nok trykk. Gassvifte ble skiftet i slutten av juni.

Problemer med gjødsel flyt i fjøset ble dessverre ikke avdekket før testen startet. I selve forsøksperioden ble det målt en økning i gassproduksjon fra uke til uke (samme mengde, 1 tonn storfe gjødsel pr. dag). Problemer med innmating av gjødsel oppsto 30.juli (Uke 30) tiltok i starten av august. Dette viste seg å være forårsaket av skumdannelse i miksetanken. Dette skummet var tjukt og luftig. Pumpen som tilfører råstoff fra miksetanken til råtnetankene fikk problemer i og med at dette skummet la seg foran pumpa slik at pumpa ikke fikk «tak» i råstoffet. Samtidig med skumproblemene sank pH i råtnetankene fra 7,7 til 7,5, og 21.august (Uke 34) ble innmating stoppet noen dager. Skummingen avtok noe og pH stabiliserte seg. En forsiktig innmating startet derfor opp igjen 28.august (Uke 35). Innmatingen var oppe på 1 tonn pr. dag 8.september (Uke 36). Grunnet driftsproblemer ble det ikke foretatt nye gassmålinger i slutten av forsøksperioden og resultatene som presenteres for perioden 28.juni (Uke 26) til 30.juli (uke30) representerer den delen av forsøksperioden med mest stabil drift.

På grunn av tekniske problemer med solvarme-anlegget (oppsto vår 2017) ble dette ikke ble brukt til tilførsel av prosessvarme i forsøksperioden.

Driftsbetingelser og analyser i forsøksperioden

Tabell 1 viser driftsbetingelser for biogass-anlegget i forsøksperioden.

Tabell 1. Driftsbetingelser for biogass-anlegget forsøksperioden

Råstoff inn i hver råtnetank pr. dag	1000 kg, fordelt på 2 innmatninger a 500 kg Råtnetank 1: 04:00 og 16:00 Råtnetank 2: 10:00 og 22:00
Hydraulisk oppholdstid og type råtnetank	30 dager, kontinuerlig omrørt (CSTR)
Temperatur råtnetanker	35 °C
Forvarming miksetank før innmating	42 °C
Oppvarming	Elektrisk
Nivå kjøletank	40 %
Varmegjenvinning	Nei
Gass-rensing	Luft-tilsats og kull-filter
Utetemperatur	11-25 °C
Temperatur i bygg	17-25 °C

Innmatingen i råtnetankene skjer ved at 500 kg biorest først tas fra kjøletank til sluttlager etterfulgt av at 500 kg substrat/biorest tas til kjøletank før 500 kg nytt råstoff mates inn i råtnetankene.

Oppvarming av råstoffet skjer ved at det forvarmes i miksetanken til 42 °C. Det er ingen direkte oppvarming av substratet i råtnetankene. Kompensasjon for varmetap i råtnetanken skjer ved at substratet som befinner seg i tankene rundpumpes og varmes i rør-varmeveksler (en på hver tank).

Utkondensasjon av vann i gassen skjer via kondensfeller rett etter hver tank samt i kondensfelle i gasskonteiner. Disse tømmes ukentlig. Luft-tilsetningen i råtnetankene ble ved hjelp av rotameter justert opp og ned i takt med gassproduksjonen, noe som reduserte H₂S-nivået fra ca. 1300 ppm H₂S til 200-300 ppm H₂S. Kull-filteret i gasskonteineren renses H₂S videre ned til 0 ppm.

Anlegget ble bygd med varmegjenvinningsløsning for substratet/bioresten i kjøletanken. Varmepumpa som gjenvinner varmen fungerte ikke og kostnad for innkjøp av ny varmepumpe er så vidt høy at dette ikke er prioritert per dags dato.

Prøve av storfe gjødsel, prøve fra Råtnetank 1 (RT1) og Råtnetank 2 (RT2) og fra kjøletank ble tatt ut hver onsdag og satt på fryserom. Et utvalg av prøvene (uke 26-30 og uke 39) ble sendt til analyse. Prøver for analyse av TS, VS, COD og VFA ble sendt til NMBU/NIBIO, mens prøver fra uke 30 ble analysert for total-N, Ammonium, fosfor og tungmetaller hos Vestfold-lab.

Biogass-anlegget brukte utelukkende elektrisitet til å dekke oppvarmings-, omrørings-, og andre behov i biogass-anlegget under testperioden. Egen strømmåler for biogass-anlegget ble avlest hver mandag. I tillegg ble de de fire komponentene som brukte mest strøm i biogassanlegget logget for å registrere hvor mange driftstimer de hadde per dag, uke, måned og år.

Gassproduksjonen ble målt med TG10 Ritter våt-gassur hver onsdag i ukene før problemene med skum tiltok. Det ble gjort målinger fra kl 09.00 til kl 17.00 med ca. 2 timers mellomrom.

På grunn av problemer med gass-vifta er det ikke direkte data på gass-utnyttelse i Stirling-motoren. Motoren ble etter skifte til ny vifte kjørt ved ulike pådrag for å se hva som er mulig å få ut i strøm- og varme-produksjon sammenlignet med hva leverandøren oppgir.

Råstoff

Tabell 2 viser egenskapene til storfe gjødsel, det vil si TS, VS, COD og innhold av VFA samt organisk belastning for perioden gjødsel ble brukt. TS-verdiene i starten av forsøksperioden er lave. Dette henger sammen ovennevnte problemer med gjødsel flyt, at dyra var ute på beite på dagtid, samt at det i perioden ble gjennomført vasking av fjøset. Det var installert propellomrører i fjøset for å sikre flyt av gjødsel ut til pumpekum. Denne hadde i løpet av våren mistet funksjon. Propellomrøreren ble reparert i slutten av juni. Kjøring av propell samt tilsats av vann i juli og august førte til at akkumulert gjødsel (i perioden propellomrøreren ikke fungerte) gradvis ble tatt ut av fjøset og til pumpekummen. Dette forklarer den økende tørrstoffprosenten underveis i forsøksperioden. Chemical oxygen demand, COD (mengden organisk materiale som kan brytes ned) er høy til å begynne med i forsøksperioden for så å falle de to neste ukene. Dette henger nok sammen med vasking av fjøs. Den relativt høye COD-verdien for uke 30 er representativ for perioden der propellomrøreren ikke har fungert og kan mest sannsynlig tilskrives at vann renner forbi fast gjødsel inne i fjøset og «tar med seg» lettløselig organisk material på vei ut i pumpekummen. Grunnet lav TS og VS i gjødsel har også den organiske belastningen vært relativt lav i forsøksperioden.

Summen av VFA øker betydelig i løpet av forsøksperioden fram til uke 39 da det blir en sterk reduksjon. Det er mulig at dette henger sammen med skummingen observert i miksetank og pumpekum, samt fall i pH i råtnetankene. Råtnetankene ble ikke åpnet fysisk så det er vanskelig å slå fast i hvilken grad det har vært skumming der.

Tabell 2. Egenskaper storfe gjødsel; TS, VS, COD og innhold av VFA samt organisk belastning for perioden gjødsel ble brukt.

Storfe-gjødsel	TS [%]	VS av TS [%]	COD [g/l]	LA [g/l]	FA [g/l]	AA [g/l]	PA [g/l]	IBA [g/l]	BA [g/l]	IVA [g/l]	VA [g/l]
U26	2,8	69	51,0	n.d.	n.d.	0,034	0,099	0,038	n.d.	n.d.	n.d.
U27	2,8	72	42,9	n.d.	0,068	0,898	0,186	0,036	0,058	0,021	n.d.
U28	2,2	67	36,7	n.d.	0,036	1,825	0,406	0,086	0,180	0,073	n.d.
U29	3,9	77	52,5	n.d.	0,022	4,771	1,260	0,188	0,503	0,181	n.d.
U30	4,6	79	64,7	n.d.	0,043	4,953	1,293	0,194	0,446	0,146	n.d.
U39	4,8	79	59,4	n.d.	n.d.	0,184	0,036	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.

*LA – melkesyre, FA- maursyre, AA – eddiksyre, PA – propionsyre, IBA – Iso smørsyre, BA – smørsyre, IVA -iso valeriansyre, VA-valeriansyre.

Resultat og diskusjon

Nedbrytning og gassproduksjon

Tabell 3 viser TS, VS, COD og nedbrytningsgrad av storfe gjødsel i rånetanker og kjøletank. I rånetankene var pH 7,7 fra nyttår og frem til 30/7 da den sank til 7,5. Igjen må det påpekes at måledata representerer en periode der organisk belastning og prosess ikke var stabil.

Tallene viser for RT1 og RT2 en nedbrytninggrad på henholdsvis 28 og 24 % for uke 26 og 40,3 og 40,7 for uke 30 i perioden da drifta var mest stabil. Tilsvarende tall for henholdsvis separatert storfe gjødsel og storfe gjødsel funnet andre undersøkelser er 24 og 37 % (Deublein og Steinhauser, 2008).

Nedbrytningsgrad beregnet ut fra tallene for storfe gjødsel og kjøletank virker ikke å være anvendelig for denne forsøksperioden, da verdiene ikke gjenspeiler direkte det som skjer i rånetankene. Resultatene skyldes mest sannsynlig variasjonen i TS og VS i storfe gjødsel inn til biogassanlegget og forsøket har ikke gitt oversikt over forsinkelsen i tid ift. når substratet/bioresten beveger seg fra rånetank til kjøletank. Det er også mulig at det har vært sedimentering i kjøletanken og at omrøring før uttak av prøve derfor ikke nødvendigvis gir en representativ prøve. Mest sannsynlig er ustabilitet i forsøksperioden og/eller uttak av ikke-representativ prøve årsaken til at COD-verdiene avviker fra det man skulle forvente. For eksempel er COD-verdien for RT2 U26 høyere enn for råstoffet inn. COD-tallene er derfor ikke diskutert videre.

Tabell 3. TS, VS, COD og VFA-verdier for substratprøver tatt fra rånetankene (RT1 og RT2) og kjøletanken (KT).

	TS [%]	VS av TS [%]	COD	[kg VS] Storfe gjødsel	[kg VS] Tank	Nedbrytning [%]
RT1 U26	2,09	66,28	45,9	135,2	97,0	28,3
RT1 U30	3,06	70,89	35,3	254,4	151,8	40,3
RT1 U39	4,28	76,39	60,9	265,4	228,9	13,8
RT2 U26	2,16	67,31	52,2	135,2	101,8	24,7
RT2 U30	3,04	70,85	35,2	254,4	150,8	40,7
RT2 U39	4,33	77,25	56,3	265,4	234,1	11,8
KT U27	2,38	64,51	40	141,1	107,5	23,8
KT U28	2,47	67,81	37,5	103,2	117,2	-13,6
KT U29	3,23	72,22	39,2	210,2	163,3	22,3
KT U30	2,97	70,9	38,1	254,4	147,4	42,1
KT U39	4,05	75,33	48	265,4	213,6	19,5

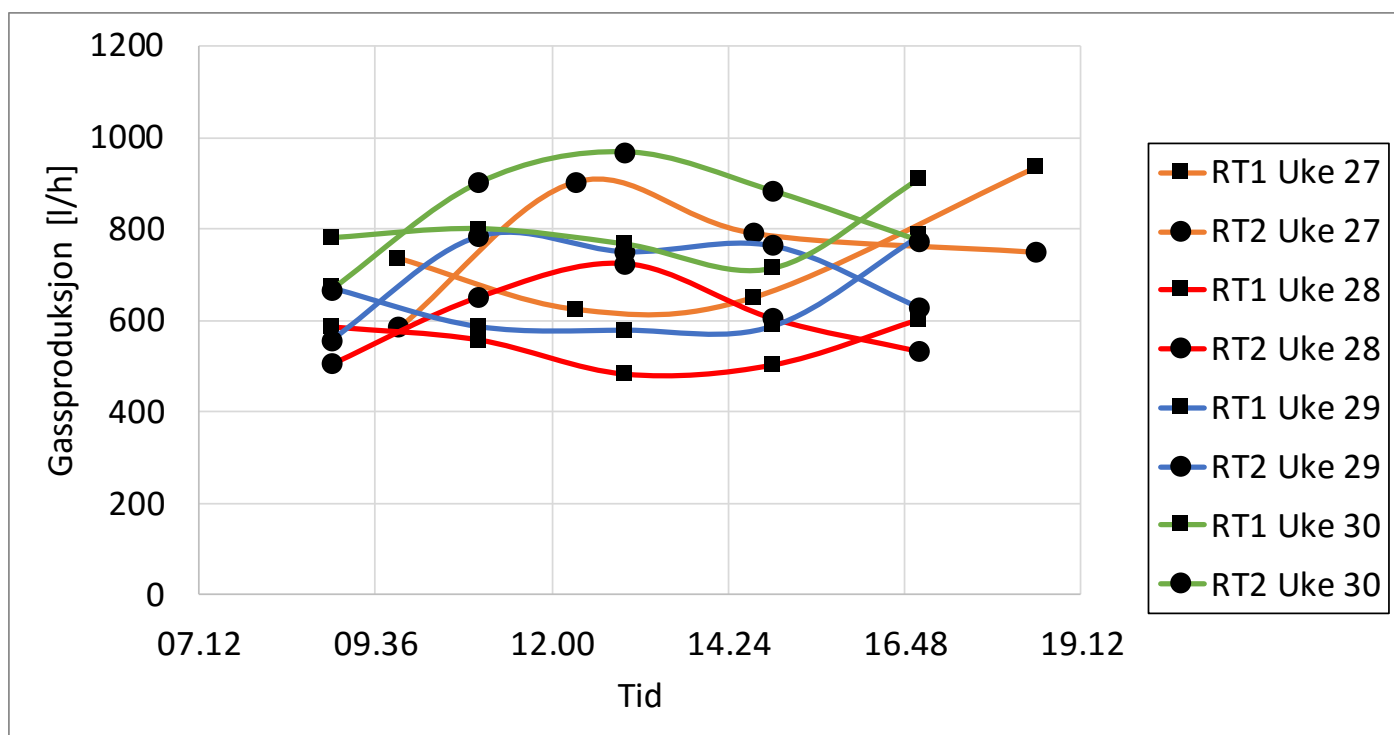
Tabell 4 viser at innholdet av målte flyktige fettsyrer i substratet i rånetankene var relativt lave. Dette tyder på at det meste av fettsyrene er omsatt. Eddiksyre er et mellomprodukt i biogassprosessen. Mengden eddiksyre detektert er relativt lav, men høyest for uke 30 da TS i gjødsel hadde stabilisert seg på et høyere nivå og gassproduksjonen var på sitt høyeste (se nedenfor). Det er sannsynlig at verdiene for propionsyre og iso-smørsyre kan tilskrives innholdet av VFA i gjødsel inn til biogassanlegget (se tabell 2). Fra og med uke 29 indikerer økende verdier for propionsyre og iso-smørsyre (vanligvis ikke tilstede) og synkende verdi for eddiksyre (et visst nivå viser god prosess) at prosessen er hemmet. Dette kan skyldes skumming og forhøyede verdier av VFA og/eller økt organisk belastning som nevnt ovenfor.

Tabell 4. Flyktige fettsyrer g/l funnet i substratet fra råtnetankene (RT1 og RT2) og i kjøletanken (KT)

	LA	FA	AA	PA	IBA	BA	IVA	VA
RT1 U26	n.d.	0,0044	0,0158	0,0279	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
RT1 U30	n.d.	n.d.	0,0292	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
RT1 U39	n.d.	0,0206	0,1132	0,1194	0,0359	n.d.	n.d.	n.d.
RT2 U26	n.d.	0,0045	0,0244	0,0345	0,0144	n.d.	n.d.	n.d.
RT2 U30	n.d.	0,0049	0,0613	0,1391	0,0412	n.d.	n.d.	n.d.
RT2 U39	n.d.	0,0332	0,2544	0,1163	0,0213	n.d.	n.d.	n.d.
KT U27	n.d.	0,0072	0,0230	0,0382	0,0179	n.d.	n.d.	n.d.
KT U28	n.d.	n.d.	0,0312	0,0306	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
KT U29	n.d.	n.d.	0,0459	0,0833	n.d.	n.d.	n.d.	n.d.
KT U30	n.d.	0,0056	0,0774	0,1184	0,0398	n.d.	n.d.	n.d.
KT U39	n.d.	0,0591	3,3610	0,8277	0,0970	0,2150	0,0633	n.d.

*LA – melkesyre, FA- maursyre, AA – eddiksyre, PA – propionsyre, IBA – Iso smørsyre, BA – smørsyre, IVA -iso valeriansyre, VA-valeriansyre.

Figur 7 viser gassproduksjon i reaktorene målt med TG10 Ritter våt-gassur for uke 27-30. Gassproduksjonen henger sammen med variasjonen i TS og VS inn til råtnetankene, dvs. en nedgang fra uke 27 til uke 28 og en økning til uke 29 og til uke 30. Grafen må leses ut fra at innmating skjer for RT1 kl 04 og 16 og for RT2 kl 10 og 22. Det er gjort målinger som tyder på at nedbrytningen i RT2 skjer raskere etter innmating enn i RT1, men det er for få målinger til å konkludere.



