

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

2017

ISSN: 1503-9196

REALTEK rapport 57

# Følgforskning Greve Biogass -masse- og energibalanser, økonomi og klimanytte

Forfattere:

John Morken, NMBU  
Tormod Briseid, NIBio  
Jon Hovland, SINTEF Tel-Tek  
Aina Stensgård, Østfoldforskning  
Simon Saxegård, Østfoldforskning





Morken, J., Briseid, T., Hovland, J., Stensgård, A. og Saxegård, S. 2017. **Følgforskning Greve Biogass -masse- og energibalanser, økonomi og klimanytte** - REALTEK Rapport 57, 18 s.

Ås/Oslo, desember 2017

ISSN: 1503-9196

Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse

TILGJENGELIGHET

Åpen

PUBLISERINGSTYPE

Digitalt dokument (pdf)

OPPDRAKSGIVER(E)/BIDRAGSYTER(E)

Innovasjon Norge

KONTAKTPERSON(ER) HOS OPPDRAGSGIVER/BIDRAGSYTER

Guri Hotvedt

FORSIDEBILDE

Foto: Den Magiske Fabrikken

NØKKEWORD

Biogass, massebalanse, energipotensial, klimanytte

KEY WORDS

Biogas, mass balance, energy potential, environmental benefits

John Morken ([johnmo@nmbu.no](mailto:johnmo@nmbu.no)), Tormod Briseid, Jon Hovland, Aina Stensgård, Simon Saxegård.

Fakultet for realfag og teknologi, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, Postboks 5003, NO-1432 Ås

## **Forord**

Følgeforskningen er et samarbeid mellom NIBIO, Tel-Tek (fra 1.12.17 SINTEF Tel-Tek), Østfoldforskning, NORSØK og NMBU (Fakultet for realfag og teknologi). Dette er det første delprosjektet i følgeforskningsprogrammet som er finansiert av Innovasjon Norge. Målinger og beregninger for masse- og energibalanser er utført av Tel-Tek. Østfoldforskning har utført økonomiberegninger samt klimanytteberegninger. NIBIO har utført de analysene som ikke kunne utføres av VestfoldLAB. REALTEK har hatt ledelsen av prosjektet.

Ås 15.12.17

John Morken

## Sammendrag

Rapporten beskriver resultatene fra følgeforskningsprosjektet knyttet til GRENLAND VESTFOLD BIOGASS AS (Greve Biogass). Dette var et prosjekt som var finansiert av Innovasjon Norge som et underprosjekt i følgeforskningsprogrammet.

Rapporten baserer seg på to delrapporter – en fra Tel-Tek og en fra Østfoldforskning som til sammen omhandler anleggets netto energiutbytte og klimanytte evalueres, i tillegg til anleggets økonomi.

Anleggets energiutbytte baserer seg på beregning av massebalanser i periode over 120 dager – februar til og med mai – i 2017. I denne perioden ble mengder av råstoff inn i anlegget registrert. Samtidig ble prøver tatt ut til analyser av innhold av tørrstoff, 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. I denne perioden ble 39 475 tonn behandlet. Dette var en blanding av bløtgjødsel fra svin og storfe, matavfall, industriavfall, næringsavfall og vaskevann. Det gjennomsnittlige tørrstoffinnholdet var 10 %. Den hydrauliske oppholdstiden i anlegget var på 36,5 døgn. Den organiske belastningen på reaktorene var 2,5 kg VS/m<sup>3</sup>\*døgn. Det ble målt et metanutslipp i anlegget på 2,9 % av produsert biogass. Strømforbruket i anlegget tilsvarte 12 % av energi i produsert metan, og det var varmegjenvinning med varmepumpe som tilsvarte 37 % av elektrisk energi som ble brukt. Produksjonen av metan til drivstoff tilsvarte levert energi på 16,2 GWh. Estimert for hele året blir dette 49,3 GWh. Rapporten fra Tel-Tek viste at gjennomsnittlig metanutbytte var 453 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tonn VS ved en nedbrytningsprosent på ca. 57 % av VS. For driftsåret 2016 var metanutbytte noe lavere med 431 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tonn VS ved en nedbrytningsprosent på 79% av VS.

Siden målingene som er foretatt bare er for fire måneder, vil det være usikkerhet ved ekstrapolering til et helt års produksjon. Beregninger av økonomi er av samme grunn også beheftet med usikkerhet, men beregningene av klimanytten for Den Magiske Fabrikken i 2017 ble beregnet til ca. 11 750 CO<sub>2</sub>-ekv. Når dette ses i sammenheng med investeringsøkonomi og driftsøkonomi (inkl. offentlig støtte), ble det beregnet en negativ klimakostnad på ca. 150 NOK/tonn CO<sub>2</sub>-ekv.

## Abstract

The report describes the results from the follow-up project relating to GRENLAND VESTFOLD BIOGASS AS (Greve Biogass). This was a project funded by Innovation Norway as a subproject in the follow-up program.

The report is based on two sub-reports - one from Tel-Tek and one from Østfold Research, which together deal with the plant's net energy yield and economy, in addition climate effects are evaluated.

The energy yield of the plant is based on mass balance calculations over 120 days in 2017. During this period, amounts of raw material into the plant were recorded. At the same time, samples were taken for analyzes of solids, organic solids (calculated as volatile solids) and chemical oxidation demand (COD)). The amount and composition of biogas were also registered. During this period, 39 475 tonnes were processed. This was a mixture of waste from swine and cattle, food waste, industrial waste and washing water. The average solids content was 10%. The hydraulic retention time of 36.5 days. The organic load on the reactors was 2.5 kg VS/m<sup>3</sup>\*day. The methane discharge in the plant was measured at 2.9% of the biogas produced. The electric power requirement in the plant was 12% of the energy produced as methane, and heat recovery using heat pumps was equivalent to 37% of the power consumed. The production of methane for fuel corresponded to delivered energy of 16.2 GWh, and estimation for the whole year was 49.3 GWh. The report from Tel-Tek showed that the average methane yield was 453 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tonnes VS at a degradation rate of approx. 57% of VS. For 2016 the average methane yield was a bit lower of approximately 431 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tonnes VS at a degradation rate of approx. 79% of VS.

Since the measurements have been made for four months, there will be uncertainty in estimating the yearly amount of energy being produced and the amount of energy used internally for the production of biomethane. Calculations of economy are also subject to uncertainty, but the calculations of the climate plant for the Greve biogas plant in 2017 were estimated at approx. 11 748 tonnes CO<sub>2</sub> equivalents. When viewed in conjunction with investment economics and operating economics (including public support), a negative climate cost of approx. 150 NOK/tonnes CO<sub>2</sub> eq was calculated.

## Innholdsfortegnelse

Innledning .....	6
Beskrivelse av anlegget.....	6
Massebalanse .....	8
Energibalanse .....	9
Utslipp.....	10
Økonomi .....	11
Klimanytte.....	14
Konklusjon.....	16
Litteratur .....	18

Vedlegg 1: Hovland, J. & Thomasen, T.W. 2017. Masse- og energibalanse Greve Biogass. Tel-Tek rapport nr. 2217050-1

Vedlegg 2: Stensgård, A.E., Saxegård, S.A., Lyng K.A. og Hanssen, O.J. 2017. Følgforskning Den Magiske Fabrikken - Miljø- og økonomianalyse, *Østfoldforskning rapport OR.24.17*

## 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 Den Magiske Fabrikken (DMF) ligger på Rygg utenfor Tønsberg og eies av Tønsberg kommune. Prosjekteringen og byggingen av anlegget ble utført av Grenland og Vestfold Biogass AS (Greve Biogass), som i dag leier anlegget på langtidskontrakt. Anlegget driftes av Lindum AS.

Den Magiske Fabrikken behandler våtorganisk avfall fra næring og husholdninger på østlandsområdet, samt bløtgjødsel fra husdyr i Vestfold. Av avfallet og husdyrgjødsel produserer anlegget biogass med drivstoffkvalitet og leverer biogjødsel til landbruket i Vestfold for å erstatte bruk av kunstgjødsel. Biogassen utnyttes av renovasjonsbilene i Vesar-området og Renovasjon i Grenland og store deler av bussflåten i Vestfold, Grenland og Mosseregionen.

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 basert på andre råstoff enn våtorganisk avfall fra husholdninger og dermed bidra til framtidige kostnadsreduksjoner for produksjon av biogass. Grenland Vestfold Biogass AS har mottatt utviklingsstøtte fra Innovasjon Norge, og er et 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 rapport fra Tel-Tek (Hovland & Thomassen, 2017), og den andre er rapport fra Østfoldforskning (Stensgård & Saxegård, 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

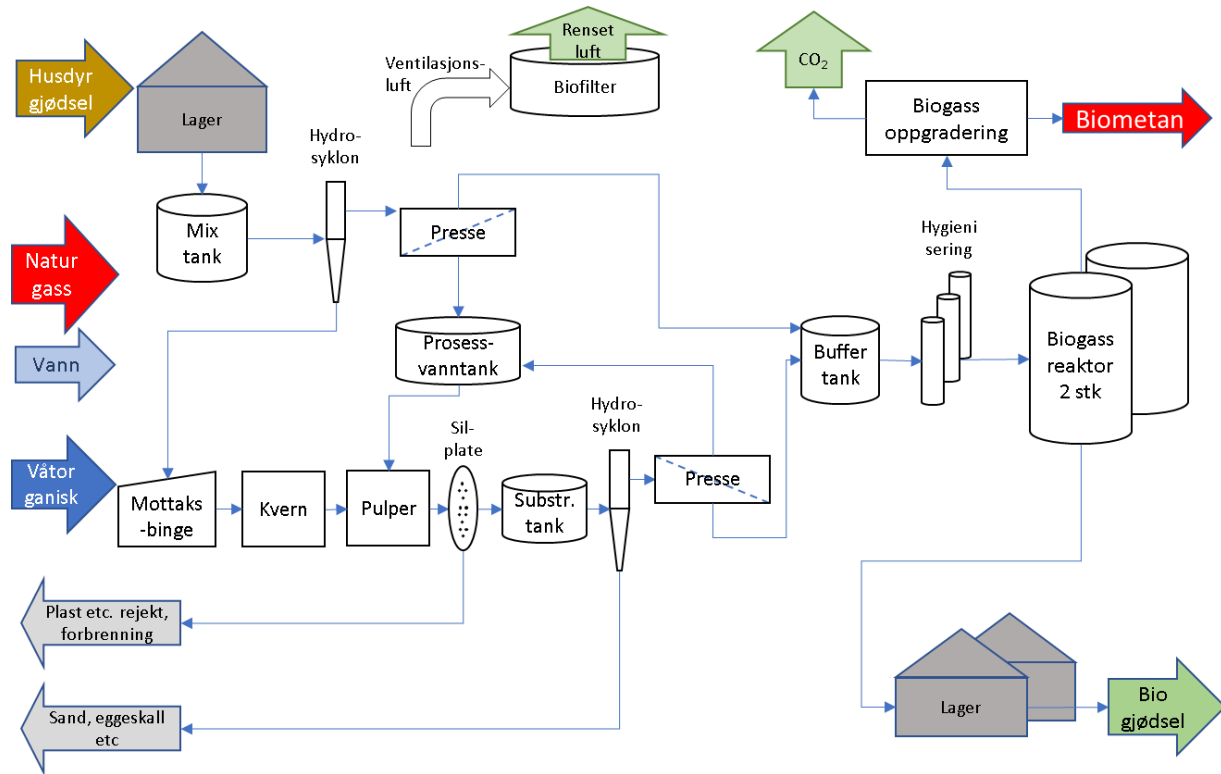
Dette kapitlet referer i helhet til rapporten fra Tel-Tek (Hovland & Thomassen, 2017). Flytdiagram for anlegget er vist på Figur 1.

Kildesortert matavfall fra kommunal renovasjonsordning leveres i mottaksbinge. Matavfallet er sortert i poser, litt forskjellige typer alt etter hvilken kommune. Diverse næringsavfall mottas også i bingen. Fra mottaksbingen transporteres det med kran og skruetransportør til en kvern som river posene opp og maler avfallet.

Avfallet går videre til en pulper hvor det tilsettes prosessvann og males/ slemmes opp videre. Massen går gjennom en silplate (6 mm åpninger) som fjerner større partikler, det vil si mye plast, metallbiter, glass og annet. Noe våtorganisk vil også følge med dette rejektet som samles i containere og sendes til forbrenning.



Suspensjonen som har passert silplaten, går til en substrattank og videre til en hydrosyklon. I hydrosyklonen fjernes sand, eggeskall og andre tunge partikler. Dette sendes også ut fra fabrikkens i konteiner. Suspensjonen går så gjennom en presse for å øke tørrstoffinnholdet og gjenvinne prosessvann.



Figur 1. Skjematisk prosessdiagram for Greve biogass.

Bløtgjødsel fra storfe og gris ankommer i tankbil og pumpes over i et lager. Fra lageret går møkka via en miksetank og deretter til en hydrosyklon for fjerning av sand og andre tyngre partikler. Disse føres over til mottaksbingen for matavfall. Møkk går fra hydrosyklonen til en presse for å ta ut prosessvann, resten med høyere tørrstoffinnhold går videre til buffertank og blandes der med det prosesserte våtorganiske.

Substrat fra buffertanken pumpes til hygienisering, 1 time ved 70 °C. Det er tre tanker i parallell, som opereres sekvensielt faseforskjøvet, fylling/oppvarming, holdetid én time, nedkjøling/tømming. Substratet fordeles så til de to reaktorene som opererer i parallell. Alt innhold fra én hygieniseringstank pumpes inn i én av reaktorene. Det vil si at hver reaktor mottar substrat i én time, mens den andre reaktoren ikke mottar substrat. Reaktorene er blandetanksreaktorer med sentral rører. Ferdig prosessert biogjødsel tappes fra reaktorene og går til lager. Siden tankene i prinsippet er fullstendig blandet vil det si at produsert biogjødsel har lik sammensetning som innholdet i reaktorene.

Rå biogass tas ut på toppen av reaktorene og går til oppgraderingsanlegget. Det er av typen vannvask og levert av Malmberg Water AB. CO<sub>2</sub> absorbert i vannvask stripes av med luft og slippes ut i separat pipe. Biometan av kjøretøykvalitet leveres inn på gassnettet til Skagerak Naturgass AS. Noe gass går til fakkel dersom Malmberg ikke har kapasitet i øyeblikket, eller at det er driftsforstyrrelser som krever fakling.

Biogjødsel leveres til bønder i området rundt fabrikk. Det brukes de samme tankbiler som henter bløtgjødsel. Den leveres både til husdyrbruk og gårder med bare planteproduksjon.

Energigjenvinning skjer i fabrikken først og fremst gjennom varmevekslere tilknyttet hygienisering og nedkjøling av biogjødsel før den går til lager. I tillegg til direkte varmeveksling er det en varmepumpe for gjenvinning av varme fra biogjødsel.

## Massebalanse

Mengdene som går inn og ut av fabrikken blir registrert ved at alle biler med råstoff blir veid før og etter lossing/lasting. Disse dataene sammen med gassproduksjon blir lagret elektronisk.

I perioden fra februar til og med mai ble det tatt imot 14 659 tonn våtorganisk avfall og 20 648 tonn husdyrgjødsel. Av den totale mengden på 35 307 tonn var 8 % næringsavfall, 31 % husholdningsavfall, 2 % industriavfall og 0,5 % avfall fra Lindum og 59 % husdyrgjødsel. I tillegg ble det tilført ca. 6 000 tonn vann som hadde blitt brukt som vaskevann. Figur 2 viser massebalansen.



Figur 2. Massebalanse, totalvekt inkludert fuktighet og vann, for Greve Biogass. Sum for månedene februar til og med mai (Hovland & Thomassen, 2017).

Hvert av råstoffene har et tørrstoffinnhold som vil variere over tid. Det ble tatt ut jevnlig prøver i perioden, og beregnet tørrstoffbalanse er vist i Figur 3.



Figur 3. Massebalanse (tonn) for «tørrstoff» fra buffertank til ferdige produkter, biogjødsel og biogass ved Greve Biogass. I dette diagrammet er vann som forbrukes i den mikrobielle prosessen for å danne biogass inkludert (Hovland & Thomassen, 2017).

Beregningene viste at hydraulisk oppholdstid i gjennomsnitt var 36,5 døgn med en organisk belastning på 2,5 kg VS/m<sup>3</sup>\*døgn. Beregnet omsetningsgrad av organisk tørrstoff var 57,1 % av VS. Det spesifikke metanutbytte var 453 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tonn VS. I perioden var tørrstoffinnholdet ca. 10 %. Høsten 2017 har Greve Biogass gjennomført modifikasjoner for å kunne operere ved opp mot 15%. Dette øker kapasiteten vesentlig.

## Energibalanse

Produsert mengde metan i månedene februar til og med mai 2017 var 1 622 431 Nm<sup>3</sup>, mens det ble innkjøpt 7 467 Nm<sup>3</sup> naturgass til oppvarmingsformål. Levert mengde metan til kunden Skagerrak naturgass var 1 591 162 Nm<sup>3</sup>. Differansen mellom produsert og levert skyldes delvis tap av metan i oppgraderingsprosessen og delvis fakling i perioder med større produksjon enn det oppgraderingsanlegget hadde kapasitet til.

Siden brennverdi for metan er 50 MJ/kg = 10 kWh/Nm<sup>3</sup>, var produsert energi ca. 16,2 GWh. I perioden var forbruket av elektrisk energi til anlegget 1,9 GWh. Dette tilsvarer 12 % av mengden energi fra metan produsert.

Varmegjenvinning med varmepumper ble beregnet til 7,2 GWh som tilsvarer at energi tilsvarende 37 % av strømforbruket ble gjenvunnet fra biogjødsel. I tillegg kommer varme gjenvunnet ved at hygienisert, varmt substrat varmeveksles mot kaldt substrat.

## Utslipp

Det ble indentifisert flere punkter i fabrikkens der det kunne være noe utslipp av metan. Siden metan er en drivhusgass ca. 22 ganger sterkere enn CO<sub>2</sub> bør metanutslippet være minst mulig. Utslipp var fra lagertankene for gjødsel, ventilasjonsluft fra forprosessering og mottaksbinge for substrater, metanslipp fra oppgraderingsanlegget, samt utslipp fra reaktorene dersom det blir overtrykk. På reaktorene er det en ventil som åpner seg ved for høyt trykk, og i tillegg en væskelås som slipper gass dersom det er enda litt høyere trykk.

De to største kildene til metanslipp er metan fra oppgraderingsanlegg og metan i ventilasjonsluften fra prosesshallen. Metan fra bingen for mottak av våtorganisk avfall er en del av ventilasjonsluften. I bingen kan man se at det bobler i væsken som ligger mellom plastposer med matavfall. Det antas basert på observasjon av denne gassdannelse og målingene av metan i den at mottaksbingen er en vesentlig kilde til metan i ventilasjonsluften. Totalt metanslipp som ble beregnet tilsvarer ca. 2,9 % av metan produsert i reaktorene.

## Økonomi

Økonomianalysen bygger på årsrapporten for Grenland Vestfold Biogass AS, driftsdata og -regnskap for Den Magiske Fabrikken 2016, driftsdata for månedene februar, mars, april og mai 2017, Greve Biogass Søknad om utviklingsstøtte til Nasjonalt pilotanlegg til Innovasjon Norge, Tønsberg Kommunes søknader til Enova om investeringsstøtte til Den Magiske Fabrikken (Tønsberg kommune 2013; 2014), sluttrapporteringen av anlegget til Enova og Innovasjon Norge. Referanser og henvisninger finnes i Stensgård & Saxegård (2017).

Økonomi og miljøanalysene av Den Magiske Fabrikken (DMF) tar utgangspunkt i anleggets Enovasøknad, driftsåret 2016 og beregnet drift i 2017, da driftsperioden i 2017 omfatter kun fire måneder. DMF hadde sitt første fulle driftsår i 2016, men det var enda noen innkjøringsproblemer knyttet til høy faklingsandel og lav kapasitetsutnyttelse. Analyseperioden, som var fra februar til mai 2017, kan karakteriseres ved at innkjøringsfasen var ferdig, og anlegget fungerte stabilt, men ved lavere tørrstoff i substratet (ca. 10 %) enn design (opp mot 15%).

Økonomianalysene viste at anleggets netto nåverdi var negativ i 2016 (-22,37 Mill NOK), med en internrente tilsvarende 1,8 %. Dette betyr at anlegget, med drift- og, utviklings- og investeringsstøtte, ikke var lønnsomt ved avkastningskrav høyere enn 1,8 %. Foreløpige tall for 2017 tyder på et betydelig bedre resultat, der netto nåverdi er positiv (142,19 Mill NOK) og internrente på 12,5 % (med støtte). Den Magiske Fabrikken hadde et positivt driftsresultat på ca. 8,8 Mill NOK i 2016, og basert på driften i månedene februar, mars, april og mai i 2017 vil driftsresultatet for 2017 bli ca. 20,4 Mill NOK, noe som vil være mer enn dobbelt så mye som i 2016.

I 2016 var anleggets hovedinntekt knyttet til behandling av våtorganisk avfall og utgjorde 60 % av inntektene. De resterende 40 % av inntektene kom fra salg av biogass. Dette forholdet er relativt likt for de beregnede verdiene i 2017, der behandling av våtorganisk avfall utgjør 59 % av inntektene. Den lille forskyvningen skyldes redusert andel fakling.

Anlegget mottok investerings- og utviklingsstøtte tilsvarende ca. 25 % av investeringskostnadene (Enova og Innovasjon Norge). I tillegg til investerings- og utviklingsstøtten mottar bøndene tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegget, som bidrar til å dekke utgifter knyttet til lagerleie hos bøndene. Ut over investeringsstøtten, utviklingsstøtten og tilskuddet per tonn husdyrgjødsel, bidrar flere juridiske og administrative virkemidler samt fritak for biometan til kjøretøy fra CO<sub>2</sub>-avgift og veiavgift til bedre rammevilkår og økt konkurransekraft for biogassanlegget.

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 Den Magiske Fabrikken, som produserer flere ulike tjenester og produkter, er det interessant å se på dekningsbidraget eller dekningsgraden (dekningsbidraget i %) knyttet til de ulike produktene/tjenestene.

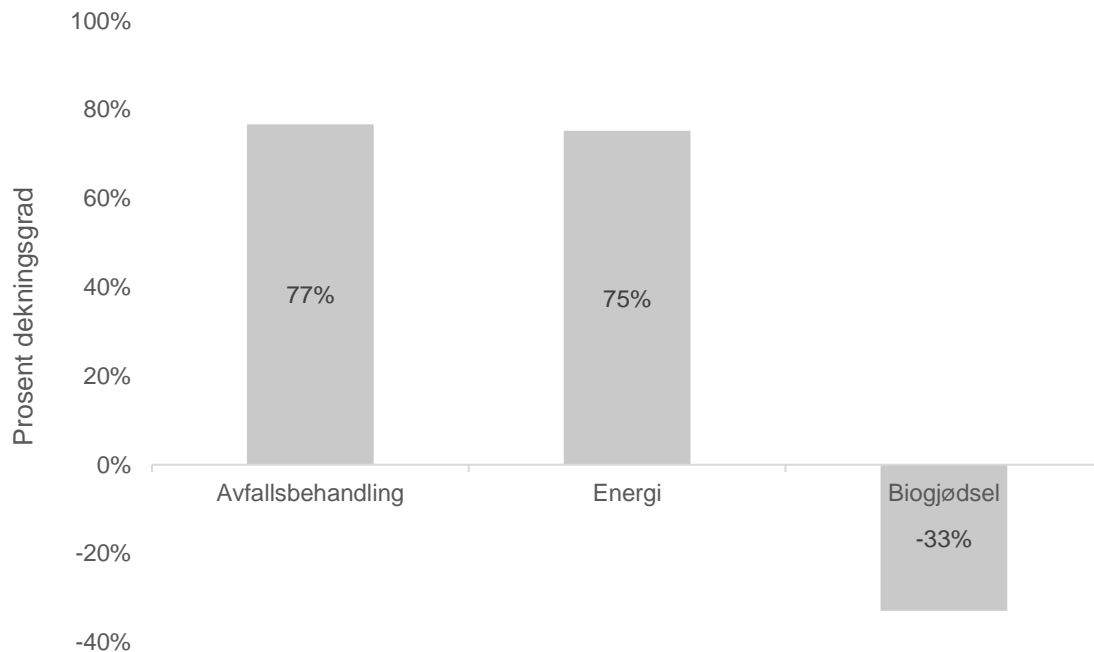
Dekningsbidrag er salgsprisen knyttet til et produkt minus variable kostnader, og sier noe om hvor stor del av inntekten som er igjen til å dekke faste kostnader etter at de variable kostnadene

er trukket fra. 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.

Den Magiske Fabrikken leverer tre ulike tjenester/produkt; Energi (biogass), behandling av avfall og biogjødsel.

Figur 4 viser dekningsgraden for produktene/tjenestene som Den Magiske Fabrikken leverer. For allokering av variable kostnader er utgifter knyttet til behandling av rejeckt, transport av matavfall, og vann og avløp tillagt tjenesten avfallsbehandling, mens 1/3 av energikostnadene, gass og kjemikalier samt transport av husdyrgjødsel er tillagt produktet energi. De variable kostnadene knyttet til biogjødsel er 2/3 av energikostnadene (hygienisering), leie av lager, transport av biogjødsel og vask av bil.

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



Figur 4. Dekningsgrad for avfallsbehandling, energi og biogjødsel fra Den Magiske Fabrikken (Stensland & Saxegård, 2017).

Figuren viser at avfallsbehandling og energi har positiv dekningsgrad og biogjødsel har negativ dekningsgrad. Det betyr at de variable kostnadene knyttet til behandling av biogjødsel overgår salgsprisen, mens for avfallsbehandling og salg av energi, utgjør de variable kostnadene fra 23 til 25 % av salgsprisen, slik at det gjenstår 77 – 75 % av salgsprisen til å dekke opp om faste kostnader samt variable kostnader knyttet til biogjødsel.

Merk at ettersom dekningsgraden angis i prosent, sier ikke diagrammet noe om hvorvidt energi er mer eller mindre lønnsom enn avfallsbehandling ettersom salgsprisen (nevneren) er ulik.