Figur 7. Gassproduksjon i råtnetankene som funksjon av tid for uke 27-30

Tabell 5 viser organisk belastning, spesifikk gassproduksjon, metan-innhold og energiproduksjon i råtnetankene. Døgnproduksjonen er beregnet ut fra gassproduksjonen for tidspunktet midt mellom innmating, dvs. kl 10 for RT1 og kl 16 for RT2 multiplisert med 24. Gassproduksjonen i RT2 ble målt til å være noe høyere enn i RT1 med unntak fra for uke 28 (lik

gassproduksjon). Metan-innholdet i RT1 varierte fra 55,2 til 59,6 vol%, mens den i RT2 varierte fra 58,6 til 60,1. På grunnlag av data innsamlet i denne forsøket er det ikke mulig å slå fast om dette er representativt og eventuelt kan tilskrives forskjeller mellom gass-omrøringen i RT2 og omrøring ved rundpumping i RT1. Den spesifikke metanproduksjonen er relativt høy, 0,31 – 0,55 m³ CH₄/kg VS sammenlignet med 0,1-0,26 m³ CH₄/kg VS som man vil forvente å oppnå for storfegjødsel. Dette tyder på at storfegjødsel har hatt et høyt innhold av lett-omsettelig organisk materiale. Dette henger sammen med situasjonen i fjøset der flytting av gjødsel ikke har fungert pga. problemer med propell-omrøreren. Mest sannsynlig så er råstoffet som har blitt brukt i testen vært vann som har tatt med seg lett-løselig og lett-omsettelig organisk materiale fra den faste massen (som har blitt liggende igjen i fjøset). I uke 28 og 29 har arbeidet med å flytte på gjødsel i fjøset resultert i at mer organisk materiale har blitt tatt med og at TS har økt i råstoffet. Dette førte til fallende spesifikk metanproduksjon. Dette kan skyldes økt innhold av tungtomsettelig karbon. Det kan i tillegg eller også skyldes at kulturen i råtnetankene hadde begrenset kapasitet med tanke på å omdanne mer lett-omsettelig organisk materiale, dvs. mikro-organismene var få og/eller ikke tilpasset for å håndtere den relativt raske endringen i sammensetning på gjødsel.

Gassproduksjonen er omregnet til et totalt teoretisk utbytte i kWh (før tap i gasskjel eller motor) og ligger mellom 181,9 og 227,2 kWh for forsøksperioden. Til sammenligning er teoretisk utbytte ved tilsats av 2,5 vektprosent fiskesåpe 126,9 m³ som vil kunne gi nok gass til å kjøre Stirling-motoren på fullt pådrag. Det er viktig å påpeke at anlegget er designet for å kjøre med tilleggsråstoff og at det ikke er rimelig å anta at man kan oppnå lønnsomhet kun med storfegjødsel som råstoff for reaktor-løsningen som er brukt på Tingvoll gard. Det henvises til tilstøtende vurdering av økonomi- og klimanytte gjennomført av Østfoldforskning for flere betraktninger på dette.

Tabell 5. Organisk belastning, metan-innhold, spesifikk metan- og biogass- produksjon og energiproduksjon.

	kg VS/døgn	Organisk belastning [kg VS/m ³ reaktor døgn]	m ³ biogass/døgn	Spesifikk biogassproduksjon [m ³ biogass/ kgVS]	CH ₄ [vol%]	Spesifikk metanproduksjon [m ³ CH ₄ /kg VS]	Energiproduksjon [kWh]
U27	40,6	0,7	35,9	0,88	59,1	0,52	212,0
U28	29,9	0,5	27,3	0,91	60,0	0,55	164,0
U29	59,4	1,0	31,8	0,53	57,1	0,31	181,9
U30	72,4	1,2	38,8	0,54	58,5	0,31	227,2

Intern energibruk

Gjennomsnittet av strømforbruket per uke for biogass-anlegget ble avlest til å være 1050 kWh. Tabell 6 viser hvor mye de 4 største komponentene som trekker strøm bruker. For forsøksperioden var strømbruken for disse komponentene samlet per dag i snitt 139 kWh. Dette tilsvarer 973 kWh/uke (16,2 kWh/uke og m³ reaktor). Dette er høyere enn det som ble målt på høsten ved Åna, men betydelig lavere enn det som ble målt på anlegget på Tomb (Morken et al. 2015). 93 % av strømforbruket i biogass-anlegget er knyttet til oppvarming og omrøring/fordeling av varme.

I forsøksperioden ble temperaturen i pumpekummen målt til å være 17 °C. Hvis man antar at oppvarmingsbehovet for gjødsel er det samme som for vann, så er oppvarmingsbehovet 1,16 kWh/°C og m³ råstoff. Oppvarming fra 17 °C til 42 °C i miksetanken tilsvarer da et varmebehov på ca. 58 kWh. Tilsvarende mengde elektrisitet som varmebehovet brukes i pumpene i anlegget for å fordele varmen, dvs. 58,9 kWh. Årsaken er at pumpene i anlegget på Tingvoll gard er noe overdimensjonert samtidig som arealet på varmevekslerne er noe begrenset. Varmekolbene avgir hver dag ca. 80 kWh med varme. Det vil si at ca. 22 kWh går tapt i rørrnett og fordelingen av varmen. Fordelingsnett for varme til varmevekslere på miksetank og råtnetanker er ca. 30 meter. Hvis man antar et varmetap på 15 W/meter blir dette et varmetap på 450 W eller ca. 11 kWh over et døgn. Resten av varmetapet stammer mest sannsynlig i hovedsak fra miksetank og fra gjødselrør i forbindelse med at substratet fra råtnetankene omrøres vha. hovedpumpe til og fra varmeveksler på råtnetankene.

Tabell 6. Energibruk biogass-anlegget på Tingvoll gard

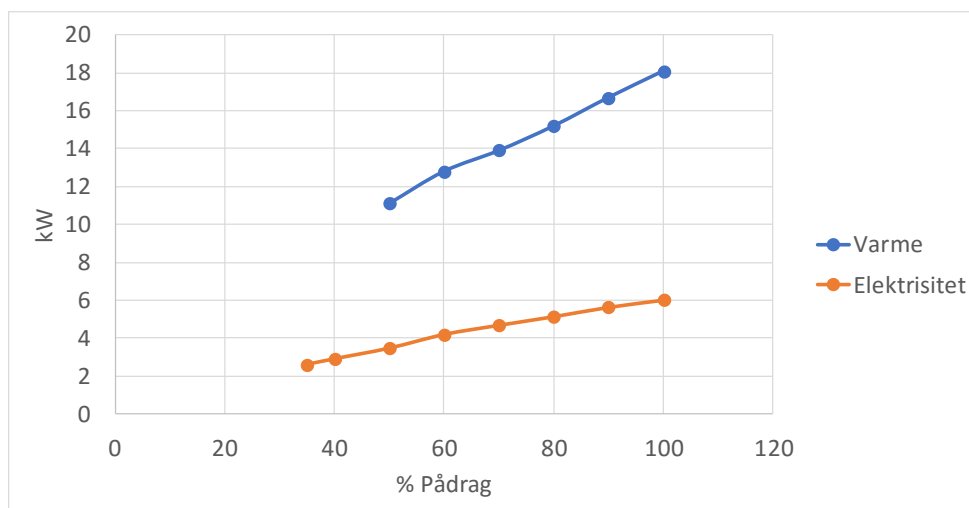
	Effekt [kW]	Driftstid Gj. Snitt forsøksperioden [timer]	Strømbruk forsøksperioden [kWh]	Driftstid 2016 [timer]	Strømbruk 2016 [kWh]
Varmekolber, oppvarming av vann	8	10	80,0	4302	34416
Pumpe distribusjon av vann til varmeveksler miksetank og råtnetanker	0,37	19,8	7,3	5695	2107
Pumpe omrøring miksetank/forvarming	1,1	17,3	19,0	3463	3809
Pumpe omrøring/kompensasjon av varmetap	4,4	7,4	32,6	3494	15374
Total strømbruk [kWh]			139		55706

Hvis man ser på strømforbruket over et helt år og deler dette på 365 så blir dagsforbruket ca. 153 kWh. Høyere energi- og strømbruk om vinteren henger nok i hovedsak sammen med et større varmebehov for oppvarming av råstoff. Med en temperatur på f.eks. 7 °C på gjødsel/råstoffet vil varmebehovet for oppvarming være 81,2 kWh. Det antas at huset som er bygd rundt biogass-anlegget bidrar i betydelig grad til å redusere varmetapet om vinteren og varmetap på grunn av vind.

Tallene viser at oppvarmingen av råstoffet kunne vært mer effektiv. Varmetapet kunne nok i større grad vært unngått ved annen utforming på systemet for å oppnå kortere rørstrekk. En løsning med omrøring ved rundpumping av substratet er fordelaktig sammenlignet med omrøring i tank hvis omrøringsenheten i tanken går i stykker da vedlikehold er enklere, men det er tydelig at det er en bakdel med stort strømtrekk for den store pumpe med en slik løsning.

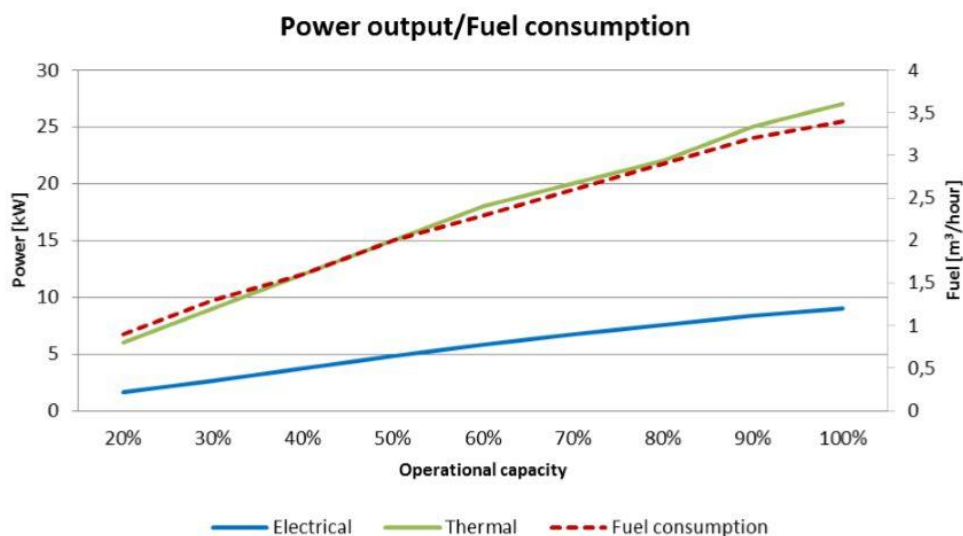
Ekstern energibruk

Figur 8 viser resultater fra testen av varme- og elektrisitets-produksjon i Stirling-motoren. Testen ble utført med Tur-temperatur på vannet til Stirling-motoren på 35-38 °C og en retur-temperatur på 45-48 °C. På 100 % pådrag på Stirlingmotoren oppnådde den en produksjon på ca. 6 kW elektrisitet og 18 kW varme. I følge leverandøren skal det være mulig å oppnå litt høyere elektrisitet (7 kW) - og varme-produksjon (ca. 20 kW). Metan-innholdet er høyt i forhold til spesifikasjonene for motoren, så dette er sannsynligvis ikke årsaken.



Figur 8. Resultater fra test av varme- og elektrisitets-produksjon i Stirling-motoren. Effekt som funksjon av pådrag.

Figur 9. viser gassforbruk (CH₄) for motoren som funksjon av utbytte i kW (el og varme) i manualen til Cleanergy (Thorn/Cleanergy, 2009). Ved 100 % pådrag bruker gassmotoren omregnet ca. 5,8 m³ biogass/time. I løpet av en dag tilsvarer dette en produksjon på 140 m³ biogass. Dvs. tilsats av såpe må økes noe for å dekke behovet til gassmotoren jfr. en dagsproduksjon på ca. 127 m³ med tilsats av 2,5 vekt % fiskesåpe (tabell 5).



Figur 9. Utbytte i kW strøm og el samt gassforbruk som funksjon av pådrag i %. (Thorn/Cleanergy, 2009)

Metanlekkasjer

Det er i prosjektet ikke foretatt målinger på metanslipp for anlegget. GA 5000 som måler metan har ikke god nok oppløsning for måling av små konsentrasjoner. Når anlegget ble bygd og ved vedlikeholdsoperasjoner brukes såpevann for å sjekke etter lekkasjer. Såpevann gir tydelig utslag når en kobling ikke er tett nok. Det er i de fleste tilfeller nødvendig å bruke noe tid på å veksle mellom å slippe opp og dra til koblinger for å unngå spenninger i rør/flens som gir lekkasjer. De lave VFA-verdiene i kjøletanken tyder ellers på at ubetydelig potensial for metanproduksjon fra bioresten i sluttlageret. Det er tidligere foretatt målinger på restpotensialet i biorest fra kjøletank, der dette også ble funnet å være ubetydelig (Kvande og Løes, 2014).

Bioresten – innhold av næringsstoffer og tungmetaller

Tabell 7 og 8 viser resultatene fra Vestfold-lab for næringsinnhold i storfe gjødsel matet inn i råtnetank, de to råtnetankene, og kjøletank som råtneresten passerer før sluttlager. Reduksjonen på 20-29 % TS i forhold til storfe gjødsel (Tabell 3) vil påvirke konsentrasjonene av mineraler og andre elementer som ikke tapes gjennom gassproduksjon (C, H, O, S, noe N). Tallene i tabell 7 er sammenlignbare med tall fra tidligere analyser for prosjektet «Biogassbehandling av husdyrgjødsel, hvordan påvirker det jordas fruktbarhet? Etablering av et feltforsøk for å undersøke dette under norske forhold -SOILEFFECTS» hvor gjødseleffekten til bioresten har blitt studert (Johansen et al, 2015)

Tabell 7. TS og innhold av makronæringsstoffer i storfe gjødsel, RT1, RT2 og kjøletank (Uke 30). Usikkerhet TS, N-total og Ammonium-N ± 10 %. Usikkerhet Fosfor og Kalium ± 20 %.

	TS	N-total	Ammonium-N	Andel NH ₄ av Total-N	Fosfor	Kalium
	[%]	[g/kg gjødsel]	[g/kg]	[%]	[g/kg]	[g/kg]
Storfe gjødsel	4,7	1,9	1,1	56,4	0,4	2,6
RT1	3,5	1,4	1,2	80,9	0,4	2,6
RT2	3	1,8	1,1	62,6	0,3	2,5
Kjøletank	2,4	1,2	1,1	88,7	0,2	2,4

Tabell 8 viser innhold av tungmetaller i prøver tatt av biorest i kjøletanken.

Tabell 8. innhold av tungmetall i prøver biorest hentet fra kjøletank (Uke 30)

Tungmetaller	[mg/kg TS]	[g/tonn]
Kadmium, Cd	0,12	0,3
Kvikksølv, Hg	0,06	0,1
Bly, Pb	0,13	0,3
Nikkel, Ni	11,4	27,4
Krom, Cr	1,87	4,5
Sink, Zn	242	580,8
Kobber, Cu	58,5	140,4

I gjødselvarsforskriften må verdiene for Zn og Cu være under 150 mg/kg TS og 50 mg/kg TS for å tilfredsstille kravene for kvalitetsklasse 0. Tabell 8 viser at for biorest-prøvene fra anlegget ligger høyere enn dette, med verdier for Zn og Cu på henholdsvis 242 mg/kg TS og 58,5 mg/kg TS. Det er ikke uvanlig at biorest ikke tilfredsstiller kravene i gjødselvarsforskriften. Det er naturlig at konsentrasjonen av metaller øker når tørrstoffinnholdet avtar. Dette er en av årsakene til at gjødselvarsforskriften er under revisjon. Gjennomsnittlig innhold av sink (Zn) og kobber (Cu) var 29,7 og 10,36 mg per kg TS, i gjennomsnitt for 1644 prøver av silo tatt ut i årene 1990-1993 i Wexford, Irland (Rogers og Murphy, 2000). Norske verdier (Sleteng 2017) basert på 2983 prøver av surfôr med <40% kløver fra 2013-16 var 33,5 mg Zn per kg TS og 5,9 for Cu (2969 prøver). Anrikning av metaller fra fôr til gjødsel er en naturlig prosess i dyra sin fordøyelse. En undersøkelse fra Storbritannia fant i gjennomsnitt 180 mg Zn og 50 mg Cu per kg DM i husdyrgjødsel fra storfe. Dette er verdier på nivå med grenseverdiene for klasse 0, og viser at den norske gjødselvarsforskriften kanskje er satt noe lavt. Til sammenlikning har en nylig vedtatt standard for kompost i Canada tillatt inntil 500 mg Zn og 100 mg Cu per kg TS til høyeste kvalitetsklasse av kompost (OME 2017). Hvis vi regner oss tilbake til det opprinnelige tørrstoffinnholdet i gjødsla, ville innholdet av Zn og Cu vært henholdsvis ca. 120 og 30 mg, noe som er godt under grenseverdiene.