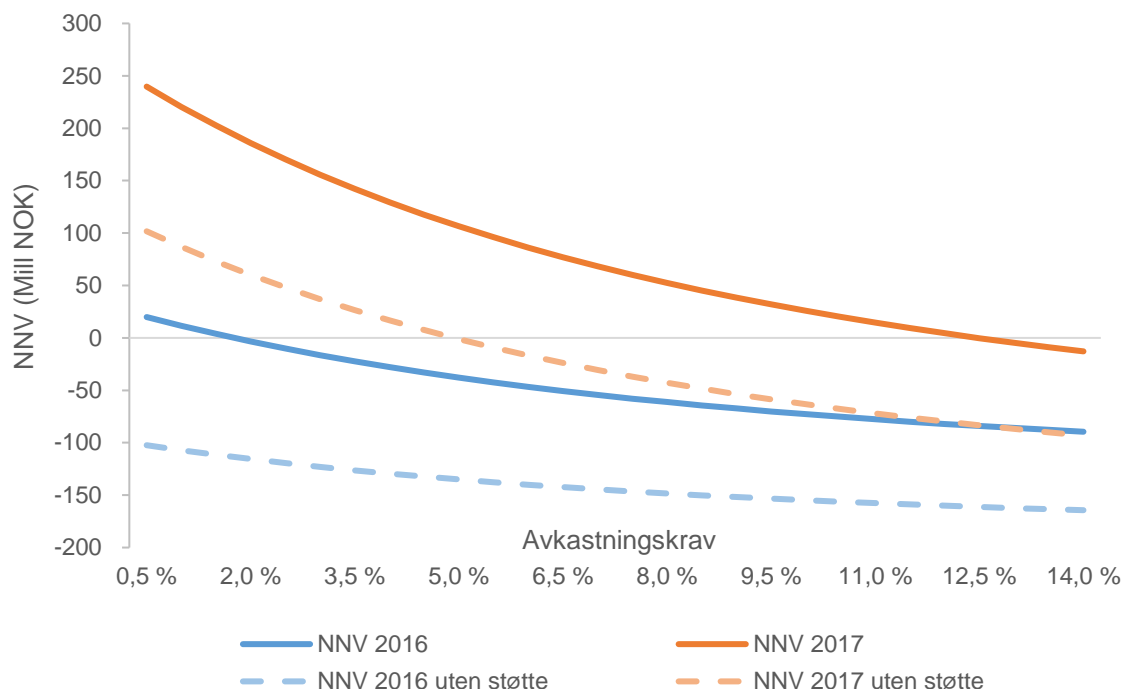
Nullpunktomsættning, eller "break-even", er omsættningen som verken gir overskudd eller underskudd, og beregnes ved å dele fabrikkens samlede dekningsbidrag på totale faste kostnader. For Den Magiske Fabrikken er nullpunktomsættningen beregnet til 26,4 GWh/år (netto energiproduksjon). Det betyr at så lenge fabrikken produserer mer enn 26,4 GWh årlig, vil driftsresultatet, -uten kapitalkostnader, være positivt.

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 eget avkastningskrav, bør prosjektet gjennomføres.

Økonomiberegningene som er foretatt viser at uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte vil netto nåverdi ved 2016-drift, være negativ (ikke lønnsomt) og internrenten for driftsåret 2016 ville vært negativ. For beregnet 2017-drift er derimot anleggets nettonåverdi positivt.

Figur 5 viser Netto nåverdi-profilen i Mill NOK for anlegget, med- og uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte (stiplede linjer) for driftsåret 2016 (blå) og beregnede 2017-verdier (rød).



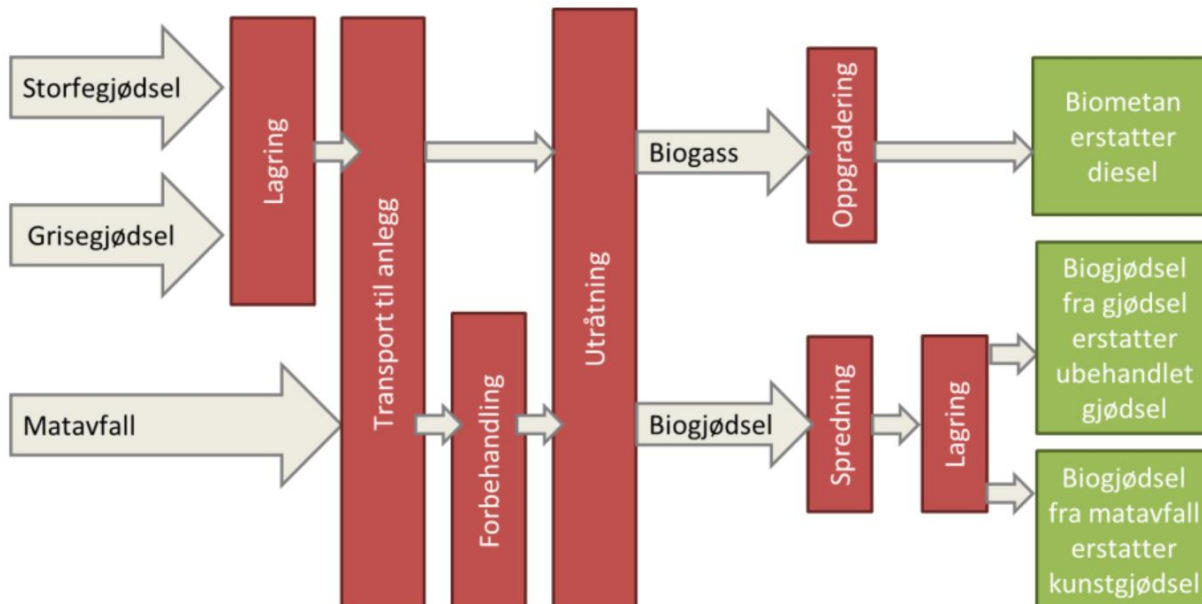
Figur 5. Netto nåverdi-profil (Mill NOK) for Den Magiske Fabrikken ved ulike avkastningskrav, med- og uten støtte (stiplede linjer), for 2016 (blå) og beregnede 2017-verdier (rød) (Stensland & Saxegård, 2017).

Punktet hvor linjene krysser x-aksen (NNV=0) angir internrenten (Figur 5), og ved å trekke en loddrett linje fra ønsket avkastningskrav kan man lese av nåverdien på y-aksen for de ulike scenariene.

## Klimanytte

Miljøanalysen er begrenset til å omfatte klimagasser og gjenvinningsgraden av næringsstoffene nitrogen og fosfor samt energi. 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 biometan 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 6, der pilene illustrerer massestrømmene, røde bokser indikerer livsløpsfaser som bidrar til utslipp og grønne bokser er livsløpsfaser som bidrar til utslippsreduksjoner.





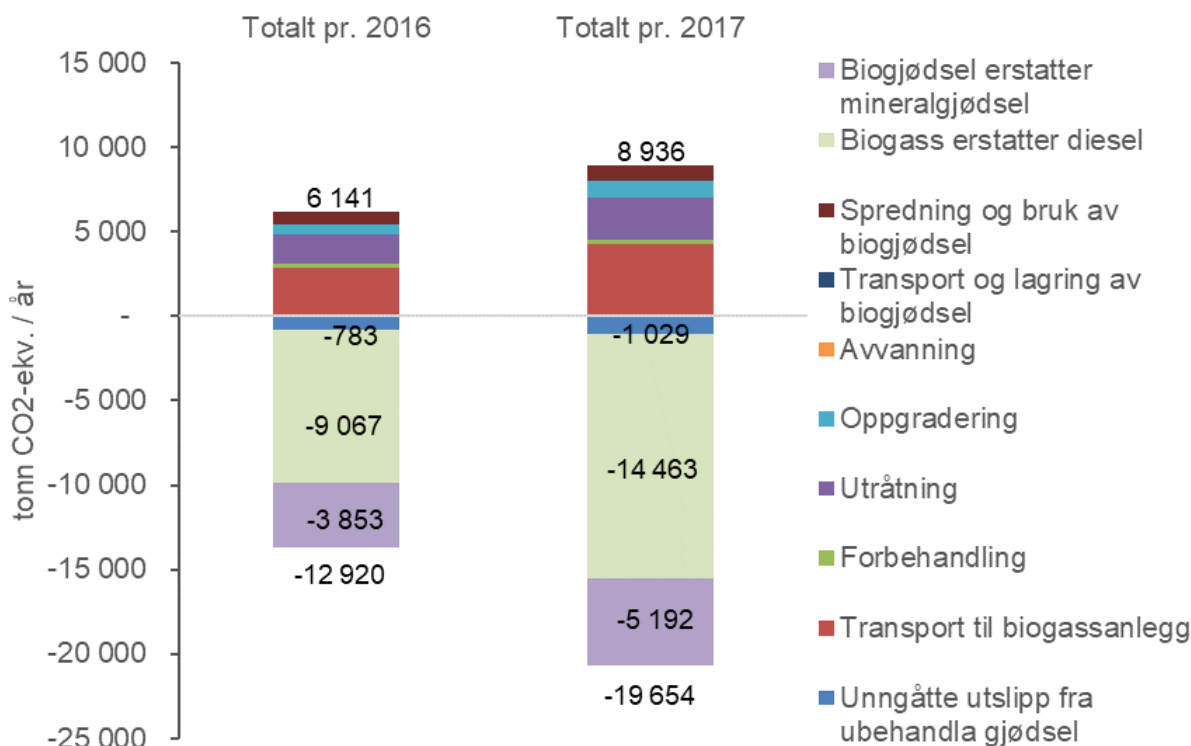
Figur 6. Livsløpsfaser for miljøanalysen av Den Magiske Fabrikken. Røde bokser indikerer utslipp, grønne bokser indikerer unngåtte utslipp (Stensland & Saxegård, 2017).

Transport og sluttbehandling av rejekter er ikke inkludert i analysen, og utslipp knyttet til bygging og vedlikehold av selve anlegget heller ikke inkludert. Til slutt er substitusjonseffekt knyttet til bruk av biometan og biogjødsel inkludert, der biometan erstatter diesel som drivstoff 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).

Det er stor forskjell på klimafotavtrykket og det økonomiske resultatet for 2016 og perioden fra februar til mai 2017, og derfor er analysene delt i henholdsvis årene 2016 og 2017, der driften for 2017 er beregnet ved å ekstrapolere driften for det første halvåret av 2017 samt forventet biogassproduksjon samme år.

Miljøanalysene viser at klimanytten knyttet til Den Magiske fabrikken tilsvarer -663 kg CO<sub>2</sub>-ekv. per tonn TS mottatt substrat i 2016 og -779 kg CO<sub>2</sub>-ekv. i 2017. Total klimanytte for Den Magiske Fabrikken var -7 562 tonn CO<sub>2</sub>-ekv. i 2016 og er beregnet til -11 748 tonn CO<sub>2</sub>-ekv. i 2017 (Figur 7). Hovedårsaken til at DMF bidrar til netto klimanytte er at biogassen oppgraderes til drivstoffkvalitet og erstatter diesel i busser, samt at biogjødsel utnyttes som gjødsel i landbruket. I tillegg til klimanytte, bidrar anlegget til netto energiproduksjon (anleggets energiforbruk tilsvarer kun 13,8 % av årlig energiproduksjon) samt gjenvinning av fosfor og nitrogen.

Den Magiske Fabrikken er med andre ord bedriftsøkonomisk lønnsom, og bidrar samtidig til betydelig klimanytte. Selv uten drifts- og investeringsstøtte tyder prognosene på at Den Magiske Fabrikken vil kunne oppnå et positivt resultat i 2017, hvilket gir en negativ klimakostnad tilsvarende 152 NOK/tonn CO<sub>2</sub>-ekv. Følgforskningen tyder på at Den Magiske Fabrikken er et lønnsomt klimatiltak.



Figur 7. Klimabelastning og klimanytte i mega tonn (Mt) for 2016 og 2017 fordelt på ulike livsfaser (Stensland & Saxegård, 2017).

## Konklusjon

Rapporten viser at Den Magiske Fabrikken har en blanding av ulike råstoff, som sammen med vaskevann gir et substrat med ca. 10 % tørrstoff (i den undersøkte perioden februar til og med mai 2017). Mengden i perioden anlegget ble fulgt opp var totalt på 39 475 tonn. Samlet volum av de to biogassreaktorene var 12 000 m<sup>3</sup>, noe som gir en hydraulisk oppholdstid på 36,5 døgn. Den organiske belastningen på reaktorene var 2,49 kg VS/m<sup>3</sup>\*døgn. Produksjonen av metan til drivstoff tilsvarte levert energi på 16,2 GWh. Ekstrapolert til hele året blir dette 49,3 GWh. Rapporten fra Tel-Tek viste at gjennomsnittlig metanutbytte var 453 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tonn VS ved en nedbrytningsprosent på ca. 57% av VS. I Østfoldforskningsrapporten er det beregnet 431 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tonn VS ved en nedbrytningsprosent på ca. 79% av VS for året 2016. Ekstrapolert for hele 2017 er metanutbyttet beregnet til 455 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/tonn VS ved en nedbrytningsprosent på ca. 83% av VS ut i fra forventet sammensetning av organisk avfall for gitte år.