Feilkilder

Utgangspunktet for forsøksperioden var at biogassproduksjonen skulle være stabil over en periode som tilsvarte tre oppholdstider. Dette ble ikke oppnådd på grunn av skumdannelse nevnt ovenfor. Det er mulig at skummingen kan tilskrives et utslipp av melk i gjødselsystemet. Et annet problem var at det ble tilført vaskevann i perioden, noe som medførte lavt og svært varierende tørrstoffinnhold i gjødsla.

På grunn av vanskeligheter med omrøringsutstyr i fjøset og dårlig flyt av gjødsel ut fra fjøset, ble uttak av prøver svært usikre, og variasjonene mellom prøver ble store. Spesielt prøver som er analysert på COD var dessverre beheftet med store usikkerheter. Dette har gjort at massebalanse-beregninger ikke har vært mulig å gjennomføre.

Målingene av gassproduksjon ble ikke akkumulative, og produksjonstillene er derfor basert på gjennomstrømningsverdier ved gitte måletidspunkt. Akkumulert gassproduksjonen er derfor svært usikker, og man har derfor valgt å ikke beregne massebalanse.

Gass-sammensetning, og intern energibruk fremstår som relativt sikre målinger med en målefeil på +/- 2 %.

Konklusjoner

Dataene som er innhentet i forsøket ved Tingvoll Gard representerer ikke er en stabil driftssituasjon. Til tross for dette bekrefter forsøket tidligere erfaringer. Vasking av fjøset gav lavt tørrstoffinnhold i gjødsla, men mest sannsynlig med en stor andel lett-omsettelig organisk materiale. I tillegg ble forsøksperioden ødelagt av skumming og driftsproblemer, slik at det var en periode mellom uke 31 og 38 med svært ustabil drift.

- Mye av den ustabile driften kan tilskrives problemer med gjødselhåndteringen i tilknytning til fjøset. En gjennomtenkt utforming av gjødselhåndtering i fjøset og oppfølging av dette er derfor avgjørende for å kunne oppnå stabil gassproduksjon og drift.
- Spesifikk metangassutbytte var kunstig høyt på grunn av den ovennevnte situasjonen i fjøset. Spesifikk metanproduksjon ble estimert til 0,31-0,55 m³/kg VS. Tidligere forsøk har hatt variasjoner mellom 0,12 og 0,22 m³/kg VS.
- I perioden i juli da biogassproduksjonen var mest stabil varierte nedbrytningsgraden 24,7 og 40,7 %.
- Generelt gir storfegjødsel lite energi per volumenhet. I denne testen var TS-innholdet begrenset og produsert energi i kilowatt-timer viser relativt lave verdier fra 164 – 227. Det vil derfor være nødvendig med et tilleggsråstoff for å øke gassproduksjonen nok til at et slikt anlegg kan være økonomisk drivverdig. I de periodene under forsøket det var drift av anlegget, varierte tørrstoffinnholdet mellom 2,2 og 4,8 %. Den organiske belastningen beregnet til 0,5 – 1,21 kg VS/m³ reaktorvolum og dag. Normalt ville man forvente at gjødsla inneholdt 6 – %, og da ville den organiske belastningen være på ca. 2 kg VS/m³ reaktorvolum og dag.
- Internbruk av energi både til oppvarming av substrat, og energi til pumper, og omrørere ble målt til 16,2 kWh/uke og m³ reaktor. Energibruken for å holde anlegget i gang er relativt høy, med samme energimengde brukt for å flytte og distribuere varmen som for å varme opp råstoffet. Årsaken er at pumpene i anlegget på Tingvoll er noe overdimensjonert samtidig som arealet på varmevekslerne er noe begrenset. Varmetapet i anlegget er betydelig og kunne vært begrenset med kortere rørføringer både for varmetilførsel av vann og for flytting av gjødsl inn og ut av tanker m/u oppvarming.
- Stirlingmotoren på Tingvoll Gard leverer nær opptil spesifikasjonene fra leverandøren. Tester viste at ca. 25 av energien ble levert som elektrisitet og 75 % som varme.
- Analyse av bioresten viser at innhold av sink og kobber i bioresten er høyere enn grenseverdien for klasse 0 i gjeldende gjødselvereforskrift.

Litteraturreferanser

Deublein, D., Steinhauser, A., 2008, Biogas from Waste and Renewable resource: An introduction. Wiley-VCH Verlag, Weinheim, 2008.

Fjørtoft, K, Morken, J, Hanssen, JF., Briseid, T., 2014, Methane production and energy evaluation of a farm scaled biogas plant in cold climate area, Bioresource Technology, 169:72-79.

Johansen, A., Pommeresche, R., Riley, H., Løes, AK., 2015, Anaerobic digestion of animal manure – implications for crop yields and soil biota in organic farming., "Nordic View to Sustainable Rural Development", Proceedings of the 25th NJF Congress, Riga, Latvia, 16-18 June 2015 pp.97-102 ref.8

Kvande, I., Løes, AK., 2014, Energiproduksjon, klimaeffekt og avlingseffekt i et gårdsbasert biogassanlegg, Bioforsk rapport 9, 98,

Morken, J., Fjørtoft, K., Briseid, T., 2015. Agricultural biogas plants - energy balance. Nordic view to sustainable rural development. Proceedings of the 25th NJF Congress, Riga.

Morken, J., Briseid, T., Hovland, J., Lyng, K.-A., Kvande, I. Veileder for biogassanlegg - mulighetsstudie, planlegging og drift, Realtek Rapport 2017

Nicholson FA., Chambers BJ, Williams JR, Unwin RJ 1999. Heavy Metal Contents of Livestock Feeds and Animal Manures in England and Wales. Bioresource Technology 70:23-31.

Ontario Ministry of the Environment (OME) 2017. Ontario Compost Quality Standards. <https://www.ontario.ca/page/ontario-compost-quality-standards>

Rogers P, Murphy, W 2000. Levels of Dry Matter, Major Elements (calcium, magnesium, nitrogen, phosphorus, potassium, sodium and sulphur) and Trace Elements (cobalt, copper, iodine, manganese, molybdenum, selenium and zinc) in Irish Grass, Silage and Hay. <http://homepage.eircom.net/~progers/0forage.htm#silcompt>

Solli, L., Bergersen, O., Sørheim, R., Briseid, T., 2014, Effects of a gradually increased load of fish waste silage in co-digestion with cow manure on methane production, In Waste Management, 34, 8: 1553-1559

Sleteng ES 2017. Mineraler i grovfôr og behovsnormene. Buskap 2-2017. <https://grovfornett.nlr.no/fagartikler/mineraler-i-grovfor-og-behovsnormene/>

Thorn, S., 2009, Cleanergy gas module specification, Document no 631012-004

Nøkkelord:

Biogass, følgeforskning produksjon og drift, egenskaper biorest

Key words:

Biogas, Documentation of process performance, digestate properties

**Andre aktuelle
publikasjoner fra
prosjekt:**



Norsk senter for økologisk landbruk, NORSØK er ei privat, sjølvstendig stifting.
Stiftinga er eit nasjonalt senter for tverrfaglig forskning og kunnskapsformidling for å utvikle økologisk landbruk.

NORSØK skal bidra med kunnskap for eit meir berekraftig landbruk og samfunn.
Fagområda er økologisk landbruk og matproduksjon, miljø og fornybar energi.

Norsk senter for økologisk landbruk / Gunnars veg 6 / NO-6630 TINGVOLL / Telefon: +47 930 09 884 / E-post: post@norsok.no

Rapport

SUSTAINABLE INNOVATION

Forfattere: Simon Alexander Saxegård, Aina Elstad Stensgård og Hanne Lerche Raadal

Rapportnr.: OR.01.18

ISBN: 978-82-7520-770-6

ISSN: 0803-6659

Følgeforskning: Tingvoll

Miljø- og økonomianalyse

Rapportnr.: OR.01.18

ISBN nr.: 978-82-7520-770-6

Rapporttype:

ISSN nr.: 0803-6659

Oppdragsrapport

Rapporttittel:

Følgforskning Tingvoll

Miljø- og økonomianalyse

Forfattere: Simon Alexander Saxegård, Aina Elstad Stensgård og Hanne Lerche Raadal

Prosjektnummer: 182504

Prosjekttittel: Følgforskning Tingvoll

Oppdragsgivere:

Innovasjon Norge

Oppdragsgivers referanse:

Guri Bjønnes Hotvedt

Emneord:

- Biogass
- Økonomi
- Miljø
- Klimanytte
- Sambehandling

Tilgjengelighet:

Åpen

Antall sider inkl. bilag:

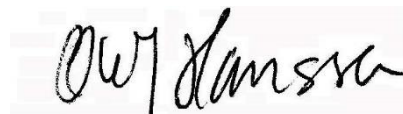
34

Godkjent:

Dato: 04.01.2018

Prosjektleder

Forskningsleder



Ole Jørgen Hanssen

Hanne Lerche Raadal

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	1
1 Innledning	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Forutsetninger og avgrensninger	6
2 Datagrunnlag og metodikk	7
2.1 Metodikk	7
2.1.1 Metodikk miljøanalyse	7
2.1.2 Metodikk økonomianalyse	8
2.2 Datagrunnlag	9
2.2.1 Datainnhenting og -kilder	9
2.2.2 Substratmengder og -egenskaper	9
2.2.3 Biogass- og biogjødselproduksjon	10
2.2.4 Energibruk	11
2.2.5 utfordringer ved datainnsamling	12
3 Miljøanalyse	14
3.1 Resultater klimagassutslipp	14
3.2 Resultater energi	17
3.3 Resultater fosfor og nitrogen	18
4 Resultater økonomi	19
4.1 Investeringskostnader og -støtte	19
4.2 Årlig resultat	21
4.3 Dekningsgrad og nullpunktomsetning (Scenario 3)	23
4.4 Nåverdi og internrente	25
4.5 Klimakostnad	26
5 Diskusjon og oppsummering	28
2 Referanser	30
Vedlegg 1	31
Vedlegg 2	32
Vedlegg 3	33

Sammendrag

Tingvoll biogassanlegg har mottatt midler fra Innovasjon Norge for investering og følgeforskning av biogassanlegget på Tingvoll gard. Formålet med støtten er å tilrettelegge for testing av teknologi for biogass basert på andre råstoff enn våtorganisk avfall fra husholdninger, i dette tilfellet storfegjødsel og fiskesåpe, og dermed bidra til fremtidige teknologiske forbedringer og kostnadsreduksjoner for produksjon av biogass.

Denne rapporten er en del av følgeforskningen av biogassanlegget på Tingvoll, og dokumenterer anleggets økonomi og klimanytte. Målet med følgeforskningen er å evaluere om anlegget gir netto energiutbytte og klimanytte som forutsatt ved planlegging, samt evaluere økonomien i anlegget og bidra til kompetanseoverføring til aktører i bransjen.

Biogassanlegget på Tingvoll Gard ble bygget i 2011, og første testkjøring av anlegget var i slutten av 2012. Anlegget går i dag på storfegjødsel (monobehandling), men skal etter planen sambehandle storfegjødsel og fiskesåpe. Sambehandlingen er vesentlig forsinket som følge av utfordringer knyttet til godkjenning av fiskesåpe som substrat til biogassanlegg. Anlegget gir, med dagens målte driftsdata, vesentlig lavere biogassutbytte enn forutsatt som følge av at driften har vært preget av uønskede uregelmessigheter.

Med bakgrunn i dette, er miljøanalysene gjennomført for følgende 3 scenarier for å få frem hvordan resultatene varierer avhengig av driftsforhold og substratsammensetning:

1. Scenario1: Dagens løsning med monobehandling av storfegjødsel og forventet normaldrift.
2. Scenario2: Dagens løsning med monobehandling og målt drift (kun miljøanalyse)
3. Scenario 3: Fremtidig løsning med sambehandling av storfegjødsel og fiskesåpe og forventet normaldrift.

For økonomi, derimot, er det kun gjennomført analyser for forventet normaldrift ved monobehandling (Scenario 1) og sambehandling (Scenario 3). Det kan stilles spørsmål til om Scenario 2 (Målt drift ved monobehandling) burde vært analysert også med hensyn på økonomi.

Resultatene for årlig netto klimanytte viser at forventet normaldrift med monobehandling (Scenario 1) kommer best ut, men forskjellene mellom scenariene er relativt små. Hovedårsaken til dette er at erstattet alternativ behandling av storfegjødsel medfører klart størst bidrag til netto klimapåvirkning, og mengden som årlig erstattes er den samme i alle alternativene.

Resultatene for primærenergi viser, i motsetning til resultatene for klimagassutslipp, at det er store forskjeller mellom de tre analyserte scenariene fordi det her er mengde produsert biogass som er av størst betydning for resultatene. Scenario 3 (sambehandling) medfører klart størst netto primærenergi som følge av at mengde biogass produsert er klart størst i dette scenarioet.

Dette viser at det er viktig å vurdere flere miljøindikatorer enn klimagassutslipp dersom man skal gjøre en helhetlig miljøvurdering av ulike alternativer løsninger og driftsforhold.

Økonomianalysene viser at anleggets netto nåverdi for Scenario 1 og Scenario 3 er henholdsvis -3,48 og -1,40 Mill NOK, med en internrente (Scenario 3) på -3,9 %. Dette betyr at anlegget, med drift- og

utviklings- og investeringsstøtte, ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomt ved forutsetningene om årlig energiproduksjon og salgspriser for el og varme i denne rapporten. Årlig driftsresultat er beregnet til ca. –280 000 NOK og 102 000 NOK for henholdsvis Scenario 1 og Scenario 3. Netto klimakostnad for biogassanlegget er 77 NOK/tonn CO₂-ekv for Scenario 1 og 48 NOK/tonn CO₂-ekv for Scenario 3.

Det er viktig å poengtere at resultatene i stor grad avhenger av driftsforholdene ved biogassanlegget, og at de derfor må vurderes og evalueres i lys av dette.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Biogassanlegget på Tingvoll Gard eies av Norsk senter for økologisk landbruk (NORSØK). Anlegget behandler i dag storfe gjødsel fra økologisk melkeproduksjon på Tingvoll Gard, som i fremtiden skal samråtnes med fiskesåpe fra GC Rieber Oils AS. Anlegget produserer biogass til elektrisitet og varme og biorest, som alternativ behandling for direkte spredning av ubehandlet biogjødsel på Tingvoll gard.

Som et ledd i stortingets klima- og miljøarbeid har Klima- og miljødepartementet bevilget midler til Innovasjon Norge for investeringer i- og følgeforskning av fullskala pilotanlegg for biogass. Formålet med støtten er å tilrettelegge for testing av teknologi for biogass basert på andre råstoff enn våtorganisk avfall fra husholdninger og dermed bidra til framtidige kostnadsreduksjoner for produksjon av biogass.

Biogassanlegget på Tingvoll Gard har mottatt utviklingsstøtte fra Innovasjon Norge, og er en av biogassanleggene med status som nasjonalt pilotanlegg. Denne rapporten er en del av følgeforskningen av anlegget, og dokumenterer anleggets økonomi og klimanytte. I tillegg til støtte fra Innovasjon Norge, har biogassanlegget mottatt investeringsstøtte fra Enova.

Målet med følgeforskningen er å evaluere om anlegget gir netto energiutbytte og klimanytte som forutsatt ved planlegging, samt evaluere økonomien i anlegget og bidra til kompetanseoverføring til aktører i bransjen. Denne rapporten er en av 2 detaljrapporter om Tingvoll biogassanlegg. I tillegg har NORSØK utarbeidet en energi- og massebalanserapport (Kvande & Morken, 2017).

1.2 Forutsetninger og avgrensninger

Økonomi- og miljøanalysene av biogassanlegget på Tingvoll Gard tar utgangspunkt i to scenarier:

1. Scenario1: Dagens løsning med monobehandling av storfe gjødsel og forventet normaldrift.
2. Scenario2: Dagens løsning med monobehandling og målt drift (kun miljøanalyse)
3. Scenario 3: Fremtidig løsning med sambehandling av storfe gjødsel og fiskesåpe og forventet normaldrift.

Anlegget behandler i dag kun storfe gjødsel, men er bygd for sambehandling. De to scenariene bygger på beregnede verdier fra målinger i lab og litteratordata. Det skyldes at anlegget har hatt vært gjennom flere ombygginger og at man i testperioden i 2016 fikk problemer med råstoffet og ikke oppnådde stabil drift. For begge scenariene produserer anlegget varme og el av biogassen, og biogjødslet utnyttes i landbruket.