Siden målingene er foretatt bare for februar til og med mai, vil det være usikkerhet i hvordan man estimerer mengden energi som blir produsert og mengden energi som brukes internt til produksjonen av biometan for et helt år. Beregninger av økonomi er også beheftet med usikkerhet, men som vist i miljøanalysen bidrar Den Magiske Fabrikken med en netto årlig klimanytte tilsvarende 7 562 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (basert på driftsdata for 2016). Derom driften første halvår 2017 fortsetter, vil netto årlig klimanytte for anlegget tilsvare 11 748 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

Ved å dele kostnader knyttet til biogassanlegget på årlig klimanytte, får man netto kostnad per tonn CO<sub>2</sub>-ekv., et vanlig vurderingsgrunnlag for rangering av ulike klimatiltak og et godt sammenlikningsgrunnlag for ulike biogassanlegg.

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

Tabell 1 viser netto årlig klimanytte, årlige kostnader (uten investerings-, utviklings og driftsstøtte) og beregnet klimakostnad (NOK/tonn CO<sub>2</sub>-ekv.) for henholdsvis 2016 og 2017 (beregnet).

Tabell 1. Årlig klimanytte, årlig kostnad uten støtte og klimakostnad for Den Magiske Fabrikken fra 2016- og beregnede 2017-verdier.

	2016	2017 (beregnet)	Enhet
Netto klimanytte	- 7 562	- 11 748	tonn CO <sub>2</sub> -ekv./ år
Årlige resultat uten støtte (3,5 % rente)	8,89	1,86	Mill NOK / år
<b>Klimakostnad</b>	1 176	158	<b>NOK /Tonn CO<sub>2</sub>-ekv.</b>

Tabellen viser at for Den Magiske Fabrikken var netto klimakostnad 1 176 NOK/tonn CO<sub>2</sub>-ekv for driftsåret 2016 og for 2017 er det beregnet et positivt årsresultat slik at klimakostnaden er negativ (dvs. at Den Magiske Fabrikken tjener penger på å kutte klimagassutslipp).

Merk at klimakostnaden ikke inkluderer kostnader nedstrøms eller oppstrøms for anlegget, eller andre eksterne kostnader utover klimanytte (eks. utslipp av partikler og NO<sub>x</sub> fra kjøretøy eller bruk av fosfor i landbruket), slik at klimakostnaden presentert i tabellen over ikke er direkte sammenliknbar med klimakostnaden knyttet til andre biogassanlegg eller andre klimatiltak.

## Litteratur

- Hovland, J., & Thomassen, T. W. (2017). *Masse- og energibalanse GreVe Biogass*. Tel-Tek rapport nr. 2217050-1
- 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. & 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.
- Stensgård, A., & Saxegård, S. (2017). *Følgeforskning: Den Magiske Fabrikken - Miljø- og økonomianalyse*. Rapport nr. OR.24.17, Østfoldforskning.



# Masse- og energibalanse Greve Biogass

Følgeforskning

**Tel-Tek rapport nr. 2217050-1**  
Jon Hovland og Tonje W. Thomassen  
25.08.2017

Tel-Tek  
Kjølnes ring 30  
NO-3918 Porsgrunn  
NORWAY



## REFERANSESIDE

<i>Forfatter(e)</i> Jon Hovland og Tonje W. Thomassen	<i>Rapport nr.</i> 2217050-1	<i>Dato</i> 25.08.2017
	<i>Klassifisering*</i> Intern	
	<i>Sider / Vedlegg</i> 24 / 3	
<i>Rapporttittel</i> <b>Masse- og energibalanse Greve Biogass</b>	<i>Undertittel</i> Følgeforskning	
	<i>Prosjekt nr.</i> 2217050	
<i>Rapport utarbeidet for</i> Innovasjon Norge	<i>Kontaktperson</i> Guri Bjønnes Hotvedt	
<i>Sammendrag</i> <p>Den biologiske prosessen ved Greve biogass fungerer bra, men det er en del mekaniske driftsproblemer. Det har vært gjort en del mekaniske modifikasjoner og flere er under utførelse eller planlagt.</p> <p>Produksjonen av rå biogass har i månedene februar til og med mai 2017 vært 2 564 298 Nm<sup>3</sup>, og derav er 1 622 431 Nm<sup>3</sup> metan. Ekstrapoleres det til 12 måneder vil det potensielt gi en produksjon på 4 854 930 Nm<sup>3</sup> tilsvarende 49 GWh. Anlegget har foreløpig begrensning på tørrstoffinnholdet i føden til reaktoren. Føden ligger nå rundt 10 % TS, men man har som mål opp mot 15 %.</p> <p>Belastningen på reaktoren 2,49 kg VS/m<sup>3</sup>·døgn er foreløpig lavere enn målet 3,5. En del av de modifikasjonene som nå er i gang vil bidra til å kunne ha høyere belastning.</p> <p>Utbytte av gass per omsatt mengde organisk material (VS, volatile solids), 453 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t VS er rimelig tatt i betraktning at råstoffet er blanding av husdyrgjødsel og våtorganisk avfall (matavfall fra husholdning og noe næringsavfall). Utbyttet er høyere enn i det labforsøk som ble utført for Greve av Tekniska verken i Linköping på tilsvarende substrat, 374 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t VS.</p>		
<i>Prosjektleder Tel-Tek:</i> Jon Hovland <i>Signatur:</i> e-versjon uten signatur	<i>Avdelingsleder:</i> Hans Aksel Haugen <i>Signatur:</i>	
<i>Nøkkelord</i>		
Engelsk Biogas Mass balance Energy Verification	Norsk Biogass Massebalanse Energi Følgeforskning	
*Klassifisering: <b>Åpen</b> – rapporten kan omtales, med korrekt henvisning, <b>Intern</b> – rapporten er intern, <b>Konfidensiell</b>		

## Forkortelser m/ forklaringer

Det har etterhvert utviklet seg en praksis i «biogassmiljøet» om å bruke en del engelske forkortelser. Vi har valgt i denne rapporten å bruke disse, og legge til ekstra informasjon her.

COD	Chemical Oxygen Demand – Kjemisk oksygenforbruk. Måles vanligvis ved oksidasjon med kromat.
HRT	Hydraulic retention time – Hydraulisk oppholdstid
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.

## INNHold

1	Bakgrunn .....	5
2	Mål .....	5
3	GreVe Biogass .....	5
4	Metode.....	7
	4.1 Datainnsamling .....	7
	4.2 Metantap.....	8
5	Resultater.....	9
	5.1 Våtvekt total masse inn og ut.....	9
	5.2 Tørrstoff (TS).....	10
	5.3 Volatile solids (VS).....	12
	5.4 Flyktige fettsyrer, VFA .....	13
	5.5 Hydraulisk oppholdstid .....	13
	5.6 Belastning reaktor .....	14
	5.7 Omsetningsgrad .....	14
	5.8 Spesifikt metanutbytte.....	14
	5.9 COD .....	14
	5.10Energi .....	15
	5.11Metanslipp.....	16
	5.12Usikkerhet .....	17
	5.13Driftserfaringer.....	19
6	Diskusjon / konklusjon.....	20



## 1 BAKGRUNN

Et partnerskap har en avtale med Innovasjon Norge om følgeforskning på pilotanlegg for produksjon av biogass. Partnerskapet består foruten Tel-Tek av NMBU - Norges miljø- og biovitenskapelige universitet, NIBIO – Norsk institutt for bioøkonomi, Østfoldforskning og NORSØK – Norsk senter for økologisk landbruk.

Et av de pilotanleggene som inngår i denne avtalen er Grenland og Vestfold Biogass AS, i det daglige kalt Greve biogass. I denne rapporten forkorter vi det også til Greve. Biogassanlegget er et samarbeid mellom 12 kommuner i Vestfold og 5 kommuner i Grenland.

I følgeforskningen har Tel-Tek ansvaret for masse- og energibalanser ved Greve.

## 2 MÅL

Målet for denne rapporteringen er:

1. Masse- og energibalanser
2. Tap av metan fra anlegget

Andre partnere i prosjektet vil dekke de andre tema for følgeforskningen.

## 3 GREVE BIOGASS

Greve mottar kildesortert matavfall fra husholdninger i de 17 eierkommunene, samt fra noen andre kommuner. I tillegg tas det inn bløtgjødsel fra storfe og gris for å gi prosessvann til driften. Det tas også inn våtorganisk næringsavfall. Generell informasjon om Greve finnes på deres hjemmeside <http://www.grevebiogass.no/>.

Vann fra kommunalt nett brukes til rengjøring og annet formål. En andel av dette brukes også som prosessvann, mens resten slippes til kommunalt avløp.

Ved behov for varme utover det som gjenvinnes i prosessen, kjøpes det naturgass fra Skagerak naturgass AS.

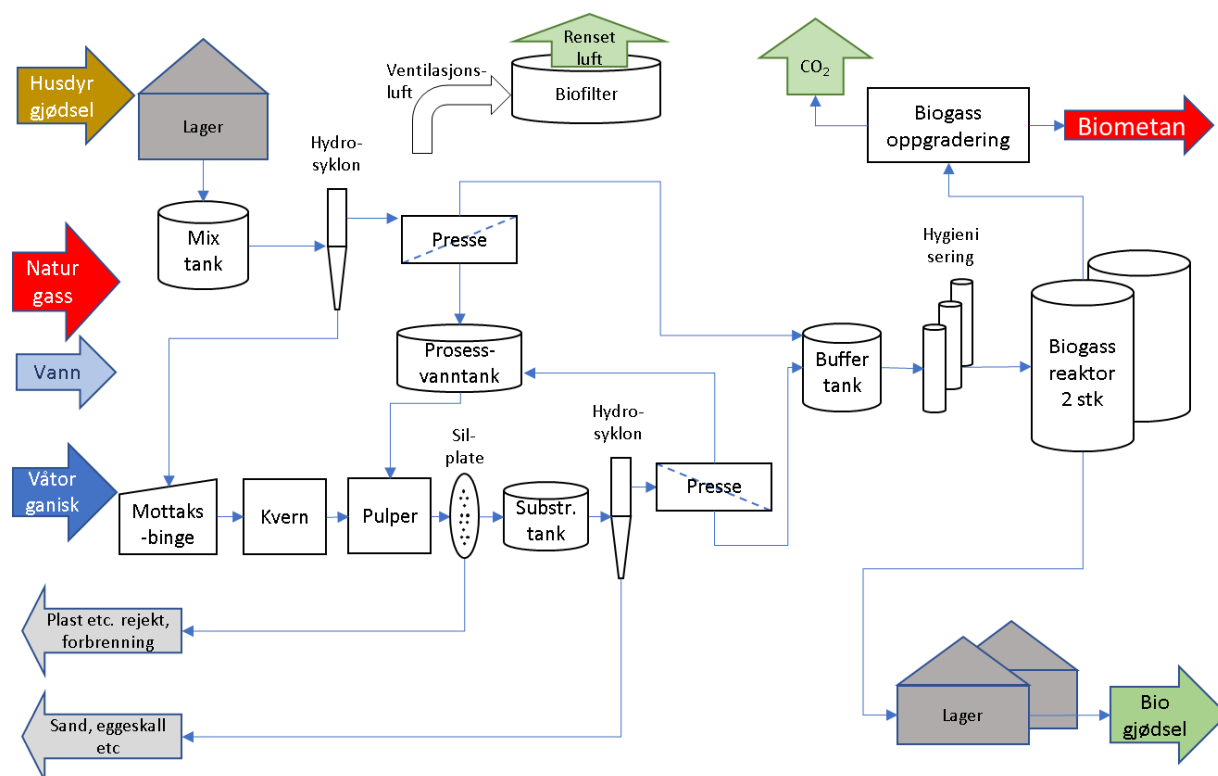
Det brukes også mindre mengder hjelpekjemikalier, som ikke er diskutert i denne rapport.

### **Summarisk er prosessgangen slik:**

Kildesortert matavfall fra kommunal renovasjonsordning leveres i mottaksbinge. Matavfallet er sortert i poser, litt forskjellige typer alt etter hvilken kommune. Diverse næringsavfall mottas også i bingen. Fra mottaksbingen transporteres det med kran og skruetransportør til en kvern som river posene opp og maler avfallet.

Avfallet går videre til en pulper hvor det tilsettes prosessvann og males/ slemmes opp videre. Massen går gjennom en silplate (6 mm åpninger) som fjerner større partikler, det vil si mye plast, metallbiter, glass og annet. Noe våtorganisk vil også følge med dette rejektet som samles i konteiner og sendes til forbrenning.

Suspensjonen som har passert silplaten, går til en substrattank og videre til en hydrosyklon. I hydrosyklonen fjernes sand, eggeskall og andre tunge partikler. Dette sendes også ut fra fabrikk i konteiner. Suspensjonen går så gjennom en presse for å øke tørrstoffinnholdet og gjenvinne prosessvann.



Figur 1. Sjematisk prosessdiagram for Greve biogass.

Bløtgjødsel fra storfe og gris ankommer i tankbil og pumpes over i et lager. Fra lageret går møkka via en miksetank og deretter til en hydrosyklon for fjerning av sand og andre tyngre partikler. Disse føres over til mottaksbingen for matavfall. Møkk går fra hydrosyklonen til en presse for å ta ut prosessvann, resten med høyere tørrstoffinnhold går videre til buffertank og blandes der med det prosesserte våtorganiske.

Substrat fra buffertanken pumpes til hygienisering, 1 time ved 70 °C. Det er tre tanker i parallell, som opereres sekvensielt faseforskjøvet, fylling/oppvarming, holdetid én time, nedkjøling/tømming. Substratet fordeles så til de to reaktorene som opererer i parallell. Alt innhold fra én hygieniseringstank pumpes inn i én av reaktorene. Det vil si at hver reaktor mottar substrat i én time, mens den andre reaktoren ikke mottar substrat. Reaktorene er blandetanksreaktorer med sentral rører. Ferdig prosessert biogjødsel tappes fra reaktorene og går til lager. Siden tankene i prinsippet er fullstendig blandet vil det si at produsert biogjødsel har lik sammensetning som innholdet i reaktorene.

Rå biogass tas ut på toppen av reaktorene og går til oppgraderingsanlegget. Det er av typen vannvask og levert av Malmberg Water AB. CO<sub>2</sub> absorbert i vannvask strippest av med luft og slippes ut i separat pipe. Biometan av kjøretøykvalitet leveres inn på gassnettet til Skagerak Naturgass AS. Noe gass går til fakkell dersom Malmberg ikke har kapasitet i øyeblikket, eller at det er driftsforstyrrelser som krever fakkling.

Biogjødsel leveres til bønder i området rundt fabrikk. Det brukes de samme tankbiler som henter bløtgjødsel. Den leveres både til husdyrbruk og gårder med bare planteproduksjon.

Energigjenvinning skjer i fabrikk først og fremst gjennom varmevekslere tilknyttet hygienisering og nedkjøling av biogjødsel før den går til lager. I tillegg til direkte varmeveksling er det en varmepumpe for gjenvinning av varme fra biogjødsel.

## 4 METODE

### 4.1 Datainnsamling

#### Data fra fabrikk

På fabrikk er det en kjørevekt hvor alle biler som skal levere eller hente på fabrikk veies. Bilen veies ved inn- og utkjøring, og netto vekt av last og type last registreres.

Dataene samles i månedsrapport som er brukt i denne rapporten, med unntak av innkommende husdyrgjødsel og utkjørt biogjødsel. Månedsrapporten inneholder også data for gassproduksjon, strøm og gassforbruk .

Ved levering av husdyrgjødsel tas det prøve for analyse av tørrstoff hos VestfoldLAB. Data fra disse er samlet i et eget regneark. Regnearket inneholder også mengde levert biogjødsel til bønder. Det er der angitt leveranser per ukenummer, og er derfor med tanke på dato ikke helt sammenfallende med månedsrapportene. Skifte av ukenummer faller ikke sammen med skifte av måned. Dette regnearket viser noe større mottak av husdyrgjødsel enn månedsrapportene. I samråd med Greve er det besluttet å bruke tallene fra den separate oversikten over husdyrgjødsel.

I prosessen er det tre hovedpunkter for prøvetaking av substrat og biogjødsel.

Prøvepunkt 8 er prøve fra buffertank. Prøvepunkt 9 og 10 er for innholdet i de to biogassreaktorene. Fysisk sett er dette samme sted, på en sirkulasjonssløyfe som kan benyttes for begge reaktorene. Alt etter hvilken reaktor det resirkuleres fra får man en prøve fra den aktuelle reaktor. For prøve fra reaktorene ble det først tatt ut 1 L fra den ene reaktoren. Deretter ble sirkulasjonssløyfen koblet om, og etter tid til «utvasking» ble det tatt 1 L til. Disse to prøvene ble blandet i en bøtte. Det ble rørt om i bøtta og tatt ut 2 prøver i 250 mL plastflasker som umiddelbart ble plassert i fryser. Tilsvarende ble gjort for buffertanken, tatt ut 1 L som ble blandet og tatt ut to flasker på 250 mL som ble frosset.

Greve utfører regelmessige analyser på prøver fra punkt 8, 9 og 10. For masseberegningene er det brukt data for total våtvekt og tørrstoff (TS).

Det vannet som kjøpes fra kommunalt nett brukes i fabrikken og en del av dette sendes så til kommunalt avløp. Dette gjelder vann som er brukt i Malmberg, til vasking av ventilasjonsluft og sanitærvann. Vaskevann brukt i prosessanlegget går inn i prosessen. Etter samtaler med personalet på Greve regner vi at  $\frac{2}{3}$  av vann fra nett går inn i prosessen.

#### Data fra VestfoldLAB

Når det kommer biler med bløtgjødsel tas det prøve for hver gård det leveres fra. Hver leveranse vil bestå av flere tankklaster (tankbilen tar ca. 33 m<sup>3</sup>). Det tas i alt tre prøver fra forskjellige tankklaster, som blandes til én prøve. Denne prøven leveres til VestfoldLAB for analyse av TS, og for grisemøkk også analyse av sink.

TS-analysene og mengde levert brukes til beregning av støtten som bonden får for å levere husdyrgjødsel til Greve i henhold til Jordbruksavtalen.

VestfoldLAB får en gang i måneden en blandingsprøve fra biogassreaktorene til full analyse for dokumentasjon av biogjødsel som leveres til bøndene. Et eksempel ligger i vedlegg 1.

I forbindelse med dette følgeforskningsprosjektet har VestfoldLAB også utført noen ekstra analyser:

- I en treukers periode ble alle prøver av bløtgjødsel også analysert for VS i tillegg til TS.
- Ved en del prøveuttak for biogjødsel ble det samtidig tatt ut prøve fra buffertank for full analyse etter samme oppsett som for biogjødsel.

#### Analyser ved NIBIO

I prosjektperioden er det tatt ut prøver fra punktene 8, 9 og 10 for analyse av TS, VS og total og løst COD.

## **4.2 Metantap**

Metantap fra de forskjellige enheter bidrar til den totale miljøpåvirkning fra fabrikken. Fabrikken er vurdert med hensyn på hvilke steder det kan være utslipp av metan, og måleprogrammet ble lagt opp etter det.

Det er målt metankonsentrasjon i lagertanker (i gassfasen under duktak) og i ventilasjonsluft. Metantap fra Malmberg oppgraderingsanlegg er beregnet ut fra data som logges av måleinstrumenter i anlegget.

Metantapet er bare angitt for anlegget på Rygg industriområde.

## 5 RESULTATER

Resultater er basert på månedene februar til mai i 2017 for fabrikk med visse korreksjoner for gjødsel.

### 5.1 Våtvækt total masse inn og ut

#### Mengder inn

Mengde husdyrgjødsel levert i uke 5 (start mandag 30. januar) til og med uke 21 (slutt søndag 28. mai) er 20 476 tonn våtvækt. Husdyrgjødsel mottatt og biogjødsel kjørt ut rapporteres fra Greve på ukebasis, så disse 17 ukene er 119 døgn. I denne perioden er det kjørt ut 35 900 tonn biogjødsel.

Avfall som er rapportert i disse månedene og vann som er kjøpt fra nett er gitt i tabell under.

Tabell 1. Avfall og vann brukt i månedene februar til og med mai 2017

<b>Mengder inn (tonn)</b>	<b>feb</b>	<b>mars</b>	<b>april</b>	<b>mai</b>	<b>sum</b>
Næring våtorganisk	252	1 234	661	712	2 859
Husholdning våtorganisk	2 714	2 733	2 442	2 920	10 809
Flytende industriavfall	168	227	177	248	820
Substrat fra Lindum (12% TS)	-	36	-	135	171
<b>Totalt våtorganisk avfall mottatt</b>	<b>3 134</b>	<b>4 230</b>	<b>3 280</b>	<b>4 015</b>	<b>14 659</b>

<b>Vann</b>	<b>feb</b>	<b>mars</b>	<b>april</b>	<b>mai</b>	<b>sum</b>
Vann fra kommunalt nett, m <sup>3</sup>	2 099	2 454	1 964	2 529	9 046
Antar 2/3 til prosess	1 399	1 636	1 309	1 686	6 031

Næring våtorganisk ble i mars preget av at det var brann i Tine meierier Sem som leverte ikke salgbare varer til Greve. Ellers kan det for eksempel være matvarer, som har gått ut på dato, fra produsenter / butikker eller av andre grunner ikke kan selges. Flytende industriavfall er i stor grad slam fra fettavskillere.

#### Mengder ut

Tabell 2. Mengder biogjødsel og biogass levert ut, samt mengder rejekter.

<b>Fra biogassreaktorer (tonn)</b>	<b>feb</b>	<b>mars</b>	<b>april</b>	<b>mai</b>	<b>sum</b>
Biogjødsel levert ut	8 057	9 065	8 812	10 519	36 452
Biogass (vektbasis*)	682	746	815	780	3 023
<b>Sum produkter ut fra reaktorer</b>	<b>8 738</b>	<b>9 811</b>	<b>9 627</b>	<b>11 299</b>	<b>39 475</b>

<b>Rejekter (tonn)</b>					
Rejekt (fra silplate) til forbrenning	735	778	610	574	2 696
Sand etc. fra syklon	40	55	33	46	174
<b>Sum rejekter</b>	<b>775</b>	<b>833</b>	<b>642</b>	<b>620</b>	<b>2 870</b>

\* For beregning av vekt av metan se vedlegg 2

### Oppsummert massebalanse

Tabell 3. Massebalanse for Greve oppsummert.

Inn	feb	mars	april	mai	Sum
Våtorganisk avfall	3 134	4 230	3 280	4 015	14 659
Husdyrgjødsel (basert på 120 døgn)					20 648
Vann fra nett til prosess (2/3 av total)	1 399	1 636	1 309	1 686	6 031
<b>Sum inn</b>					<b>41 338</b>

Ut	feb	mars	april	mai	Sum
Biogass (vekt)	682	746	815	780	3 023
Biogjødsel levert ut (basert 120 døgn)					36 203
Rejekter	775	833	642	620	2 870
<b>Sum</b>					<b>42 095</b>

<b>Differanse</b>				<b>i tonn</b>	<b>757</b>
				<b>i % av inn</b>	<b>1,8 %</b>

Differansen er innenfor det akseptable, for eksempel er antagelsen om at  $\frac{2}{3}$  av vannet fra kommunalt nett ender i prosess meget usikker. Hvis vannforbruket til prosess økes til 6 788 tonn, det vil si  $\frac{3}{4}$  av forbruket, vil differansen bli 0. En annen mulig forklaring er endring i lagerbeholdning. Lagre for bløt- og biogjødsel er til sammen 4 500 m<sup>3</sup>. Det vil si at differansen i massebalansen ligger godt innenfor mulige forskjeller i lagerbeholdning 1. februar og 31. mai.



Figur 2. Massebalanse, totalvekt inkludert fuktighet og vann, for Greve Biogass. Sum for månedene februar til og med mai 2017.

## 5.2 Tørrstoff (TS)

Tørrstoff i levert bløtgjødsel er kjent da det tas analyse av hver leveranse fra gårdene. En leveranse vil bestå av flere tankbiler som ankommer samme dag eller påfølgende arbeidsdager.

Bløtgjødsel fra gris har lavere TS% enn bløtgjødsel fra storfe. Fra gårder som har både gris og storfe ligger TS-verdien mellom de to.

Uke 5 til og med 21 er 119 døgn, mens månedene februar til og med mai er 120 døgn. Det gjøres her en korreksjon ved å omregne tall for gjødsel fra 119 døgn til 120 døgn for at det skal stemme med antall døgn i de fire månedene. Det er tallene for 120 døgn som brukes videre.

Tabell 4. Data gjødsel omregnet til 120 døgn

Type gjødsel	Vekt, tonn	Middel TS %	Middel VS%	Tonn TS	Tonn VS
Gris	7 218	3,36	78,77	242	191
Gris/Storfe	3 431	5,04	80,67	173	140
Storfe	9 998	7,00	81,54	700	571
<b>Sum</b>	<b>20 648</b>			<b>1 115</b>	<b>901</b>

Totalt TS ( $TS_{bu}$ ) fra buffertank som pumpes til reaktorene kan beregnes basert på TS% målinger i buffertank og mengde produsert vare (sum av vekt biogjødsel levert ut og vekt biogass produsert).

Total mengde TS fra buffertank til reaktor i de fire månedene er:

$$TS_{bu} = \text{middel } TS\%_{bu} \times (\text{biogjødsel} + \text{biogass}) = 10,39 \% \times (36\,203 + 3\,023) = 4\,102 \text{ tonn}$$

Det er ikke noen direkte målinger av TS% på våtorganisk avfall. Vi estimerer derfor mengde som kommer med våtorganisk avfall og annet avfall som leveres i mottaksbingen,  $TS_{våt}$ .