Tabell 1-1 viser forutsetningene for de to scenariene som inngår i miljø- og økonomianalysen av Biogassanlegget på Tingvoll gard. Produsert varme og elektrisitet er beregnet ut fra oppgitt substratmengde, energibruk, oppholdstid andel biogass faklet og biogasspotensialer fra labmålinger og litteratur.

Tabell 1-1 Forutsetninger for scenarioanalysene av miljø- og økonomi for Biogassanlegget på Tingvoll gard.

Biogassanlegget på Tingvoll Gard.	Scenario 1: Monobehandling storfe gjødsel	Scenario 3: Sambehandling storfe gjødsel og fiskesåpe	Enhet
Våtorganisk avfall fra næring (fiskesåpe)	0	37	Tonn
Storfe gjødsel	730	730	Tonn
SUM Substrat	730	767	Tonn
Biogass produsert	15 129	52 163	Nm3
Varme produsert	60 725	235 936	kWh
El produsert	22 658	88 036	kWh
Biogjødsel	1 075	1963	Tonn
Andel faklet	2,6%	2,6%	Andel

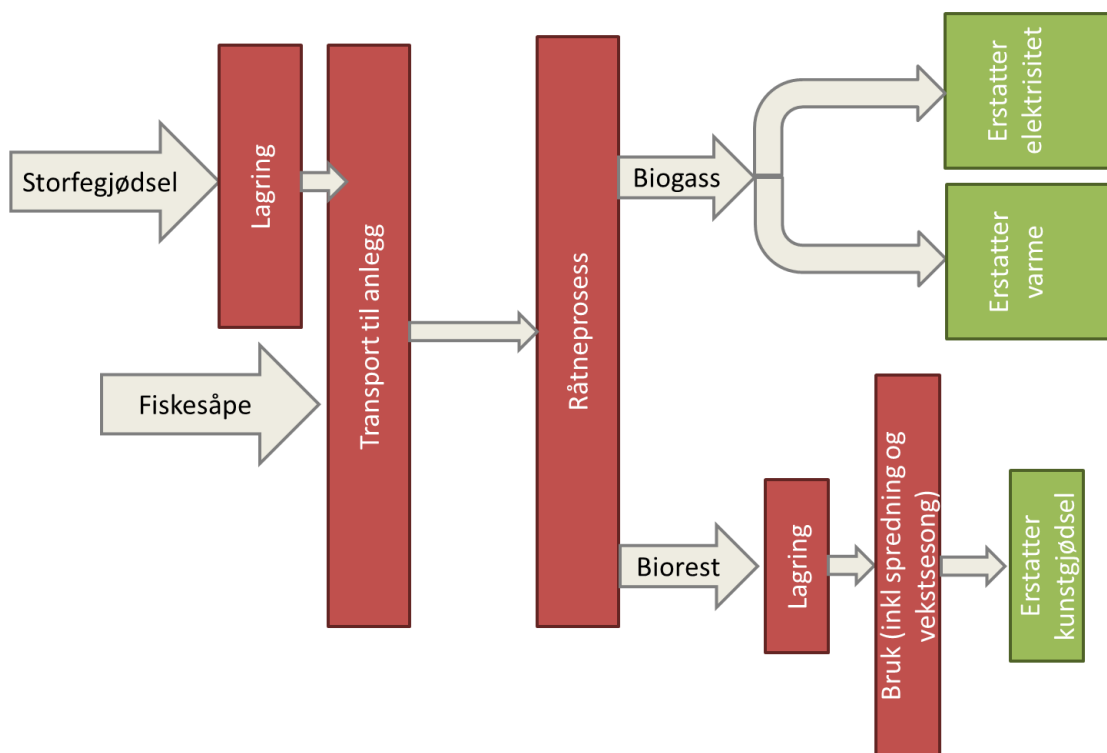
2 Datagrunnlag og metodikk

2.1 Metodikk

2.1.1 Metodikk miljøanalyse

Miljøanalysen av Biogassanlegget på Tingvoll Gard tar utgangspunkt i de to scenariene, separatbehandling av storfegjødsel) og sambehandling av fiskesåpe og storfegjødsel, samt et tilleggsscenario der dages drift analyseres. Miljøanalysen omfatter klimagasser og gjenvinningsgraden av næringsstoffene nitrogen og fosfor samt et overordnet energiregnskap.

Miljøanalysen bygger på livsløpsanalyse (LCA), og er gjennomført i henhold til ISO 14044: 2006. Analysen tar for seg klimabelastningen knyttet til innsamling (transport), forbehandling og behandling av de ulike substratene, samt foredling og levering av varme, elektrisitet og biogjødsel. Direkte utslipp i form av bl.a. metanlekkasjer er inkludert, og fordelt på verdikjedeleddene der utslippene oppstår. De ulike livsløpsfasene er illustrert i Figur 2-1, der pilene illustrerer massestrømmene, røde bokser indikerer livsløpsfaser som bidrar til utslipp og grønne bokser er livsløpsfaser som bidrar til utslippsreduksjoner (substitusjonseffekter).



Figur 2-1 Livsløpsfaser for miljøanalysen av Biogassanlegget på Tingvoll Gard. Røde bokser indikerer utslipp, grønne bokser indikerer unngåtte utslipp.

Direkte- og indirekteutslipp knyttet til bygging og vedlikehold av selve anlegget ikke inkludert. Substitusjonseffekter (unngåtte klimagassutslipp) knyttet til bruk av biogass og biogjødsler inkludert ved at biogassen erstatter varme (fra elektrisitet) og elektrisitet, og at biogjødsel fra

storfegjødsel erstatter bruk av ubehandlet gjødsel (avvik fra figuren over). Biogjødsel fra fiskesåpe har ingen substitusjonseffekt som følge av at næringsinnholdet (N) i fiskesåpe forutsettes å være minimalt

Beregninger av masse- og energistrømmer er gjennomført i verktøyet OWSTT (Organic waste substrate treatment tool) utviklet ved NTNU og beskrevet av Saxegård & Baxter (2016). OWSTT er tilpasset LCA-modellen BioValueChain (BVC) som er utviklet av Østfoldforskning i samarbeid med Tel-Tek, NIBIO og NMBU, Modahl et al. (2016).

2.1.2 Metodikk økonomianalyse

Økonomianalysen tar utgangspunkt et kommersielt Tingvoll-anlegg uten forsknings-, utviklings- og testaktivitetene. Dette er for å belyse det økonomiske potensialet for et biogassanlegg som Tingvoll.

Økonomianalysen, - som miljøanalysen, tar utgangspunkt i de to forhåndsdefinerte scenariene (monobehandling av storfegjødsel og sambehandling av gjødsel og fiskesåpe). Analysen vurderer anleggets bedriftsøkonomi for de to scenariene, både med- og uten støtteordninger. Støtteordningene som er vurdert er investeringsstøtte fra Enova, utviklingsstøtte fra Innovasjon Norge, samt tilskudd for levering av storfegjødsel til biogassanlegg. Andre støtteordninger som juridiske virkemidler o.l. er ikke vurdert, da det er usikkert hvordan fravær av disse virkemidlene vil påvirke økonomien til anlegget.

Merk at økonomianalysen kun ser på økonomien for biogassanlegget på Tingvoll Gard. Eventuelle kostnader oppstrøms- eller nedstrøms for anlegget er ikke vurdert.

2.2 Datagrunnlag

2.2.1 Datainnhenting og -kilder

Datagrunnlaget er basert på verdier og beskrivelser gitt av Norsøk v/Ingvar Kvande samt litteraturdata. Resultatene i denne rapporten er spesifikk for Biogassanlegget på Tingvoll Gard, og er ikke representativ for biogassanlegg generelt. Resultater, tallgrunnlag og systemgrenser kan være svært forskjellig fra anlegg til anlegg og fra år til år.

Norsøk har levert data over mengde mottatt substrat (tonn våtvekt), substrat egenskaper (TS og metanutbytte) mengde produsert varme og elektrisitet, mengde levert biogjødsel med tilhørende egenskaper, transportavstander, årlig energiforbruk, -vannforbruk samt forbruk av mikronæring. Norsøk har også vært involvert i diskusjoner, kvalitetssikring og forståelse av datagrunnlaget.

Som en del av følgeforskningen har Norsøk og NMBU gjennomført masse- og energibalanse av anlegget. I denne studien ble det registrert driftsproblemer knyttet til maskinfeil og andre inhiberende effekter som skumming, nedgang i pH samt lav innmating av substrat (Kvande & Morken, 2017). Målt biogassutbytte og nedbrytningsgrad for samtlige forsøk preges av disse problemene og derfor anses disse målingene ikke som realistiske ved normal drift (Kvande & Morken 2017).

Grunnet stor variasjon mellom forventet biogassproduksjon og resultater fra forsøk, samt store usikkerheter knyttet til forsøkene, er det valgt å kjøre to scenarier basert på beregnede verdier og litteraturdata. Scenario 1 er monobehandling av storfegjødsel og scenario 2 er sambehandling av storfegjødsel og fiskesåpe.

2.2.2 Substratmengder og -egenskaper

Biogassanlegget på Tingvoll Gard mottok i 2017 totalt 730 tonn våt vekt (v.v) storfegjødsel. Basert på angitte verdier for tørrstoff-andel (TS%) for substratet, tilsvarer anaerob behandlet mengde 43,8 tonn TS. Mottatte og behandlede mengder våtvekt (tonn) og andel tørrstoff for de to substratene og scenariene er vist i

Tabell 2-1.

Tabell 2-1 Mottatte og behandlede mengder (tonn) avfall i våtvekt (v.v) og tonn TS samt TS-andel for behandlede mengder fordelt på de to scenariene.

Substrat Monobehandling	Mottatte mengder (tonn v.v)	Behandlede mengder (tonn TS)	TS (%)
Storfegjødsel	730	43,8	6 %
Totalt ved monobehandling	730	0	6 %
Substrat Sambehandling	Mottatte mengder (tonn v.v)	Behandlede mengder (tonn TS)	TS (%)
Næring våtorganisk (fiskesåpe)	37	37	98,9 %
Storfegjødsel	730	43,8	6,0 %
Totalt ved sambehandling	767	80,8	6,0 %

2.2.3 Biogass- og biogjødselproduksjon

i innledningen viser målte verdier og beregnede verdier for biogassproduksjonen ved biogassanlegget på Tingvoll Gard ved monobehandling og sambehandling. Som nevnt har situasjonen frem til i dag ved Tingvoll vært preget av lite operativ forventet normaldrift på grunn av en rekke faktorer nærmere forklart i Norsøk rapporten (Kvande & Morken 2017). Det ble derfor etter samtale med Ingvar Kvande avtalt at miljø og økonomianalysene skulle ta utgangspunkt i beregnede verdier for forventet normaldrift basert på informasjon fra rapportene Ward (2012), Kvande & Løes (2014), Kvande & Morken (2017). Det er antatt at datagrunnlaget fra disse vil gi mest sannsynlige biogassutbytter ved normaldrift.

En sammenstilling av beregnede verdier (presentert i Tabell 1-1) samt ulike lab-utbyttmålinger og forventet utbytte er presentert i

Tabell 2-4 og forklart i delkapittel 2.2.5.

Som vist i tabell

Tabell 1-1 er det stor forskjell mellom beregnet biogassutbytte ved monobehandling av storfegjødsel sammenliknet med sambehandling av storfegjødsel og fiskesåpe. Årsakene til den store økningen i biogassutbytte for sambehandling er mange, men de viktigste er:

- Høyt biogassutbytte for fiskesåpe (720 L CH₄/ kg TS).
- Lavere biogassutbytte for storfegjødsel (260 L CH₄/ kg TS).
- Høyt TS innhold i fiskesåpe sammenliknet med storfegjødsel (se Tabell 2-1).
- Høy andel VS i fiskesåpe (99,2%), (høyere enn TS).
- Forventet sambehandlingseffekt på 1,3 %.
- Økt behandlet mengde TS ved sambehandling.

Sambehandling av storfegjødsel og fiskesåpe gir et estimert biogasspotensial på 450 L CH₄ / kg vektet TS, noe lavere verdi enn studien Ward 2012 oppgir (470 L CH₄ / kg vektet TS for samme substratsammensetning). Forskjellen mellom anvendt verdi og verdi fra litteraturen skyldes hydraulisk oppholdstid (HRT) som for anvend verdi er 30 dager mot 90 dager i Ward 2012. Ser en på figur 6 i studien Ward 2012 ligger anvendt verdi noe høyere enn gjennomsnittsverdien etter 30d HRT.

Det antas at 100 % av fiskesåpen brytes ned i løpet av oppholdstiden. Selve nedbrytningsprosessen har lav aktivitet de første dagene etterfulgt av 20 dager med høy biogassproduksjon og rask nedgang i forventet utbytte et sted mellom dag 21 og 25. Ut i fra figur 6, Ward (2012), produseres omtrent 90% av biogassutbyttet i løpet av de første 30 dagene. Økt innhold av fiskesåpe vil forlenge perioden med lav aktivitet, øke nødvendig oppholdstid for å oppnå 90% av biogasspotensialet, men samtidig øke biogasspotensialet betraktelig innen 60 dagers HRT. Ved for stor andel av fiskesåpe vis å vi storfegjødsel, kan fiskesåpen medføre flere inhiberende effekter som ustabil pH, skumming samt NH₃ formering.

Tabell 2-2 viser målte og beregnede verdier for tonn biogjødsel, ubehandlet substrat, andel tørrstoff (TS) i biogjødslet, samt andel og tonn TS nitrogen og fosfor ved monobehandling og sambehandling. Beregnede verdier er merket oransje.

Tabell 2-2 Beregnede mengder biogjødsel, relativ og absolutt mengde TS og andel nitrogen og fosfor for de to scenariene.

Mengder ut biogjødsel	Monobehandling	Sambehandling	Enhet
Biogjødsel levert ut (tonn)	1 074	1 963	Tonn
Biogjødsel TS (%)	2,26%	1,21 %	Andel
Biogjødsel TS (Behandlet)	24,3	23,8	Tonn
Nitrogen (% av TS)	7,0%	7,15 %	Andel
Nitrogen levert ut	1700	1700	kg
Fosfor (% av TS)	1,1 %	1,2 %	Andel
Fosfor levert ut	276	276	kg

Det er store forskjeller i bioresten for de to analyserte substratsammensetningene mht. egenskaper og mengder. Næringsinnholdet forventes å være lavere per tonn TS ved introduksjon av fiskesåpe. Ved sambehandling produseres mer våtvekt biorest med lavere TS sammenliknet med monobehandling av storfegjødsel. Årsaken til at sambehandling i dette tilfellet gir lavere mengde TS i bioresten, er at det forventes en sambehandlingseffekt i tillegg til at 100% av TS-innholdet i fiskesåpen brytes ned og blir til gass. Dette er mulig fordi målinger av VS for fiskesåpen gir en høyere andel VS enn TS, noe som indikerer at det er en del flyktig tørrstoff i fiskesåpen (Ward 2012). Nedbrytningsgraden for monobehandling er estimert til 44%, mot 71% ved sambehandling.

2.2.4 Energibruk

Tingvoll biogass oppgir et årlig energibruk på 67 900 kWh, hvorav 13 000 kWh er knyttet til direkte elektrisitet og 54 900 kWh er varme fra elektrisitet.

For monobehandling og sambehandling blir elektrisitetsforbruket per tonn TS behandlet materiale henholdsvis 1550 kWh og 840 kWh.. Det er ikke opplyst om at elektrisitetsforbruket forventes å øke ved introduksjon av fiskesåpe (sambehandling).

I Tabell 2-3 presenteres beregnet energiregnskap for Tingvoll Gard, samt hele verdikjeden.

Tabell 2-3 Energiregnskap for de to scenariene ved Tingvoll Gard

	Monobehandling	Sambehandling	Enhet
Energiforbruk, kun biogassanlegg	67 917	67 917	kWh
Energiforbruk, hele verdikjeden	68 517	69 144	kWh
Energiproduksjon biogass	81 798	323 971	kWh

Siden det er forutsatt at energiforbruket er likt i biogassanlegget ved monobehandling og sambehandling, er det kun energi forbundet med transport av fiskesåpe som vil øke energibruken gjennom verdikjeden i de to scenariene. Som følge av at anleggets energiproduksjon er større enn total energibruk gjennom verdikjeden, medfører anlegget netto energiproduksjon. Dette gjelder for begge scenariene, men er klart størst i sambehandlingsscenariet

2.2.5 utfordringer ved datainnsamling

Datainnsamlingen knyttet til følgeforskningsprosjektet på Tingvoll har tidvis vist seg utfordrende ettersom driften av anlegget ennå ikke har hatt tilnærmet forventet normaldrift. Dette har medført at en rekke energi- og masseverdier i analysene basert på labforsøk, maksimalbelastning for biogassmotor og Norsøks egne forsøk i normalskala fremfor reelle driftsdata. Variasjon i kildegrunnlag gjør at energi- og massebalanser, som forklart i Kvande & Morken 2017, ikke er balansert og korreksjoner etter dypdykk i eventuelle ubalanser var nødvendig.

Samtidig er det utfordrende å gjøre målinger på masse og energibalanser for anaerob utråtning ettersom det er konstant variasjon i nedbrytningsrater og -grader, samt individuelle substratvariasjoner, selv for et spesifikt substrat som storfegjødsel (Kvande & Morken 2017).

Store variasjoner i datagrunnlaget for prognoser gir store forskjeller energi- og materialstrømmene som igjen vil påvirke miljø- og økonomianalysene.

Tabell 2-4 viser stor differanse mellom forventede og målte verdier, hvorpå beregnede verdier gir forventet utbytte ved normaldrift for de ulike substratsammensetningene. De store forskjellene mellom forventet utbytte og målt utbytte skyldes forventninger om at fiskesåpe skulle bli godkjent som substrat av Mattilsynet, samt at gassturbinen var flaskehalsen, noe som har vist seg å ikke være tilfelle.

Hovedutfordringene kan oppsummeres som følger: Enkelte målinger for biogassutbytte fra fullskala anlegg har resultert i unormalt høye verdier, som beskrevet i Kvande & Morken 2017. I rapporten forklares at noen av årsakene til dette skyldes:

- Heterogen miks av storfegjødsel og annet lett nedbrytbart organisk materiale fra gården.
- Lett nedbrytbare organiske forbindelser i spevann fra gjødselkjeller.
- Organisk klumping i bioreaktor, medførende varierende tilgang på nedbrytbart substrat.
- Store variasjoner for enkeltmålinger.

I en rekke andre fullskala målinger er det observert gjennomgående lav nedbrytningsgrad. I

Tabell 2-4 er det presentert forventet utbytte fra prosjektfasen av biogassanlegg sammenlignet med forutsetninger og antakelser som tilsvarer de 3 analyserte scenariene.

Tabell 2-4 Forventet, målt og beregnede biogassutbytter

Forutsetninger	Forventet utbytte	Scenario 2: 29% nedbrutt TS ved mono-utråtning	Scenario 1: 44% nedbrutt TS ved utråtning mono-utråtning	Scenario 3: 71% nedbrutt TS ved utråtning sambehandling	Enhet
----------------	-------------------	--	--	---	-------

Mengde produsert	52 429***	6 085*	15 866*	52 163**	Nm ³
Mengde rågass faklet	1 363	263	412	1 315	Nm ³
Varme produsert	221 512	38 720	59 570	231 448	kWh
Elektrisitet produsert	82 654	14 448	22 228	86 361	kWh
Andel rågass faklet %	2,6%	2,6%	2,6%	2,6%	Andel

* 59% CH⁴ (metaninnhold i biogass), ** 75% CH⁴, *** 65% CH⁴

Ser en på målt og beregnet (tre siste kolonner) drift, mot forventet utbytte (første kolonne), er det store forskjeller i energiproduksjon. Dette skyldes at det forventes en normal nedbrytningsgrad av storfegjødsel på omtrent 44% (Ward 2012) med metanutbytte på 260L/ kg VS, mens nedbrytningsgraden i forsøkene ble målt til gjennomsnittlig 29% hvorpå metanutbytte blir 169 L / kg VS. Som referanse er 326 L CH⁴/ kg VS lagt til grunn ved 100% utråtning av VS, en verdi justert opp i fra 316 L CH⁴ kg VS for sambehandling av storfegjødsel i sambehandling med bleaching soil (Ward 2012).

Det er i denne studien antatt at forventet produksjon vil ligge opp mot biogassmotorkapasiteten i et best-case scenario og at det derfor er lite sannsynlig at motoren vil være den begrensende faktoren i anlegget, såfremt samme mengde substrat og sammensetning er gjeldende. En økning i andel fiskesåpe, eller total mengde behandlet substrat, kan føre til at biogassmotoren gjør seg gjeldende som flaskehals i anlegget, men dette er lite sannsynlig ved monobehandling av storfegjødsel.

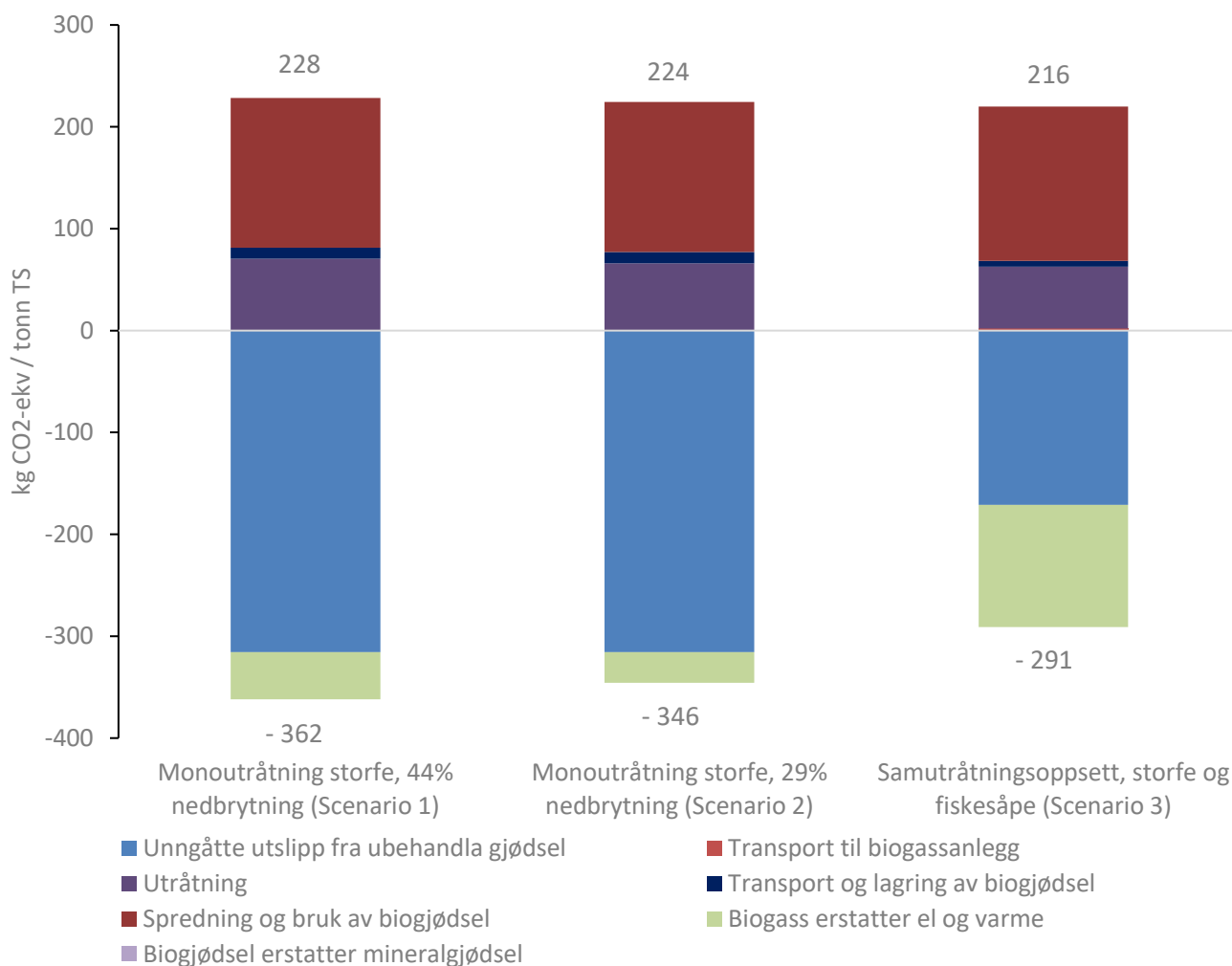
Skumming har vist seg å bidra til store driftsmessige problemer, et kjent problem for flere anlegg. Dette kan løses ved å bl.a. tilsette skumdemper inn i forbehandlings- eller buffertanken. Andre problemer, som er delvis knyttet til skumming, er varierende pH som kan justeres ved tilsetning av kalkpulver eller natronlut (NaOH). Kalk har god pH buffer egenskaper og gir en stabil pH over tid, men kan raskt føre til forkalkning i rørsystemene. Natronlut egner seg bra til å øke pH, men kan være kostbar og gir store økninger i pH over korte tidsrom. Driftsmessig er det viktig å ha god kontroll på hva som mates inn på reaktor slik at en har god styring på hva som kan forventes produsert av biogass og biorest til enhver tid. På denne måten kan en unngå store avvik mellom forventet produksjon og faktisk produksjon. Samtidig kan det være økonomisk lønnsomt på sikt å kartlegge tidsbruk og reparasjonsbehov i de forskjellige fasene i biogassbehandlingen (eksempelvis for fasene forbehandling, utråtning, biogass rensing og bruk, biorest behandling og spredning) slik at en kan finne ut hva som forbruker mest økonomiressurser og hvor det kan være lønnsomt å endre praksis eller teknologi. For å oppnå god miljønytte samt forholdsmessig god økonomi er kontinuerlige driftsperioder essensielt for å unngå uforholdsmessige store kostnader og produksjonstap.

3 Miljøanalyse

3.1 Resultater klimagassutslipp

For Tingvoll gard er klimanytten beregnet for tre scenarier per tonn TS behandlet materiale (storfe gjødsel separat eller storfe gjødsel og fiskesåpe sambehandlet). Disse tre scenariene viser resultater for klimagassutslipp beregnet drift ved monobehandling av storfe gjødsel ut fra estimerte verdier ved antatt normal drift (Scenario 1), for målte verdier ved dagens drift (Scenario 2), samt for beregnet drift ved sambehandling ut fra estimerte verdier ved forventet normal drift (Scenario 3).

Figur 3-1 viser klimaeffekten knyttet til de tre scenariene. Ettersom biogassen utnyttes til å erstatte norsk elektrisitet, enten direkte eller indirekte i form av varme, er det liten forskjell på klimanytten for dagens situasjon og forventet situasjon ved monobehandling av storfe gjødsel. Klimanytten ved sambehandling av storfe gjødsel og fiskesåpe blir nærmest halvert ettersom fiskesåpen bidrar til netto klimabelastning som per TS reduserer netto miljønytte relativt til 100% storfe gjødsel.



Figur 3-1 Klimavirkinger av biogassanlegget på Tingvoll gard inkl. sparte klimautslipp knyttet til substituert energi og behandling.

Per tonn TS klimanytten beregnet til å være henholdsvis **-134 CO2-ekv** og **-121 kg CO2-ekvivalenter** for Scenario 1 (forventet normal drift ved monobehandling) og Scenario 2 (målt drift dagens situasjon). Ved sambehandling og forventet normal drift er klimanytten beregnet til **- 71 kg CO2-ekv / tonn TS**.

Kilden til den største klimapåvirkningen er spredning og bruk av biogjødsel, hvor det nyttes diesel som drivstoff og hvor spredningen medfører lystgassutslipp. Nest største utslippkilde for klimagasser er knyttet til prosessen i biogasstanken som inkluderer direkte utslipp fra reaktorer, vann- og energibruk samt direkte utslipp tilknyttet rensing av biogassen før bruk. Direkte utslipp fra renseprosessen er antatt minimal (0,1%) ettersom gassen kun går igjennom et kullfilter før den mates inn i gassmotoren.

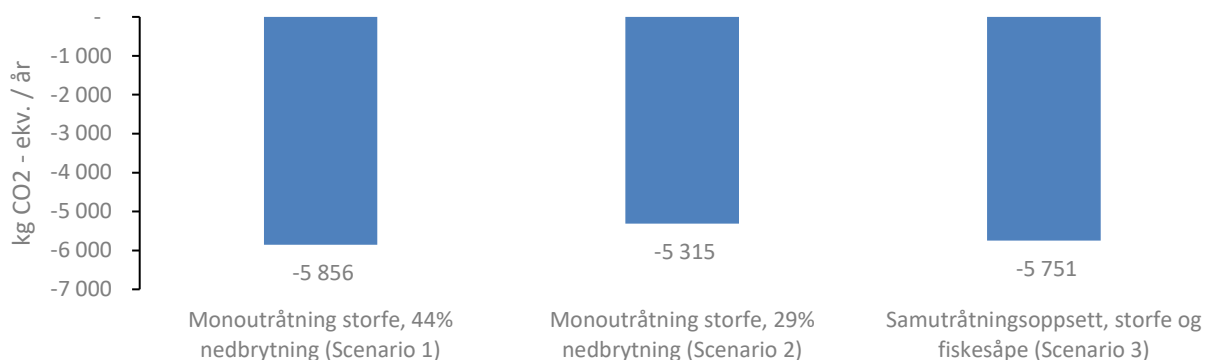
Lagring av biorest ved Tingvoll gard har lave klimapåvirkninger ettersom bioresten blir nedkjølt før lagring, hvilket gir en vesentlig reduksjon i metanutslipp fra lagertanken for biogjødsel (Kvande & Løes 2014). Det er i studien forutsatt at klimagassutslipp fra spredning av storfegjødsel og biogjødsel fra storfegjødsel er de samme.

Unngåtte klimagassutslipp knyttet til lagring av storfegjødsel ved alternativ behandling bidrar mest til klimanytte per tonn TS behandlet materiale. Erstattet mengde storfegjødsel er den samme i Scenario 1 og 2 (per tonn TS), og netto klimanytte fra denne aktiviteten blir dermed lik. Dette er hovedårsaken til at netto klimanytte i Scenario 1 og 2 blir tilnærmet lik i Scenario 1 og 2 til tross for den store forskjellen i produsert mengde biogass. Produksjon av elektrisitet og varme for monobehandling av storfegjødsel bidrar til relativ liten klimanytte som følge av at relativt «rene» energikilder blir erstattet (norsk elektrisitmiks). Andre anvendelsesområder for biogassen er ikke analysert i dette studiet, men tidligere studier (Modahl et al. 2016, Saxegård & Baxter 2016) indikerer at biogass som drivstoff eller naturgasserstatning gir en vesentlig større klimanytte enn ved å erstatte norsk elektrisitet.

Sambehandlings-scenariet gir lavest klimanytte av de tre scenariene, fordi bidraget fra unngått klimagassutslipp fra storfegjødsel er vesentlig lavere per tonn TS materiale. Årlig vil sambehandlings-scenariet bidra til like store unngåtte klimagassutslipp fra lagring av storfegjødsel som monobehandling, ettersom total mengde storfegjødsel er det samme for scenariene. I sambehandlings-scenariet er det vesentlig høyere klimanytte knyttet til erstattet elektrisitet og varme (til tross for at «rene» energikilder erstattes) ettersom det produseres fire ganger så mye energi sammenlignet med forventet normaldrift for monobehandling av storfegjødsel (Scenario 1).

Storfegjødsel vil, uavhengig av om det behandles i biogassanlegg eller ikke, spres på jorden som gjødselmiddel og dermed oppnå en karbonlagringseffekt knyttet til tungt- og ikke nedbrytbart karbon i plantematerialet. Biogjødselen blir derfor ikke tillagt klima- eller miljønytte for tilført nitrogen og karbon på jorden fra storfegjødsel, som følge av at dette antas likt som alternativ behandling av storfegjødsel. Det er ikke tillagt noen karbonfangst for fiskesåpe, fordi det er antatt at nedbrytningsgraden er tilnærmet 100%, og at det derfor ikke er noe gjenværende karbon etter biogassbehandlingen.

Figur 3-2 viser netto klimavirkninger per år for de tre scenariene.



Figur 3-2 Netto klimanytte per år for de tre scenariene.

Som beskrevet over, er hovedårsaken til at biogassanlegget bidrar til klimanytte at behandlingen reduserer direkte utslipp av klimagasser fra gjødselekjeller ved alternativ behandling (lagring og direkte spredning).

Som figuren viser, er det liten forskjell på årlig klimafotavtrykk ved monobehandling og forventet drift med sambehandling, til tross for at det i sistnevnte scenario behandles vesentlig mer organisk materiale. Årsaken til dette er at netto klimanytte i hovedsak er et resultat av reduksjon av direkte utslipp ved alternativ behandling av storfegjødsel (lagring og spredning), og dette er like stort i begge scenariene.

3.2 Resultater energi

Primærenergi er en utvidet benevnelse for energibruk akkumulert gjennom hele verdikjeden. Figur 3-3 viser primærenergi for de tre scenariene ved Tingvoll Gard. I figuren er energi knyttet til forbruk av elektrisitet og varme hos Tingvoll gard inkludert i Utråtning.