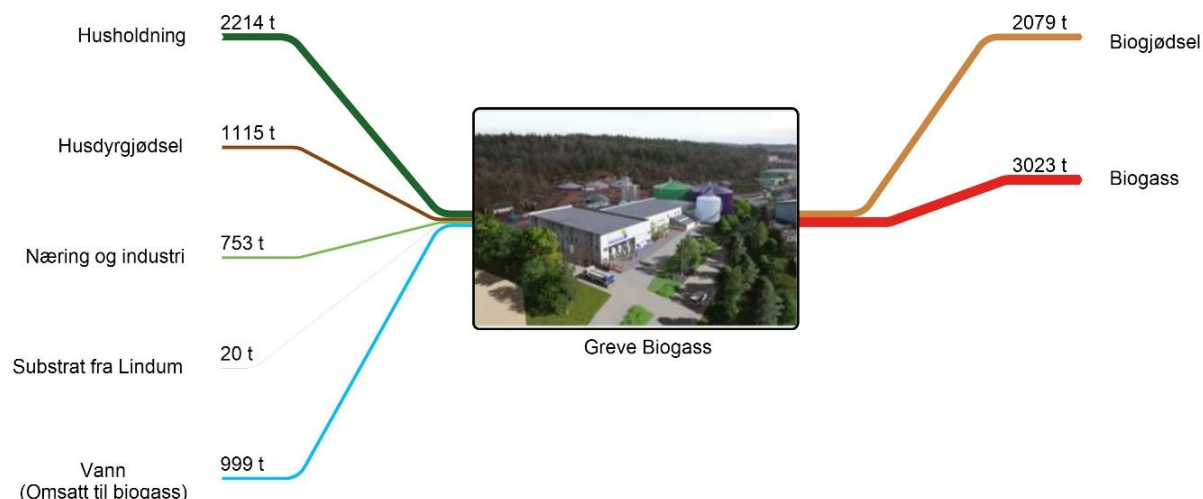
$$TS_{våt} = TS_{bu} - TS_{møkk} \\ 4\,102 - 1\,115 = 2\,988 \text{ tonn TS med våtorganisk til buffertank}$$

Tørrstoffprosenten i det våtorganiske som pumpes til buffertank er da:

$$TS\%_{våt} = TS_{våt} / (\text{våtorganisk levert bing} - \text{rejekter}) \\ 2\,988 / (14\,659 - 2\,870) = 25,3 \%$$

Ved å sammenligne tørrstoff fra buffertanken inn på reaktoren med tørrstoff i biogjødsel samt vekten av produsert biogass, ser man en differanse på 999 tonn. Denne kan forklares med at når mikroorganismene produserer  $CH_4$  og  $CO_2$  forbruker de også vann. Hvor mye vann vil avhenge av hvilke kjemiske stoffer som omsettes. Særlig vil vannforbruket være høyt når det er fettstoffer som omsettes til biogass.

Et Sankeydiagram for «tørrstoff», det vil si inkludert forbrukt vann er vist nedenfor.



Figur 3. Massebalanse (tonn) for «tørstoff» fra buffertank til ferdige produkter, biogjødsel og biogass ved Greve Biogass. I dette diagrammet er vann som forbrukes i den mikrobielle prosessen for å danne biogass inkludert.

I en periode fra 18. april til 9. juni kan vi sammenligne målinger av TS i biogjødsel utført henholdsvis av VestfoldLab og NIBIO for å se hvordan de stemmer overens. Målingene er ikke gjort på samme prøve, men er tatt ut på samme punkt.

Tabell 5. Sammenligning av verdier for målt tørstoff ved VestfoldLAB og NIBIO.

Dato	TS%	
	VestfoldLAB	NIBIO
18-4-17	4,50	
21-4-17		4,77
26-4-17		4,65
2-5-17	4,70	
8-5-17		4,81
15-5-17	4,60	
1-6-17	4,80	
2-6-17		4,67
9-6-17		4,66
<b>Middelverdi</b>	<b>4,65</b>	<b>4,71</b>

VestfoldLAB angir usikkerheten til en enkeltmåling til 10%. Det vil si at forskjellen mellom målingene på VestfoldLAB og NIBIO (1,3 %) er ikke signifikant.

### 5.3 Volatile solids (VS)

Basert på verdiene for tørstoff kan det beregnes Volatile solids



Tabell 6. Beregning av VS

Type substrat	TS, tonn	VS %	VS, tonn
Husdyrgjødsel	1 115	80,3 (målt)	896
Våtororganisk	2 988	90 (antatt)	2 689
<b>Sum</b>	<b>4 103</b>		<b>3 584</b>

## 5.4 Flyktige fettsyrer, VFA

NIBIO har analysert flyktige fettsyrer (VFA) på prøver fra Greve (tabell 7) med HPLC. I tillegg til syrene i tabellen har analysene påvist liten mengde smørsyre i to (0,13 og 0,15 g/L) av 22 prøver. Iso-smørsyre, valeriansyre og iso-valeriansyre er ikke påvist.

Tabell 7. Flyktige fettsyrer, g/L.

	Eddiksyre	Propionsyre	Melkesyre	Maursyre
Buffertank, middelvei	4,14	1,71	37,60	n.d.
Min inn	3,87	1,34	32,70	n.d.
Maks inn	4,87	2,40	44,70	n.d.
Biogjødsel (målt i reaktor)				
- middelvei	0,31	n.d.	n.d.	0,18
Min ut	0,16	n.d.	n.d.	0,12
Maks ut	0,67	n.d.	n.d.	0,29

Det er melkesyre som er dominerende i substratet som går inn i reaktoren fra buffertank. All melkesyre omsettes i reaktoren. I følge NIBIO (pers. komm.) er det vanlig å finne melkesyre i lagret matavfall.

Mesteparten av eddiksyre omsettes i reaktoren. Eddiksyre er et sentralt mellomprodukt i biogassprosessen og vil alltid kunne detekteres i en aktiv prosess. Det dannes noe maursyre i prosessen.

Laboratoriet på Greve gjør analyse av total VFA i råtnetank. På Greve benyttes en titreringsmetode som gir anslag for total mengde syre, beregnet som mengde eddiksyre. I april var middelveidien for denne analysen 0,1 g/L, det vil si ca.  $\frac{1}{3}$  av det som måles av NIBIO med HPLC metoden. Resultatet fra titreringsmetoden er også innenfor hva som er normalt eddiksyrenivå i en biogassprosess. Titreringsmetoden er bra for prosessoppfølging, men resultatene egner seg ikke for sammenligning mellom forskjellige anlegg.

## 5.5 Hydraulisk oppholdstid

Hydraulisk oppholdstid, HRT, er gjennomsnittlig tid substratet er i biogassreaktoren. Den beregnes ved å dividere totalt reaktorvolum med mengde substrat tilført per døgn.

Tabell 8. Beregning av hydraulisk oppholdstid

<b>Hydraulisk oppholdstid, HRT</b>		
Antall døgn	120	døgn i feb-mai
Mengde tilført reaktor	39 475	tonn
Mengde per døgn til reaktor	329,0	tonn/døgn (våtvekt)
- tilsvarer	13,7	m <sup>3</sup> /time
Antar tetthet 1 tonn = 1 m <sup>3</sup>		
Volum reaktorer 2 * 6000	12 000	m <sup>3</sup>
<b>HRT</b>	<b>36,5</b>	<b>døgn</b>

## 5.6 Belastning reaktor

Tabell 9. Beregning av organisk belastning for TS og VS.

<b>Organisk belastning</b>	<b>for TS</b>		<b>for VS</b>	
Totalt (feb-mai))	4 103	tonn	3584	tonn
Per døgn	34,2	tonn/døgn	29,9	tonn/døgn
<b>Belastning</b>	<b>2,85</b>	<b>kg TS/m<sup>3</sup>*døgn</b>	<b>2,49</b>	<b>kg VS/m<sup>3</sup>*døgn</b>

## 5.7 Omsetningsgrad

Tabell 10. Beregning av omsetningsgrad for TS og VS

<b>Omsetningsgrad TS</b>	<b>tonn</b>
TS fra buffertank til reaktor	4 103
TS ut med biogjødsel	2 079
<b>Omsetningsgrad for TS</b>	<b>49,3 %</b>

<b>Omsetningsgrad VS</b>	<b>tonn</b>
VS fra buffertank til reaktor	3 584
VS ut med biogjødsel (% VS = 74)	1 539
<b>Omsetningsgrad VS</b>	<b>57,1 %</b>

## 5.8 Spesifikt metanutbytte

Tabell 11. Beregning av spesifikt metanutbytte for VS

<b>Spesifikt metanutbytte, VS basis</b>		
VS fra buffertank til reaktor	3 584	tonn VS
Metan produsert	1 622 431	Nm <sup>3</sup> CH <sub>4</sub>
<b>Spesifikt metanutbytte</b>	<b>453</b>	<b>Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t VS</b>

## 5.9 COD

COD er målt på prøver fra buffertank og i reaktorene. Målingene er utført av NIBIO.

Tabell 12. Beregning av omsetningsgrad av COD

Middelverdi for COD	g/L	Mengder	Tonn våtvekt	Tonn COD
Buffertank	150	Fra buffertank til reaktor	39 475	5 925
Reaktorer	58	Produsert biogjødsel	36 452	2 098
<b>Omsetningsgrad COD</b>				<b>64,6 %</b>

Beregnet omsatt COD er 3 827 tonn.

Det vil si at beregnet spesifikt utbytte på COD basis er 0,424 Nm<sup>3</sup> metan/kg COD<sub>omsatt</sub>. Teoretisk skal det dannes 0,350 Nm<sup>3</sup> metan/kg COD<sub>omsatt</sub>.

Dette innebærer en uoverensstemmelse mellom resultatene av COD-målingene og massebalansen, begge deler heftet med usikkerhet som er nærmere diskutert i kapittel 5.12.

Under forutsetning av at massebalansen er riktig skulle omsatt COD være 4 636 tonn, det vil si 21 % høyere enn målt.

## 5.10 Energi

Produsert mengde metan er 1 622 431 Nm<sup>3</sup>, mens det er innkjøpt 7 467 Nm<sup>3</sup> til oppvarmingsformål. Levert mengde metan til kunden Skagerrak naturgass er 1 591 162 Nm<sup>3</sup>. Differansen mellom produsert og levert skyldes delvis tap av metan i oppgraderingsprosessen og delvis fakling. Nedre brennverdi for metan er 50 MJ/kg = 10 kWh/Nm<sup>3</sup>.

Produsert energi som netto metan er da (avrundet) 16 150 000 kWh

Strømforbruk i samme periode er 1 930 000 kWh

Det vil si at energi brukt som strøm er 12 % av netto mengde metan produsert.

I fabrikken gjenvinnes varme i forbindelse med hygienisering og ved nedkjøling av biogjødsel før den går til lager. Nedkjøling av biogjødsel skjer med en varmepumpe. Hensikten med denne er todelt, nedkjøle biogjødsel for å redusere metanproduksjon i lager og gjenvinning av varme.

Et grovt anslag for gjenvunnet varme ved hjelp av varmepumpen kan gjøres:

Varmekapasitet vann 1,16 kWh/t\*K.

Temperatur biogjødsel ut av reaktor 40 °C.

Temperatur biogjødsel til lager 23 °C.

Temperaturdifferanse 17 K.

Mengde biogjødsel 36 452 tonn

Gjenvunnet varme = 36 452 \* 17 \* 1,16 = 718 841 kWh.

Gjenvunnet varme fra biogjødsel tilsvarer ca. 37 % av strømforbruket.

Volum av metan levert ut fra fabrikken, 1 591 162 Nm<sup>3</sup>, er litt lavere enn produsert mengde da noe blir faklet på fabrikken.

Det er av interesse å beregne energiforbruket per enhet metan levert (fratrasket kjøpt naturgass). Da er strøm den eneste energikilden brukt.

$(1591162 - 7467) / 1930000 = 0,82 \text{ kWh/Nm}^3 \text{ CH}_4$  netto levert fra fabrikk.

For en nærmere diskusjon av energibalanse og klimanytte se rapporten fra Østfoldforskning.

## 5.11 Metanslipp

Metanutslipp kan skje på flere steder i fabrikk. Målinger og beregninger er nærmere beskrevet i vedlegg 3.

- Lagertanker for bløtgjødsel og biogjødsel har duktak, men det er lufteåpninger i takene. Ved tømning av tankene vil luft suges inn, og ved fylling av tankene vil denne luften samt biogass produsert i husdyrgjødsel og biorest presses ut igjen.
- Ventilasjonsluft med metanutslipp fra prosessen, inkludert metan som dannes fra våtorganisk avfall mens det ligger i mottaksbinge.
- Metan som følger med CO<sub>2</sub> fra Malmberg oppgraderingsanlegg på grunn av at separasjonen ikke er helt fullstendig.
- Utslipp direkte fra biogassreaktorene dersom det blir overtrykk. Dette kan skje dersom det er problemer i oppgraderingsanlegg og fakkell. Det er en ventil som åpner seg ved for høyt trykk, og i tillegg en væskelås som slipper gass dersom det er enda litt høyere trykk

Metanutslippet regnes først per uke (7 døgn) fordi gjødsel mottas og leveres de 5 arbeidsdagene. Dette er så omregnet til metanslipp i mai måned (31 døgn) og sammenlignet med total produsert metan (tabell 11). Utslipp av metan fra reaktorene (også kalt kaldfakling) er beregnet av Greve biogass basert på registrert åpningstid på overtrykksventiler.

De to største kildene til metanslipp er metan fra Malmberg oppgraderingsanlegg og metan i ventilasjonsluften fra prosesshallen. Metan fra bingen for mottak av våtorganisk avfall er en del av ventilasjonsluften. I bingen kan man se at det bobler i væsken som ligger mellom plastposer med matavfall. Det antas basert på observasjon av denne gassdannelse og målingene av metan i den at mottaksbingen er en vesentlig kilde til metan i ventilasjonsluften.

Metanslippet tilsvarer ca. 2,9 % av metan produsert i reaktorene.

Tabell 13. Kilder til metanutslipp, totalt tap og tap i prosent av produsert metan for mai.