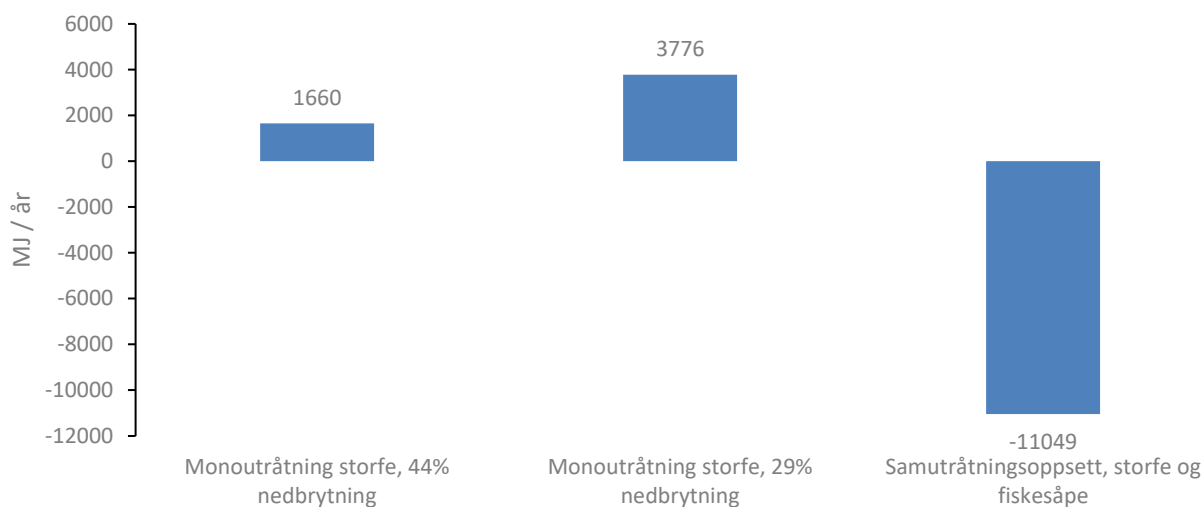


Figur 3-3 Primærenergi for de tre scenariene ved Tingvoll Gard.

Figuren viser at mesteparten av energibruken er knyttet til selve biogassanlegget, mens en mindre andel er knyttet til spredning av biogjødsel.

Videre sees at erstatningspotensialet for energi for Scenario 2 (29% nedbrytning) utgjør ca 64% av potensialet for Scenario 1 (44% nedbrytning) som følge av at mengde biogass produsert er vesentlig større i Scenario 1. Videre sees at sambehandlings-scenariet (Scenario 3) gir mer enn 2,5 ganger større energierstatningspotensiale sammenlignet med Scenario 1.

Figur 3-4 viser årlig netto primærenergi for de tre analyserte scenariene.



Figur 3-4 Netto primærenergi på Tingvoll biogassanlegg.

Figuren viser at det, i motsetning til resultatene for klimagassutslipp, er store forskjeller i netto primærenergi fra de tre analyserte scenariene, som følge av ulike biogassproduksjoner.

Dette viser at det er viktig å vurdere flere miljøindikatorer enn klimagassutslipp dersom man skal gjøre en helhetlig miljøvurdering av ulike alternativer.

3.3 Resultater fosfor og nitrogen

Resultatene for gjenvinning av næringsstoffene nitrogen og fosfor er relativt stabilt per tonn TS behandlet substratsom vist i tabell 3-1.

Tabell 3-1 Gjenvinningsgrad av næringsstoffer ved Tingvoll Gard.

Næringsgjenvinning	Nitrogen, fra råtnetank	Nitrogen, gjenværende etter spredning	Nitrogen, plante-tilgjengelig etter spredning	Fosfor	Enhet
Monobehandling, 44% av TS	99,6 %	78,2 %	66,5 %	90 %	Andel
Monobehandling, 29% av TS	99,6 %	78,2 %	66,5 %	90 %	Andel
Sambehandling, 71% av TS	99,6 %	78,2 %	68,6 %	90 %	Andel

Gjenvinningsgraden for nitrogen er avtagende fra det kommer ut av reaktor til det er spredt på jorden fordi det forventes nitrogenavgassing fra biorestlager og fra spredning. Data for avgassing er basert på litterære kilder for nitrogen avgassing fra Amon et al. (2006) og Bernstad & Jansen (2011).

4 Resultater økonomi

4.1 Investeringskostnader og -støtte

Som nevnt i metodekapittelet tar økonomianalysen ikke utgangspunkt i reelle påløpte investeringskostnader for Tingvoll-anlegget, men bygger i stedet på estimerte kostnader basert på en kommersiell versjon av anlegget. Dette skyldes at biogassanlegget i dag fungerer som et anlegg for forskning, utvikling og testing av biogassteknologi og andre fornybare energiløsninger (Tingvoll Sol- og Bioenergiserter (www.sologbio.no)).

Økonomianalysene gir en sammenlikning av anleggets økonomi basert på separatbehandling av storfe gjødsel (Scenario 1, dagens løsning ved forventet normaldrift) og sambehandling av storfe gjødsel og fiskesåpe (Scenario 3, forventet fremtidig drift). Deretter vurderes anleggets bedriftsøkonomi for de to scenariene, både med- og uten støtteordninger. Støtteordningene som er vurdert er investeringsstøtte fra Enova, utviklingsstøtte fra Innovasjon Norge, samt tilskudd for levering av storfe gjødsel til biogassanlegg. Andre støtteordninger som juridiske virkemidler o.l. er ikke vurdert, da det er usikkert hvordan fravær av disse virkemidlene vil påvirke økonomien til anlegget.

I og med at anlegget er bygd for å motta både fiskesåpe og storfe gjødsel, er det vanskelig å beregne investeringskostnader for anlegget dersom det hadde blitt bygd som et monobehandlingsanlegg. Norsøk har oppgitt at total investeringskostnad muligens hadde vært 100 000 NOK lavere om anlegget ikke skulle tatt imot fiskesåpe, men usikkerheten er stor, og det er derfor ikke gjort en egen investeringsanalyse for monobehandling.

Som nevnt innledningsvis er anlegget finansielt støttet av Innovasjon Norge og Enova. Via Enova mottok anlegget støtte for utbygging av varmesentral for utnyttelse av biogassen, mens støtten fra Innovasjon Norge gikk til utbyggingen av selve biogassanlegget.

Tabell 4-1 viser investeringskostnadene med og uten støtte fra Enova og Innovasjon Norge fordelt på kostnadskomponent for biogassanlegget.

Tabell 4-1 Investeringskostnader med og uten støtte fordelt på kostnadskomponent for biogassanlegget på Tingvoll gard.

Kostnadskomponent	Uten støtte	Inkl. støtte
Transport av gjødsel til biogass-anlegg	181 250	108 750
Fortank	86 750	52 050
Råtnetank og kjøletank	1 627 446	976 468
Varmepumpe	276 250	165 750
Gasshåndtering	368 875	221 325
Gassmotor	300 000	228 000
Arbeider	850 000	510 000
Containere	70 625	42 375
Diverse	609 529	365 717
SUM	4 370 725	2 670 435

Total investeringskostnad for anlegget havnet på 4,37 Mill NOK uten støtte og 2,67 Mill NOK inkl. støtte. Til sammen utgjorde støttesatsene 39 % av total investeringskostnad.

Kostnadene fordeler seg på Råtnetank og kjøletank (37 %), Arbeider (19 %), Diverse (14 %) og Gasshåndtering (8%).

Ett av vurderingskriteriene som ofte brukes ved tildeling av investeringsstøtte er spesifikke investeringskostnader (investeringskostnad per energienhet (NOK/kWh). Tabell 4-2 viser summen av investeringskostnader og energiproduksjon, samt spesifikke investeringskostnader (NOK/kWh) for monobehandling av storfe gjødsel (scenario 1) og sambehandling av storfe gjødsel og fiskesåpe (scenario 2).

Tabell 4-2 Investeringer, energiproduksjon og spesifikk investeringskostnad for de to scenariene.

	Scenario 1: Monobehandling	Scenario 3: Sambehandling	Enhet
Investering	4,37	4,37	Mill NOK
Energiproduksjon	83,38	323,97	MWh/år
Spesifikk investeringskostnad	52,42	13,49	NOK/kWh

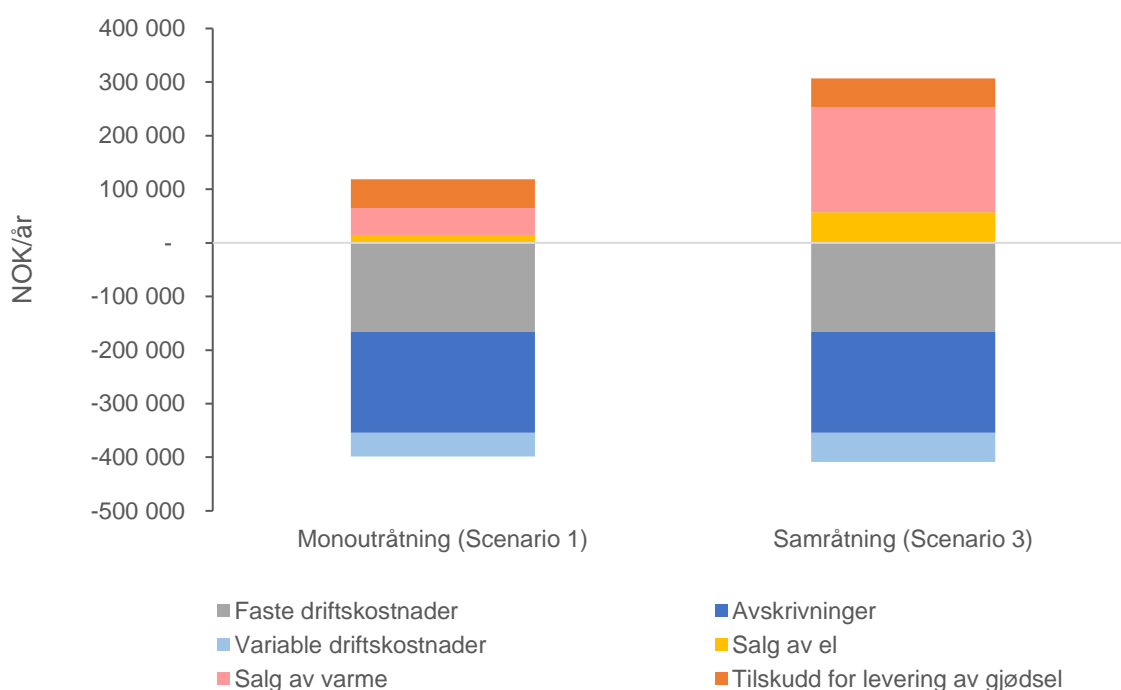
For de to scenariene utgjør spesifikk investeringskostnad henholdsvis 52,42 og 13,49 NOK/kWh for monobehandling av storfe gjødsel (Scenario 1) og sambehandling av storfe gjødsel og fiskesåpe (Scenario 3). Grunnet økt biogassutbytte ved sambehandling er spesifikk investeringskostnad betydelig bedre for sambehandlings-scenariet, men det ligger fremdeles relativt høyt sammenliknet med Enovas hovedportefølje som har ligget mellom 1,4 til 4,5 NOK/kWh.

Den spesifikke investeringskostnaden er nyttig for å sammenlikne prosjekter med like inntekter og utgifter, men forteller oss lite noe om lønnsomheten i et prosjekt. I tillegg til investeringskostnadene, er lønnsomheten avhengig av driftskostnader og driftsinntekter, som til sammen utgjør årsresultatet i et prosjekt. Neste kapittel ser nærmere på dette.

4.2 Årlig resultat

Figur 4-1 er en forenklet illustrasjon av driftskostnadene og driftsinntektene fordelt ulike kostnads- og inntektskomponenter for de to scenariene (monobehandling av storfegjødsel og sambehandling av storfegjødsel og fiskesåpe). Positive verdier er inntekter og negative verdier er kostnader. For salg av el og varme er det antatt en salgspris for elektrisitet på 65 øre og 85 øre for varme. Avskrivningene er beregnet ut fra levetid på 20 år og rentesats på 3,5 %.

Verdiene for de to scenariene er beregnet ved å multiplisere enhetskostnader/-inntekter med målt/beregnet produksjon og innsatsfaktorer, og forutsetter like enhetspriser (se Tabell 1-1 i kapittel 1.1).



Figur 4-1 Årlige driftskostnader og driftsinntekter fordelt på komponenter for de to scenariene.

Figuren viser tre inntektskomponenter og tre kostnadskomponenter. Faste drifts- og vedlikeholdskostnader er utgifter knyttet til arbeidskraft, forsikring og vedlikehold. Variable driftskostnader er kostnader knyttet til bruk av strøm, transport av fiskesåpe og bruk av varme. Det er ingen kostnader knyttet til kjøp av substrat eller inntekter i form av behandlingskostnad (gate-fee).

Figuren viser at driftskostnadene er høyere enn driftsinntektene for begge scenariene. Dette betyr at anlegget ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomt, gitt forutsetningene og datagrunnlaget beskrevet i kapittel 2. Av figuren ser vi at ved sambehandling er inntektene knyttet til salg av varme og el betydelig høyere sammenliknet med scenario 1, monobehandling. Dette skyldes at biogassutbyttet er betydelig større ved sambehandling av fiskesåpe. Samtidig er driftskostnadene ved sambehandling omtrent like høye som ved monobehandling, hvilket fører til at sambehandlings-scenariet har bedre økonomi. Resultatene viser at anleggets lønnsomhet i stor grad er avhengig av sambehandling da dette gir betydelig bedre lønnsomhet.

Som nevnt innledningsvis har Tingvoll Gard totalt mottatt investerings- og utviklingsstøtte tilsvarende ca. 39 % av investeringskostnadene (Enova og Innovasjon Norge). I tillegg til investerings- og utviklingsstøtten mottar anlegget tilskudd for levering av storfe gjødsel til biogassanlegget, som bidrar til å dekke driftskostnadene. I det følgende er økonomien til Tingvoll Gard analysert med- og uten de to støtteordningene, for de to scenariene.

Ut over investeringsstøtten, utviklingsstøtten og tilskuddet per tonn storfe gjødsel, bidrar flere juridiske og administrative virkemidler til bedre rammevilkår og økt konkurransekraft for biogassanlegget. Disse har ikke blitt analysert, da effekten av dem er usikre.

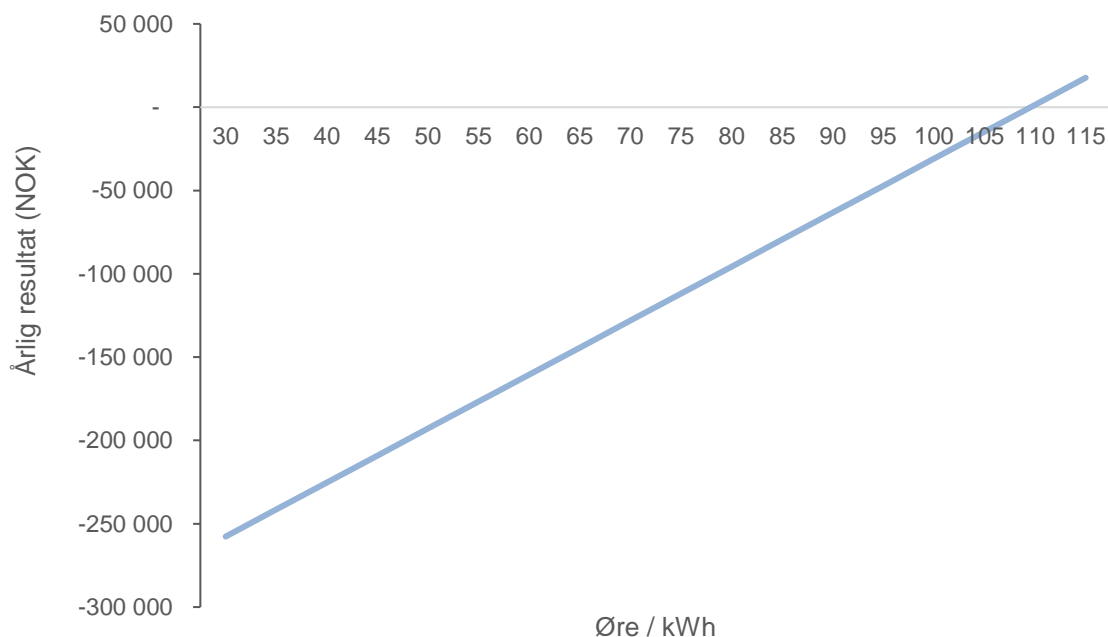
Tabell 4-3 viser årlige kapitalkostnader, driftsresultat og årsresultat for anlegget, med- og uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte for de to scenariene. Årlige kapitalkostnader er beregnet ved 3,5 % rente og 20 års avskrivning.

Tabell 4-3 Årlige kapitalkostnader, driftsresultat og årsresultat for Tingvoll Gard med- og uten investerings, utviklings- og driftsstøtte for de to scenariene.