Kilde til metanutslipp	Tap metan, Nm <sup>3</sup> /uke	Mai (31 døgn) Nm <sup>3</sup>
Husdyrgjødsellager	9	38
Biogjødsellager	35	154
Ventilasjonsluft	1 323	5 859
Malmberg oppgraderingsanlegg	1 250	5 535
Biogassreaktorer	133	589
<b>Sum tap</b>	<b>2 741</b>	<b>12 138</b>
Mengde rågass produsert i mai		661 701
Metanandel i rågass		63,3 %
Mengde metan produsert i mai,		419 121
<b>Tap i prosent av produsert metan</b>		<b>2,9 %</b>

## 5.12 Usikkerhet

Massebalansen bygger på en rekke ulike målte data og antagelser, alle heftet med større eller mindre grad av usikkerhet. Her diskuteres noen av de som anses som viktige:

Mengder og sammensetningen av de forskjellige substratene som tilføres reaktoren varierer over tid og innebærer at vi ikke har en «steady state» situasjon som er en forutsetning for å gjøre en massebalanse ved bruk av gjennomsnittsverdier for konsentrasjon og volum, slik det er gjort i denne rapporten. Det er valgt å gjøre gjennomsnittsberegninger for de fire månedene og det er ikke tatt hensyn til stopp i produksjon, av og til i noen timer, når gjennomsnittverdier er regnet ut. Et større anlagt måleprogram med hyppigere prøvetakinger ville kunne påvise virkningen av variasjoner i mengder og sammensetning av råstoff. For eksempel ble det i måleperioden tatt imot varer fra Tines lager i Sem etter brann der. I hvor stor grad disse variasjonene over tid virker inn på beregningen av massebalansen er ikke kvantifisert/vurdert da det ville ha krevet et langt større sett med analysedata.

Totalmengdene av innkommende råvarer og utkjørt biogjødsel er basert på kjørevekten ved Greve biogass. Kjørevekten kalibreres av Justervesenet årlig og feilen i denne vil være liten relativt sett til usikkerheten i prøvetaking og målingene av tørrstoff, VS og COD. Mengden prosessvann fra kommunalt nett er heftet med en usikkerhet som er nærmere diskutert i kapittel 5.1. Eventuelle avsetninger, sedimentasjon i reaktoren, er ikke tatt med i massebalansen, men vurderes som av liten betydning.

VestfoldLAB angir TS-målinger med en usikkerhet på  $\pm 10\%$  (vedlegg 1). Tørrstoffmålingene anses dermed som den parameter som har størst betydning for usikkerheten i massebalanse på TS og VS i denne rapporten. Ved sammenligning av tørrstoffmålingene på biogjødsel utført av

VestfoldLAB og NIBIO ligger forskjellen godt innenfor denne usikkerheten. Selv om VestfoldLAB og NIBIO får samme verdi er det faktorer som gir en usikkerhet i om målt verdi er sann verdi.

Innholdet i buffertanken av melkesyre (middel 38 g/L) og eddiksyre (4 g/L) må ses i sammenheng med målingene av tørrstoff, TS rundt 10% som tilsvarer 100 g/L. Melkesyre og eddiksyre har kokepunkt på henholdsvis 122 og 119 °C (som forklarer at de kalles flyktige fettsyrer). Når man måler tørrstoff i en prøve ved å tørke ved 105 °C, er det mulighet for at del av disse syrene fordamper, og dermed gir for lav TS verdi (og dermed også VS når den måles ved forasking av prøven). Greve måler pH i buffertank og reaktor jevnlig (ca hver 14 dag). Buffertank har en pH på gjennomsnitt 4,4 i aktuell periode, mens pH i reaktor er 7,6. Generelt er syreformen av en syre mye mer flyktig enn saltformen. En større andel av VFA vil være på syreform ved lav pH, hvor stor denne andelen er vil avhenge av dissosiasjonskonstanten for syren. Det vil si at det er mulig at en relativt større andel av VFA damper av fra prøven fra buffertank enn fra reaktorprøven. Dette er i og for seg kjent problematikk, men allikevel brukes TS (og VS) som parametere for å karakterisere biogassprosesser av de aller fleste. Hvor stor andel av de flyktige syrene som damper av ved tørking vil i tillegg påvirkes av hva som ellers er i prøven.

Bruk av standard analyse-«kit» for COD fra leverandører som Merck og HACH er også vanlig å bruke. De har iboende svakhet, særlig når det gjelder prøver med mye partikler. Dette er det viktig å være oppmerksom på ved vurderingen av resultatene, og er nærmere diskutert av Svensson, Kjølraug et al. (2017). De foreslår å bruke bombekalorimetri for nøyaktige energibalanser i biogassprosesser i tilfeller hvor COD-kit ikke er egnet. Bombekalorimetri er heller ikke egnet for alle typer prøver, og er spesielt problematisk for prøver med lav TS. Med bakgrunn i dette, og at COD-kit er langt enklere å bruke, ble det valgt å utføre COD-analysene med COD-kit i følgeforskningen. Det skal dog sies at for bruk til driftsanalyser hvor det kanskje er mer viktig å oppdage endringer enn å vite den korrekte verdi kan slike kit være til god hjelp. COD målingene er i hovedsak gjort på prøver tatt i siste del av perioden som er undersøkt. For den totale massebalanse vil det derfor være usikkerhet i at COD målingene kan være mindre representative for hele perioden.

I tillegg til usikkerheten i selve målingene kommer usikkerheten ved å få tatt en prøve (ca 1 liter) som er representativ for en reaktor på 6 000 m<sup>3</sup>. Prøvene tas fra en sirkulasjonssløyfe som er ekstern til reaktoren. Det er for eksempel mulig at det er en viss sjikting i reaktoren som gjør at der sirkulasjonssløyfen er koblet på reaktoren ikke reflekterer en perfekt blandet reaktor. Dette vil gi en usikkerhet i masseberegninger basert på COD, TS og VS målinger. Når det gjelder drift av reaktoren behøver dette ikke være av betydning i og med at man får prøve fra samme sted hver gang og dermed kan observere relative endringer. Tilsvarende tas prøve fra buffertanken fra en ventil som sitter nær en pumpe på rørfledning fra tanken, som kan gjøre av prøven ikke er representativ.

Metanutslipp: ventilasjonsluft er basert på bare 4 målinger, som anses for å være i minste laget for å være representativt. Det er også usikkerhet i mengden metan som fakles, som slippes ut gjennom overtrykksventiler og ved oppgraderingsanlegget. Dette er nærmere diskutert i kapittel

5.11. Usikkerhet med estimatet av metan fra lagre er stor, men har liten praktisk betydning siden dette vurderes å bare utgjøre en liten andel det totale utslippet på anlegget.

Prøveomfanget i denne undersøkelsen er for lite til å estimere totalvirkningen av disse forskjellige usikkerheter.

### 5.13 Driftserfaringer

Gjennom samtaler med ledelse og driftspersonell er det kommet en del erfaringer om driften av anlegget.

Den biologiske prosessen har fungert bra. Greve fikk god veiledning ved oppstart fra Tekniska verken i Linköping ved at de hadde gjort forøk i laboratoriet for å simulere oppstartsplan basert på forventet råstoff (Nordell and Moested 2016).

De største problemene er knyttet til mekanisk utstyr og fremmedlegemer i levert avfall.

Kvernen har blitt ombygget til hydraulisk drift for bedre å kunne håndtere stopp på grunn av fremmedlegemer. Den opprinnelige elektriske motoren med direkte drift hadde brytepinner som tok tid å bytte.

Pumpetype og kapasitet har vært undervurdert med tanke på en planlagt 15 % TS i buffertank. Ombygginger er nødvendig for å nå design. Substratet har høy viskositet ved så høyt tørrstoff. De opprinnelige installerte pumper er ikke egnet og kan ikke levere ved 15 % TS.

Det har vist seg å være nødvendig med et større reservedelslager enn planlagt på grunn av lange leveringstider for deler.

## 6 DISKUSJON / KONKLUSJON

Den biologiske prosessen ved Greve biogass fungerer bra, men det er en del mekaniske driftsproblemer. Det er fullstendig omsetning av melkesyre og det er lavt nivå av eddiksyre i reaktoren (snitt 0,3 g/L), noe som viser en velfungerende prosess. Det har vært en del mekaniske modifikasjoner og flere er under utførelse eller planlagt.

Produksjonen av rå biogass har i månedene februar til og med mai vært 2 564 298 Nm<sup>3</sup>, og derav er 1 622 431 Nm<sup>3</sup> metan. Ekstrapoleres det til 12 måneder vil det potensielt gi en produksjon på 4 854 930 Nm<sup>3</sup> tilsvarende 49 GWh. Anlegget har foreløpig begrensning på tørrstoffinnholdet i føden til reaktoren. Føden ligger nå rundt 10 % TS, men man har som mål opp mot 15 %.

Belastningen på reaktoren 2,49 kg VS/m<sup>3</sup>\*døgn er foreløpig lavere enn målet 3,5. En del av de modifikasjonene som nå er i gang vil kunne bidra til å ha høyere belastning. Viskositet i substratet er høyere enn det de opprinnelig installerte pumper kan håndtere, og man har derfor så langt kjørt med lavere kapasitet.

Utbytte av gass per omsatt mengde organisk material (VS, volatile solids), 453 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t VS er rimelig tatt i betraktning av at råstoffet er blanding av husdyrgjødsel og våtorganisk avfall (matavfall fra husholdning og noe næringsavfall). Utbyttet er høyere enn i det labforsøk som ble utført for Greve av Tekniska verken i Linköping på tilsvarende substrat, 374 Nm<sup>3</sup> CH<sub>4</sub>/t VS (Nordell and Moested 2016).

Vi kan basert på måleprogrammet så langt ikke kvantifisere usikkerheten i disse beregnede utbytter, som diskutert i avsnitt 5.12.



## Referanser

Nordell, E. and J. Moested (2016). Rapport - Greve biogass, Tekniska Verken i Linköping AB.  
Svensson, K., O. Kjørlaug, S. J. Horn and J. W. Agger (2017). "Comparison of approaches for organic matter determination in relation to expression of bio-methane potentials." Biomass and Bioenergy **100**: 31-38.

## Liste vedlegg

1. Eksempel analyseresultater biogjødsel
2. Beregning vekt metan
3. Metanslipp rapport

## Vedlegg 1 Analyseresultat biogjødsel



Lindum AS  
Lerpeveien 155  
3036 DRAMMEN

Dato: 31/05/17  
Lab.nr: 17/3603  
Arkiv: 500459  
Prøver mottatt: 15/05/17

### ANALYSERESULTATER

Analyseperiode: 15/05/17 - 31/05/17, Uttaksprosedyre: Enkel stikkprøve

Prøvetaker: Tatt ut av leverandør

Analyse	Metode	Ref	Resultat	Benevning	Usikkerhet
17/3603-1	Biogjødsel			Tatt ut: 15/05/17	
	Månedsprøve råtnetank				
	Sted: Den Magiske Fabrikk				
Tørrestoff	NS 12880	H)	<b>4.6</b>	% TS	±10%
Glødetap i slam	NS 12879		<b>73.9</b>	% TS	±10%
Total kjeldahl nitrogen *)			<b>9.5</b>	%N av TS	
Nitrat+Nitritt/N i slam *)	AN 65/84		<b>&lt;0.1</b>	%N av TS	
Ammoniumnitrogen *)	Kjeltec TV 1068		<b>53500</b>	mg/kg TS	
Total fosfor i slam	Int/Std.Meth.424		<b>0.81</b>	%P av TS	±20%
Svovel i slam vannløselig *)	Vannløselig ekst		<b>1737</b>	mg/kg TS	15
pH i slam	ISO 15933:2012		<b>8.3</b>		±0.3e
Kalsium i slam	Int/NSEN ISO7980		<b>2.4</b>	%Ca avTS	±20%
Magnesium	Int/NSEN ISO7980		<b>0.54</b>	%Mg TS	10
Kalium i slam og sedimenter	Int/Std.Meth326B		<b>5.1</b>	%K av TS	±20%
Kadmium	NS-EN ISO 15586		<b>0.29</b>	mg/kg TS	±30%
Kvikksølv	Int/NSEN1483		<b>0.096</b>	mg/kg TS	±40%
Bly	NS-EN ISO 15586		<b>5.0</b>	mg/kg TS	±30%
Nikkel	NS-EN ISO 15586		<b>7.1</b>	mg/kg TS	±30%
Krom	NS-EN ISO 15586		<b>3.4</b>	mg/kg TS	±30%
Sink	NS4773		<b>281</b>	mg/kg TS	
Kobber	Int/NS4773		<b>65.2</b>	mg/kg	±20%
Fosfor (AL-løselig *)	AL-METOD		<b>0.77</b>	%P av TS	
Kalium (AL-løselig *)	AL-METOD		<b>0.50</b>	%K av TS	
Kalsium AL løselig *)	AL-METOD		<b>0.27</b>	%Ca TS	
Magnesium, AL-løselig *)	AL-METOD		<b>0.052</b>	%Mg avTS	
Termotolerante kolif bakterier *)	NS 4714		<b>&lt;10</b>	MPN/g TS	
Salmonella-bakterier	PCR/BAX		<b>Ikke påvist</b>	/25g	

\*) markerer "Ikke akkreditert analyse".