	Scenario 1: Monobehandling		Scenario 3: Sambehandling	
	Inkludert støtte	Uten støtte	Inkludert støtte	Uten støtte
Kapitalkostnader	- 187 895	- 307 529	- 187 895	- 307 529
Driftsresultat	- 91 864	- 145 434	86 057	32 487
Årlig resultat	- 279 758	- 452 962	- 101 837	- 275 042

Tabellen viser at anlegget ikke oppnår positivt årsresultat i de to scenariene, verken med eller uten støtte. Beregnet drift for sambehandlings-scenariet gir positivt driftsresultat både med og uten drifts-, utviklings- og investeringsstøtte, men kapitalkostnadene overgår driftsinntektene, slik at totalt årsresultat blir negativt. Investerings- og utviklingsstøtten bidrar til ca. 119 000 NOK/år, mens driftsstøtten bidrar med er beregnet til å bidra med ca. 53 500 NOK per år.

Det er noen usikkerheter knyttet til beregningene av årlig resultat og driftsresultat, og salgsprisene for varme og elektrisitet er en av dem. Det er som nevnt antatt en salgspris for elektrisitet på 65/kWh øre og en salgspris for varme på 85 øre/kWh. Det er kjørt en liten sensitivitetsanalyse på energiprisene, og Figur 4-2 viser årlig resultat for Tingvoll gard ved salgspris for el og varme, fra 30 Øre/kWh til 115 Øre /kWh.



Figur 4-2 Årlig resultat for sambehandling (Scenario 3) ved ulike salgspriser for energi (el og varme)

Figuren viser at med dagens forutsetninger knyttet til årlig energiproduksjon og kostnader, vil anlegget oppnå positivt årlig resultat ved salgspris over 110 Øre per kWh. Dette kan blant annet oppnås via elsertifikater.

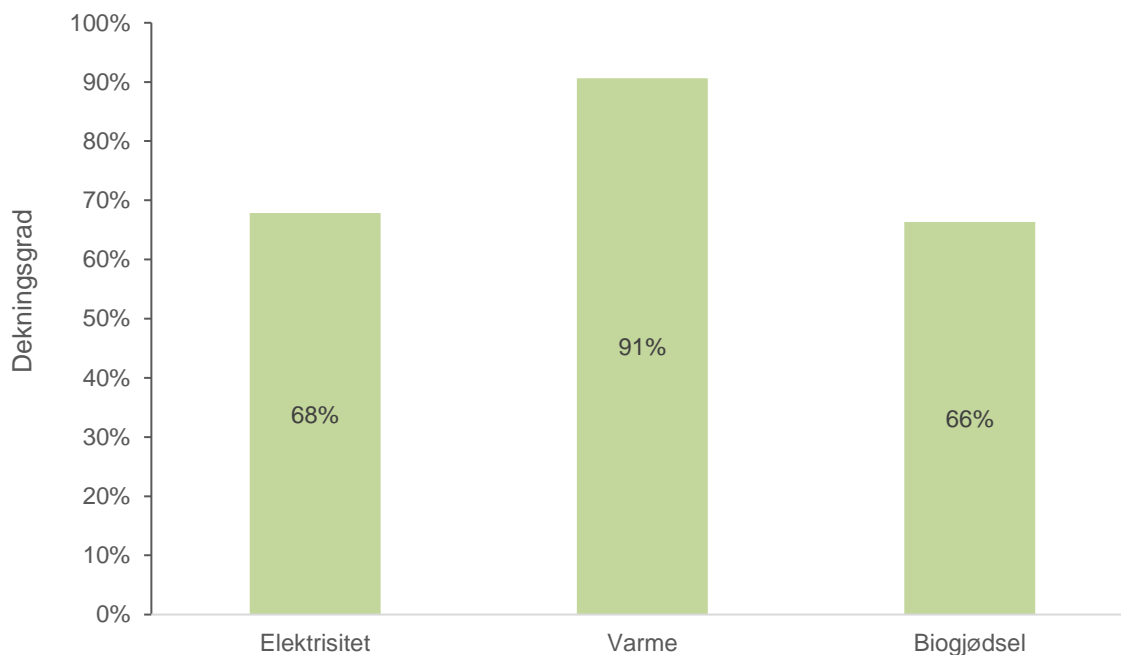
Årsresultatet forteller oss om den totale lønnsomheten i et prosjekt, men forteller oss ikke om økonomien knyttet til de ulike produktene og/eller tjenestene en bedrift selger. For et anlegg som Tingvoll Gard, som produserer flere ulike tjenester og produkter, er det interessant å se på dekningsbidraget eller dekningsgraden (dekningsbidraget i %) knyttet til de ulike produktene/tjenestene. Neste kapittel omhandler dekningsgraden og nullpunktsomsetningen for scenario 2 ved Tingvoll gard (sambehandling).

4.3 Dekningsgrad og nullpunktomsetning (Scenario 3)

Dekningsbidrag er salgsprisen knyttet til et produkt minus variable kostnader, og sier noe om hvor stor del av inntekten som er igjen til å dekke faste kostnader etter at de variable kostnadene er trukket fra. Dersom dekningsbidraget er større enn faste kostnader går bedriften i overskudd (før faste driftskostnader og kapitalkostnader er trukket fra). Dekningsgraden er andelen dekningsbidraget utgjør av salgsprisen, og sier noe om hvor stor andel av salgsprisen som er igjen til å dekke faste kostnader. Tingvoll gard leverer tre ulike tjenester/produkt; elektrisitet, varme og biogjødsel.

Figur 4-3 viser dekningsgraden for produktene/tjenestene som Tingvoll Gard leverer basert på datagrunnlaget for scenario 2, sambehandling. For allokering av variable kostnader er utgifter knyttet til bruk av varme og energi samt transport av fiskesåpe er disse fordelt likt mellom de ulike produktene (1/3 per produkt).

Merk at tjenestene/produktene fra biogassanlegget på Tingvoll i stor grad henger sammen og er avhengige av hverandre. Det er derfor stor usikkerhet knyttet til fordelingen av de variable kostnadene mellom elektrisitet, varme og biogjødsel, og derfor også stor usikkerhet knyttet til beregnet dekningsgrad.



Figur 4-3 Dekningsgrad for elektrisitet, varme og biogjødsel fra Tingvoll Gard (Scenario 3).

Figuren viser at de tre produktene har positiv dekningsgrad. Det betyr at de variable kostnadene dekkes av salgsprisen og de variable kostnadene utgjør ca 34 % - 9 % av salgsprisen, slik at det gjenstår ca. 66 -91 % av salgsprisen til å dekke opp om faste kostnader. Varme er det produktet som har høyest dekningsgrad, hvilket betyr at en større andel av salgsprisen per kWh er tilgjengelig etter at variable kostnader er trukket fra.

Merk at ettersom dekningsgraden angis i prosent, sier figuren ingenting om hvorvidt varme, el eller biogjødsel er mer eller mindre lønnsom sammenliknet med de andre produktene, ettersom salgsprisen (nevneren) varierer.

Nullpunktomsætning, eller "break-even", er omsætningen som verken gir overskudd eller underskudd, og beregnes ved å dele fabrikkens samlede dekningsbidrag på totale faste kostnader. For sambehandlings-scenariet ved Tingvoll Gard er nullpunktomsætningen beregnet til 213 MWh/år (inkludert støtte). Det betyr at så lenge anlegget produserer mer enn 213 MWh årlig, vil driftsresultatet, -uten kapitalkostnader, være positivt (forutsetter driftsstøtte).

4.4 Nåverdi og internrente

Netto nåverdi (NNV) er et uttrykk for dagens verdi av et prosjekt eller investering. Netto nåverdi beregnes ved å diskontere alle fremtidige kontantstrømmer forbundet med et prosjekt, basert på oppgitt avkastnings- eller rentekrav. Ett prosjekt er lønnsomt dersom netto nåverdi er positiv.

Internrenten forteller oss hvilket rentekrav som gir netto nåverdi lik null. Dersom Internrenten i et prosjekt er høyere enn vårt eget avkastningskrav, bør prosjektet gjennomføres.

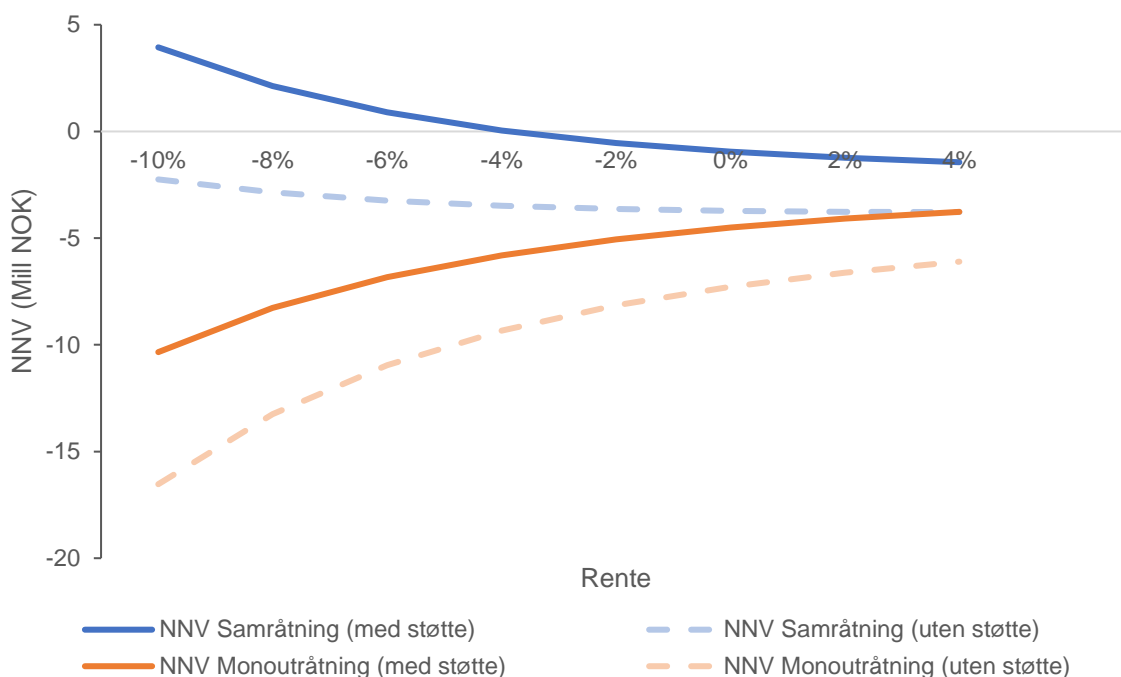
Tabell 4-4 viser netto nåverdi i Mill NOK og internrenten for de to scenariene ved Tingvoll gard, med- og uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte. Netto nåverdi er beregnet ut fra 3,5 % rente og 20 års avskrivning.

Tabell 4-4 Netto nåverdi (Mill NOK) og internrente for de to scenariene ved Tingvoll Gard med- og uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte.

	Scenario 1: Monobehandling		Scenario 3: Sambehandling	
	Inkludert støtte	Uten støtte	Inkludert støtte	Uten støtte
NNV Mill (3,5 % rente)	-3,48 Mill NOK	-6,22 Mill NOK	-1,40 Mill NOK	-3,78 Mill NOK
Internrente	n/a	n/a	-3,9 %	-13,8 %

Tabellen viser at anleggets netto nåverdi er negativ for begge scenariene, både med og uten støtte. Etersom driftsresultatet før avskrivninger er negativ for Scenario 1, monobehandling, er det ikke mulig å beregne internrenten for dette scenariet. For Scenario 3, sambehandling, er internrenten med og uten støtte negativ (- 3,9 % og -13,8 %). Negativ internrente betyr at driftsresultatet ikke kan dekke opp om investeringskostnadene ved den gitte levetiden på anlegget og forutsetningene knyttet til årlig energiproduksjon og salgspriser (20 år).

Figur 4-4 viser Netto nåverdi-profilen for anlegget, med- og uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte (stiplede linjer) for de to scenariene. Figuren er en illustrasjon og oppsummering av tallene i Tabell 4-4.



Figur 4-4 Netto nåverdi-profil (Mill NOK) ved monobehandling og sambehandling for Tingvoll biogassanlegg ved ulike avkastningskrav, med- og uten støtte.

Punktet hvor linjene krysser x-aksen (NN=0) angir internrenten (Tabell 4-4), og ved å trekke en loddrett linje fra ønsket avkastningskrav kan man lese av nåverdien på y-aksen for de ulike scenariene.

4.5 Klimakostnad

Som vist i miljøanalysen bidrar Tingvoll biogassanlegg med netto årlig klimanytte tilsvarende 5 856 kg CO₂-ekvivalenter for Scenario 1, monobehandling, og netto årlig klimanytte tilsvarende 5 750 kg CO₂-ekvivalenter for Scenario 3 sambehandling.

Ved å dele kostnader knyttet til biogassanlegget på årlig klimanytte, får man netto kostnad per tonn CO₂-ekv., et vanlig vurderingsgrunnlag for rangering av ulike klimatiltak og et godt sammenlikningsgrunnlag for ulike biogassanlegg. Ideelt sett skulle man brukt samfunnsøkonomiske kostnader i en slik analyse, da det kan være kostnader nedstrøms eller oppstrøms for anlegget, eller andre eksterne kostnader utover klimanytte (eks. utslipp av partikler og NO_x eller bruk av fosfor). Innenfor rammene av dette prosjektet har det ikke vært mulig å gjøre en samfunnsøkonomisk analyse av anlegget, hvilket betyr at anslaget for klimakostnaden knyttet til Tingvoll Gard ikke nødvendigvis er 100 % sammenliknbar med andre biogassanlegg, eller liknende klimatiltak, men kan gi en indikasjon på anleggets kostnad per tonn CO₂-ekv.

Klimakostnaden er beregnet ved å dele årlige kostnader uten investerings-, utviklings- eller driftsstøtte for Tingvoll Gard på årlig klimanytte.

Tabell 4-5 viser netto årlig klimanytte, årlige kostnader (uten investerings-, utviklings og driftsstøtte) og beregnet klimakostnad (NOK/tonn CO₂-ekv.) for de to scenariene.

Tabell 4-5 **Årlig klimanytte, årlig kostnad uten støtte og klimakostnad for Tingvoll Gard ved monobehandling og sambehandling.**

	Scenario 1: Monobehandling	Scenario 3: Sambehandling	Enhet
Netto klimanytte	- 5 856	- 17 319	tonn CO ₂ -ekv./ år
Årlige resultat uten støtte (3,5 % rente)	- 452 962	- 275 042	NOK / år
Klimakostnad	77	48	NOK /Tonn CO₂-ekv.

Tabellen viser at for Tingvoll Gard er netto klimakostnad 77 NOK/tonn CO₂-ekv for scenario 1 og 48 NOK/tonn CO₂-ekv for scenario 3. Tingvoll biogassanlegg representerer dermed et relativt rimelig klimatiltak (48 NOK/tonn CO₂-ekv.) sammenliknet med beregnet samfunnsøkonomisk kostnad for biogassproduksjon i Norge, tilsvarende ca. 400 NOK/tonn CO₂-ekv. (Pettersen et al. 2017). Det er viktig å poengtere at klimakostnaden ikke inkluderer kostnader nedstrøms eller oppstrøms for anlegget, eller andre eksterne kostnader utover klimanytte (eks. utslipp av partikler og NO_x eller bruk av fosfor), slik at klimakostnaden presentert i tabellen over ikke er direkte sammenliknbar med klimakostnaden knyttet til andre biogassanlegg eller andre klimatiltak.

5 Diskusjon og oppsummering

Biogassanlegget på Tingvoll Gard ble bygget i 2011, og første testkjøring av anlegget var i slutten av 2012. Anlegget går i dag på storfegjødsel (monobehandling), men skal etter planen sambehandle storfegjødsel og fiskesåpe. Sambehandlingen er vesentlig forsinket som følge av utfordringer knyttet til godkjenning av fiskesåpe som substrat til biogassanlegg. Utover dette, gir anlegget, med dagens målte driftsdata, vesentlig lavere biogassutbytte enn forutsatt som følge av at driften har vært preget av uønskede uregelmessigheter. Med bakgrunn i dette, er analysene gjennomført for 3 scenarier for å få frem hvordan resultatene varierer avhengig av driftsforholdene.

Følgende scenarier er analysert for miljøanalysene:

1. Scenario1: forventet normaldrift ved monobehandling, 44% nedbrutt TS
2. Scenario2: Målt drift ved monobehandling, 29% nedbrutt TS
3. Scenario 3: forventet normaldrift ved sambehandling, 71% nedbrutt TS.

For økonomi, derimot, er det kun gjennomført analyser for forventet normaldrift ved monobehandling (Scenario 1) og sambehandling (Scenario 3). Det kan stilles spørsmål til om denne situasjonen også burde vært analysert.

Resultatene for netto årlig klimanytte viser at forventet normaldrift med monobehandling (Scenario 1) kommer best ut, men de årlige forskjellene er relativt små. Hovedårsaken til dette er at erstattet alternativ behandling av storfegjødsel medfører klart størst bidrag til netto klimapåvirkning, og mengden som årlig erstattes er den samme i alle alternativene. Biogassen forutsettes å erstatte elektrisitet og varme basert på elektrisitet, noe som gir en relativt beskjeden klimanytte som følge av at norsk elektrisitetsmix er relativt «ren». Andre anvendelsesområder for biogassen, som ikke er analysert i dette studiet, kan endre dette bildet betraktelig.

Resultatene for primærenergi viser, i motsetning til resultatene for klimagassutslipp, at det er store forskjeller mellom de tre analyserte scenariene fordi det her er mengde produsert biogass som er av størst betydning for resultatene. Andel behandlet TS og nedbrytningsandel spiller begge stor rolle for årlig biogassutbytte og årlig produsert energi. Scenario 3 (sambehandling) medfører klart størst netto primærenergi som følge av at mengde produsert biogass er klart størst i dette scenarioet. Det er ikke oppgitt endringer i energibruket avhengig av om anlegget driftes som sambehandling eller ikke

Dette viser at det er viktig å vurdere flere miljøindikatorer enn klimagassutslipp dersom man skal gjøre en helhetlig miljøvurdering av ulike alternativer løsninger og driftsforhold.

Økonomianalysene viser at anleggets netto nåverdi for Scenario 1 og Scenario 3 er henholdsvis -3,48 og -1,40 mill NOK, med en internrente (Scenario 3) på -3,9 %. Dette betyr at anlegget, med drift- og utviklings- og investeringsstøtte, ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomt ved forutsetningene om årlig energiproduksjon og salgspriser for el og varme i denne rapporten. Årlig driftsresultat er beregnet til ca. -280 000 NOK og -102 000 NOK for henholdsvis Scenario 1 og Scenario 3. Netto klimakostnad for biogassanlegget er 77 NOK/tonn CO₂-ekv for Scenario 1 og 48 NOK/tonn CO₂-ekv for Scenario 3. Sammenlignet med beregnet samfunnsøkonomisk kostnad for biogassproduksjon i Norge på 400 NOK/tonn CO₂-ekv er beregnet klimakostnad for Tingvoll biogassanlegg relativt liten. Det skal likevel bemerkes at kostnadene ikke er direkte sammenlignbare da kostnader nedstrøms eller oppstrøms for

anlegget, eller andre eksterne kostnader utover klimanytte (eks. utslipp av partikler og NOx eller bruk av fosfor) ikke er inkludert i klimakostnadene for Tingvoll.

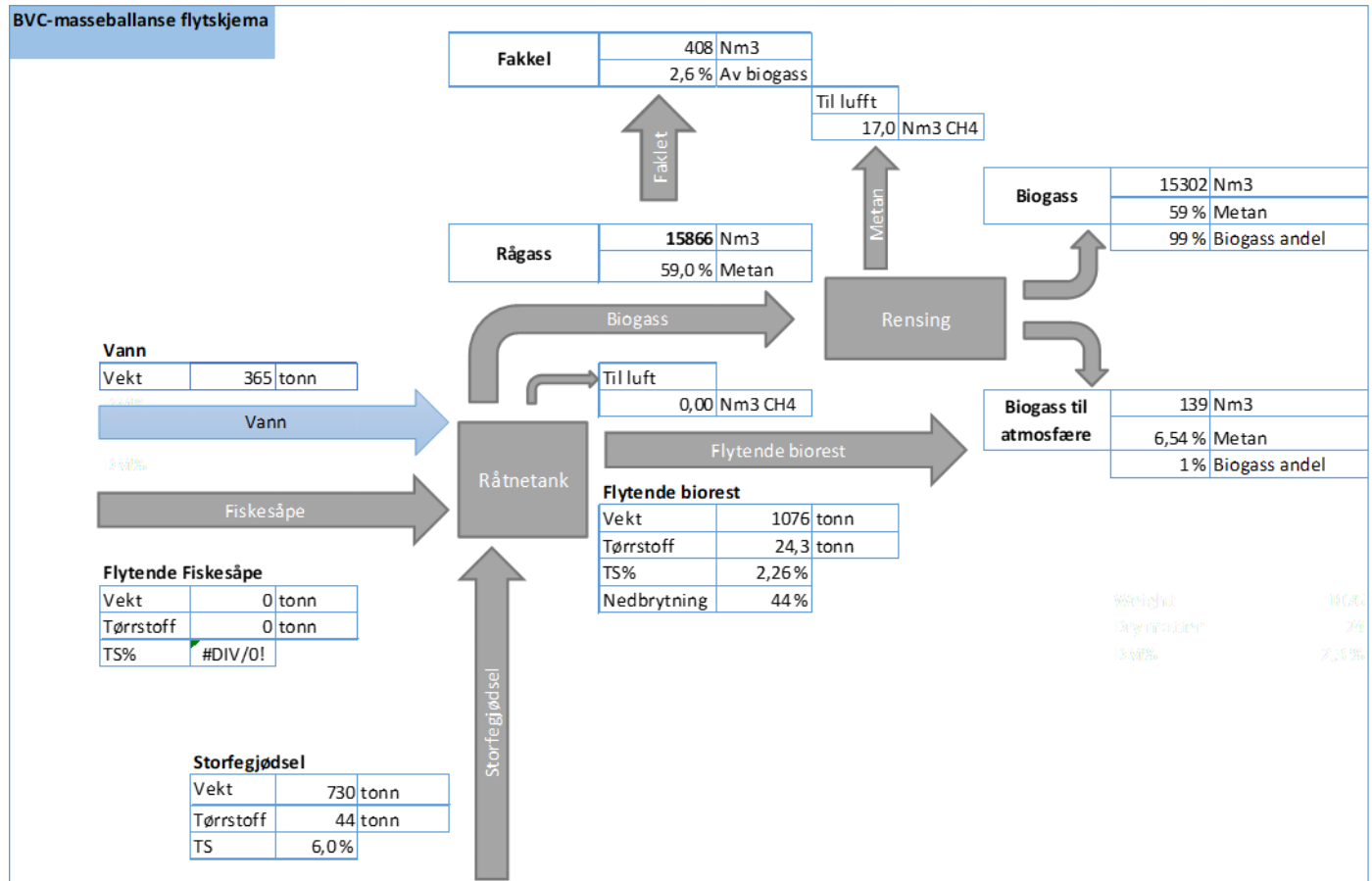
Det er viktig å poengtere at resultatene i stor grad avhenger av driftsforholdene ved biogassanlegget, og at de derfor må vurderes og evalueres i lys av dette. Eventuelle forbedringstiltak for å oppnå stabil kontinuerlig drift er ikke tatt i betraktning i denne studien, men danner et grunnlag for videre forskning.

2 Referanser

- Amon, B. et al., 2006. Methane, nitrous oxide and ammonia emissions during storage and after application of dairy cattle slurry and influence of slurry treatment, Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0167880905004135> [Accessed August 4, 2014]
- Bernstad, A. & Jansen, J. la C., 2011. A life cycle approach to the management of household food waste - A Swedish full-scale case study. *Waste Management*, 31(8), pp.1879–1896.
- Carlsson, M. & Uldal, M., 2009. Substrathandbok för biogasproduktion,
- Karlengen, I.J. et al., (2012). Storfegjødsel ; oppdatering av mengder gjødsel og utskillelse av nitrogen, fosfor og kalium.
- Modahl, I.S., Lyng, K.-A., Møller, H., Stensgård, A., Arnøy, S., Morken, J., Briseid, T., Hanssen, O.J. og Sørby, I. (2015): Biogassproduksjon fra matavfall og møkk fra ku, gris og fjørfe. Status 2014 (fase III) for miljønytte og verdikjedeøkonomi for den norske biogassmodellen BioValueChain. Østfoldforskning AS, OR 34.14, januar 2015.
- Modahl, I.S. et al., (2016). Biogassproduksjon fra matavfall og møkk fra ku, gris og fjørfe Status 2016 (fase IV) for miljønytte for den norske biogassmodellen BioValueChain, Østfoldforskning AS, Fredrikstad. OR.34.14
- Morken, J., (2017). Personlig korrespondanse.
- Pettersen, I. et al., 2017. *Klimatiltak i jordbruk og matsektoren Kostnadsanalyse av fire tiltak*, Ward, A.J., 2012. Biogas potential of soapstock and bleaching earth Biogas potential of soapstock and bleaching earth. , (4).
- Poeschl, M., Ward, S. & Owende, P., 2012. Environmental impacts of biogas deployment – Part II: life cycle assessment of multiple production and utilization pathways. *Journal of Cleaner Production*, 24, pp.184–201.
- Smith, J. et al., 2014. What is the potential for biogas digesters to improve soil carbon sequestration in Sub-Saharan Africa? Comparison with other uses of organic residues. *Biomass and Bioenergy*, 70, pp.73–86.
- Saxegård, S.A. & Baxter, J., 2016. Resource recovery and life cycle assessment in co-treatment of organic waste substrates for biogas versus incineration value chains in Poland and Norway, Østfoldforskning, Fredrikstad.

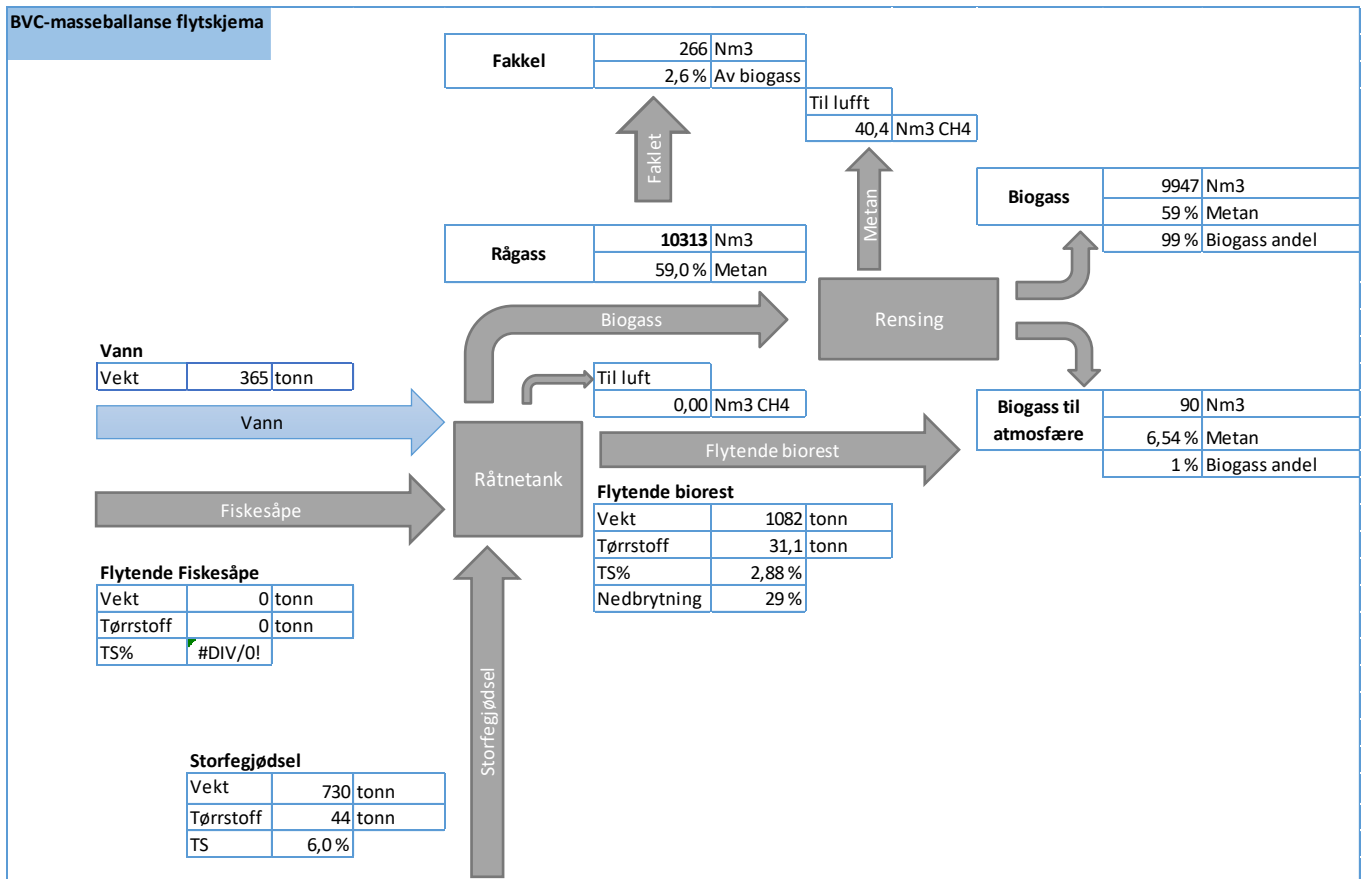
Vedlegg 1

Forventet massestrømmer for Tingvoll året 2017, ved forventet normal drift.



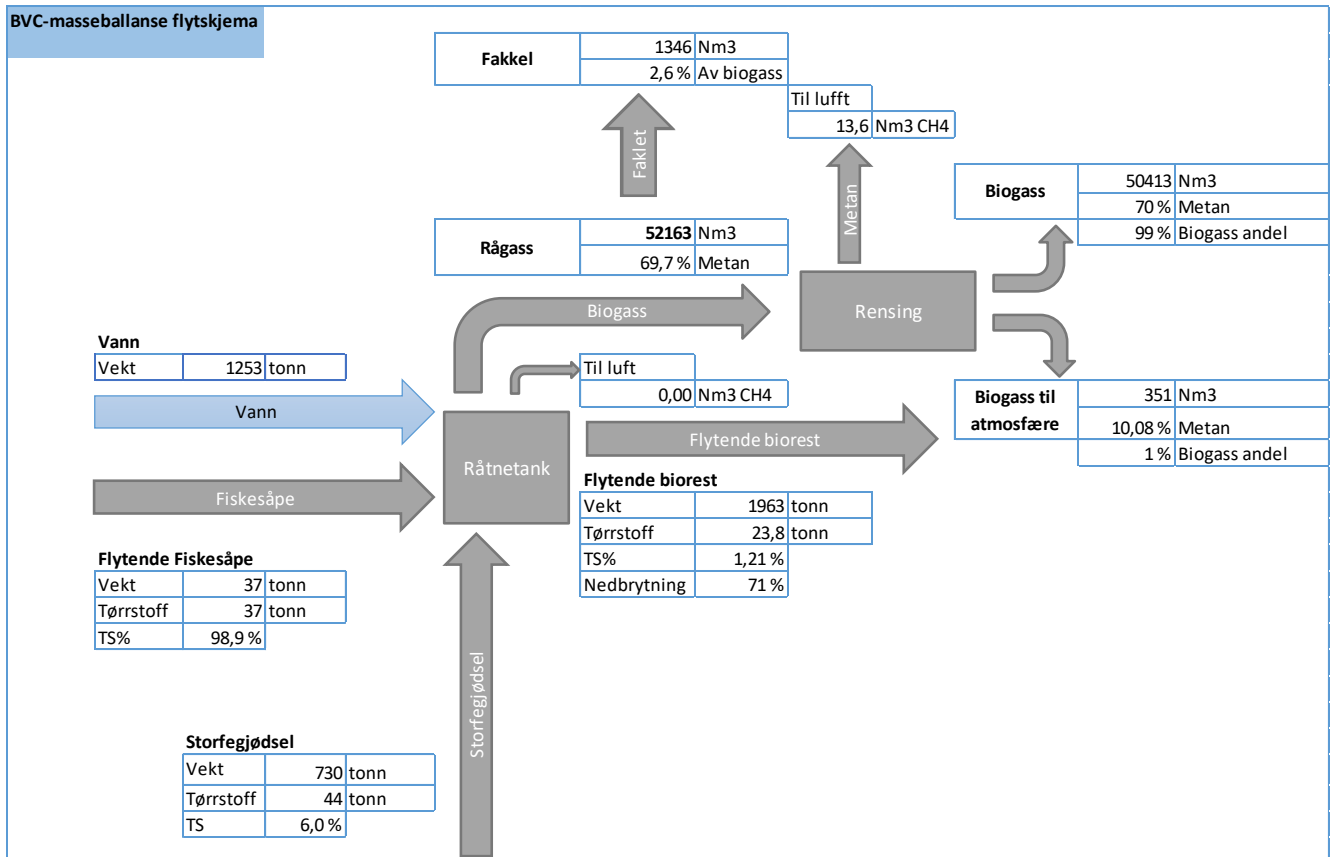
Vedlegg 2

Målte massestrømmer for Tingvoll året 2017, målt nedbrytningsgrad (29%) av storfe gjødsel



Vedlegg 3

Beregnete massestrømmer for Tingvoll fremtidig, ved forventet normal drift og sambehandling.





Gamle Beddingvei 2B
N-1671 Kråkerøy
Telephone: +47 69 35 11 00
Fax: +47 69 34 24 94
firmapost@ostfoldforskning.no
www.ostfoldforskning.no