H) Analysen er utført ved ALcontrol Laboratories

*PSWiik*

Torhild Bering Wiik  
Laboratorieleder

Side 1 av 2

Adresse:  
Åslyveien 21  
3170 SEM

post@vestfoldlab.no  
www.vestfoldlab.no

TF: 33 37 90 60  
Faks 33 37 0 61

## Vedlegg 2. Beregning vekt biogass produsert

Beregning av vekt på biogass produsert.					
Tetthet metan		0,716	g/L (0 °C, 1 bar)		
Tetthet CO2		1,977	g/L (0 °C, 1 bar)		
<b>Vekt biogass</b>	<b>feb</b>	<b>mars</b>	<b>april</b>	<b>mai</b>	<b>sum i tonn</b>
volum Nm3	573552	632490	696555	661701	
% metan i rågass	62,53 %	63,21 %	64,00 %	63,34 %	
<b>vekt i tonn</b>	<b>681,7</b>	<b>746,3</b>	<b>814,9</b>	<b>779,7</b>	<b>3022,6</b>

## **Vedlegg 3 Undersøkelser av metanutslipp Greve Biogass**

**Rapport**

SUSTAINABLE INNOVATION

**Forfattere:** Aina Elstad Stensgård, Simon Alexander Saxegård, Kari-Anne Lyng og Ole Jørgen Hanssen

**Rapportnr.:** OR.24.17

**ISBN:** 978-82-7520-765-2

**ISSN:** 0803-6659



# Følgeforskning: Den Magiske Fabrikken

## Miljø- og økonomianalyse (åpen versjon)



**Rapportnr.:** OR.24.17

**ISBN nr.:** 978-82-7520-765-2

**Rapporttype:**

**ISSN nr.:** 0803-6659

Oppdragsrapport

---

**Rapporttittel:**

## Følgforskning Den Magiske Fabrikken

### Miljø- og økonomianalyse (åpen versjon)

---

**Forfattere:** Aina Elstad Stensgård, Simon Alexander Saxegård, Kari-Anne Lyng og Ole Jørgen Hanssen

---

**Prosjektnummer:** 182501

**Prosjekttittel:** Følgforskning Greve Biogass

---

**Oppdragsgivere:**

Innovasjon Norge

**Oppdragsgivers referanse:**

Guri Bjønnes Hotvedt

---

**Emneord:**

- Biogass
- Økonomi
- Miljø

**Tilgjengelighet:**

Åpen

**Antall sider inkl. bilag:**

29

---

**Godkjent:**

Dato: 04.10.2017

Prosjektleder

Forskningsleder



---

Ole Jørgen Hanssen

Hanne Lerche Raadal

## Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	1
1 Innledning .....	3
1.1 Bakgrunn .....	3
1.2 Forutsetninger og avgrensninger .....	4
2 Miljøanalyse .....	5
2.1 Metodikk og datagrunnlag .....	5
2.1.1 Metodikk .....	5
2.1.2 Datagrunnlag .....	6
2.2 Resultater miljø .....	11
2.2.1 Klimaresultater .....	11
2.2.2 Resultater for energi .....	14
2.2.3 Resultater for fosfor og nitrogen .....	14
3 Økonomianalyse .....	15
2.3 Metodikk og datagrunnlag .....	15
2.3.1 Metodikk .....	15
2.3.2 Datagrunnlag .....	15
3.1 Resultater økonomi .....	16
3.1.1 Investeringskostnader og -støtte .....	16
3.1.2 Årlig resultat .....	19
3.1.3 Dekningsgrad og nullpunktomsætning .....	20
3.1.4 Nåverdi og internrente .....	21
3.1.5 Klimakostnad .....	22
4 Diskusjon og oppsummering .....	24
3 Referanser .....	25



## Sammendrag

*Denne rapporten er en åpen versjon av den lukkede rapporten OR 21.17 Følgforskning: Den Magiske Fabrikken, Miljø- og økonomianalyse (lukket versjon), der sensitiv informasjon og enkelte resultater er tatt ut.*

Grenland og Vestfold Biogass AS (Greve Biogass) har mottatt midler fra Innovasjon Norge for investeringer i- og følgforskning av Den Magiske Fabrikken på Rygg utenfor Tønsberg. Formålet med støtten er å tilrettelegge for testing av teknologi for biogass basert på andre råstoff enn våtorganisk avfall fra husholdninger, som i dette tilfellet gjelder husdyrgjødsel, og dermed bidra til framtidige kostnadsreduksjoner for produksjon av biogass.

Denne rapporten er en del av følgforskningen av Den Magiske Fabrikken (DMF), og dokumenterer anleggets økonomi og klimanytte. Målet med følgforskningen 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.

2016 var DMFs første fulle driftsår, og som for mange andre industrielle anlegg var det noen innkjøringsproblemer. Første halvår av 2017 indikerer at innkjøringsfasen er over, og at anlegget fungerer slik det skal. Det er stor forskjell på klimafotavtrykket og det økonomiske resultatet for 2016 og første halvår 2017, og derfor er analysene delt i henholdsvis årene 2016 og 2017, der driften for 2017 er beregnet ved å ekstrapolere driften for det første halvåret av 2017.

Miljøanalysene viser at klimanytten knyttet til Den Magiske fabrikken tilsvarer - 663 kg CO<sub>2</sub>-ekv. per tonn TS mottatt substrat i 2016 og - 779 kg CO<sub>2</sub>-ekv. i 2017. Total klimanytte for Den Magiske Fabrikken var - 7 562 tonn CO<sub>2</sub>-ekv. i 2016 og er beregnet til - 11 748 tonn CO<sub>2</sub>-ekv. i 2017. Hovedårsaken til at DMF bidrar til netto klimanytte er at biogassen oppgraderes til drivstoffkvalitet og erstatter diesel i busser, samt at biogjødsel utnyttes som gjødsel landbruket. I tillegg til klimanytte, bidrar anlegget til netto energiproduksjon (anleggets energiforbruk tilsvarer kun 13,8 % av årlig energiproduksjon) samt gjenvinning av fosfor og nitrogen.

Resultater fra økonomianalysene viser at Den Magiske Fabrikken er bedriftsøkonomisk lønnsom, samtidig som den bidrar til betydelig klimanytte.

# 1 Innledning

## 1.1 Bakgrunn

*Denne rapporten er en åpen versjon av den lukkede rapporten OR 21.17 Følgforskning: Den Magiske Fabrikken, Miljø- og økonomianalyse (lukket versjon), der sensitiv informasjon og enkelte resultater er tatt ut.*

Biogassanlegget Den Magiske Fabrikken (DMF) ligger på Rygg utenfor Tønsberg og eies av Tønsberg kommune. Prosjekteringen og byggingen av anlegget ble utført av Grenland og Vestfold Biogass AS (Greve Biogass), som i dag leier anlegget på langtidskontrakt. Anlegget driftes av Lindum AS.

Den Magiske Fabrikken (DMF) behandler våtorganisk avfall fra næring og husholdninger på østlandsområdet. Av avfallet og husdyrgjødsel produserer anlegget biogass med drivstoffkvalitet og leverer biogjødsel til landbruket i Vestfold som erstatter bruk av kunstgjødsel. Biogassen utnyttes av renovasjonsbilene i Vesar-området og store deler av bussflåten i Vestfold, Grenland og Mosseregionen.

Som et ledd i stortingets klimaarbeid har Klima- og miljødepartementet bevilget midler til Innovasjon Norge for investeringer i- og følgforskning 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.

Den Magiske Fabrikken har mottatt utviklingsstøtte fra Innovasjon Norge, og er en av biogassanleggene med status som nasjonalt pilotanlegg. Denne rapporten er en del av følgforskningen av anlegget, og dokumenterer anleggets økonomi og klimanytte. I tillegg til støtte fra Innovasjon Norge, har biogassanlegget mottatt investeringsstøtte fra Enova.

Målet med følgforskningen 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 Den Magiske Fabrikken. I tillegg har Tel-Tek utarbeidet en energi- og massebalanserapport (Hovland & Thomassen 2017). ”

## 1.2 Forutsetninger og avgrensninger

Økonomi og miljøanalysene av Den Magiske Fabrikken (DMF) tar utgangspunkt i anleggets Enova-søknad, driftsåret 2016 og beregnet drift i 2017.

2016 var DMFs første fulle driftsår, og som for mange andre industrielle anlegg var det noen utfordringer knyttet til det første driftsåret, og det oppstod noen innkjøringsproblemer som høy andel faking (14,5 %) og redusert kapasitetsutnyttelse (både i form av tonn substrat og i tørrstoffandel). Første halvår av 2017 indikerer at innkjøringsfasen er over, og at anlegget nå fungerer slik det skal.

Det er stor forskjell på klimafotavtrykket og det økonomiske resultatet for 2016 og første halvår 2017, og derfor er analysene delt i to, der den første delen av analysen viser miljø- og økonomiprestasjonen for DMF i 2016, mens den andre delen av analysen viser miljø- og økonomiprestasjonen for anlegget slik det har fungert i 2017 (driften for 2017 er beregnet ved å ekstrapolere det første halvåret).

Tabell 1-1 viser forutsetningene for miljø- og økonomianalyse av Den Magiske Fabrikken.

**Tabell 1-1 Forutsetninger for miljø- og økonomianalyse av Den Magiske Fabrikken (driften for 2017 er beregnet ved å ekstrapolere det første halvåret).**

Den Magiske Fabrikken	2016	2017 (beregnet)	Enhet
SUM Substrat	91 645	113 410	Tonn
Biometan (98,5% CH <sup>4</sup> ) solgt	3 540 659	5 870 000	Nm3
Biogjødsel	89 870	111 175	Tonn
Andel faklet	14,5 %	1,9 %	Andel

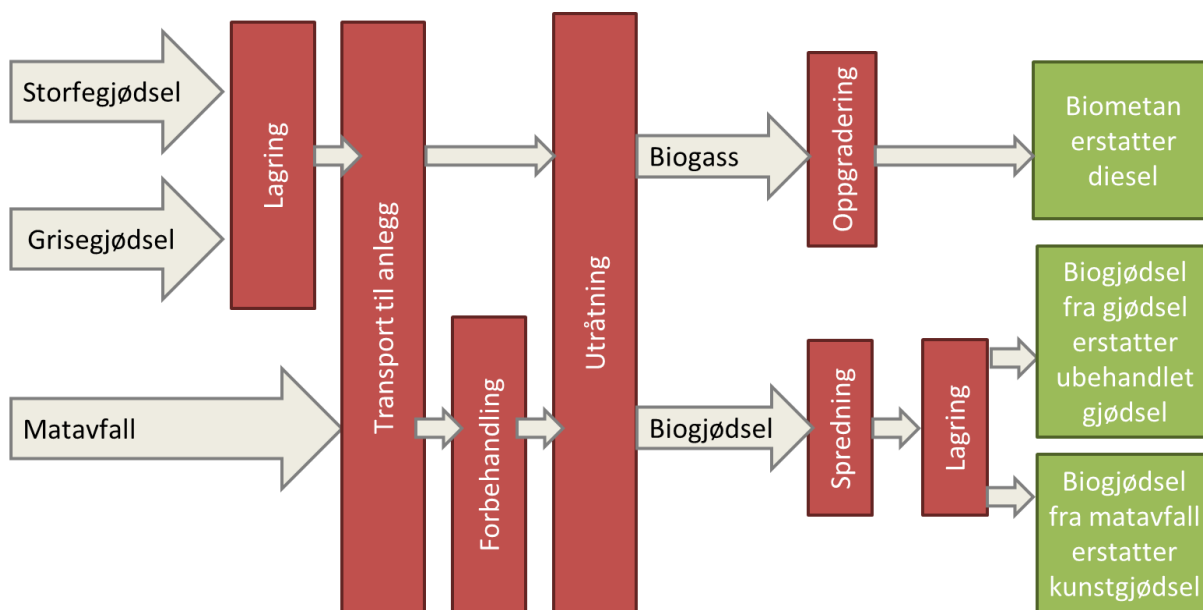
## 2 Miljøanalyse

### 2.1 Metodikk og datagrunnlag

#### 2.1.1 Metodikk

I dette kapittelet presenteres miljøanalysen av Den Magiske Fabrikken for årene 2016 og 2017. Miljøanalysen er begrenset til å omfatte klimagasser og gjenvinningsgraden av næringsstoffene nitrogen og fosfor samt energi.

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 biometan og biogjødsel. Direkte utslipp i form av bl.a. metanlekkasjer er inkludert, og fordelt på verdikjedefleddene 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.



**Figur 2-1 Livsløpsfaser for miljøanalysen av Den Magiske Fabrikken. Røde bokser indikerer utslipp, grønne bokser indikerer unngåtte utslipp.**

Transport og sluttbehandling av sikteresten er ikke inkludert i analysen, og utslipp knyttet til bygging og vedlikehold av selve anlegget heller ikke inkludert. Til slutt er substitusjonseffekt knyttet til bruk av biometan og biogjødsel inkludert, der biometan erstatter diesel som drivstoff 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).

## 2.1.2 Datagrunnlag

Datagrunnlaget er basert på verdier og beskrivelser gitt av Grenland og Vestfold Biogass AS (Greve Biogass) samt målinger og analyser utført av Tel-Tek og NIBIO. Resultatene i denne rapporten er spesifikk for Den Magiske Fabrikken, og er ikke representativ for biogassanlegg generelt. Resultater, tallgrunnlag og systemgrenser kan være svært forskjellig fra anlegg til anlegg og fra år til år.

Greve biogass har levert data over mengde mottatt substrat (tonn våtvekt), rejeekt fra forbehandling, mengde solgt biogass, mengde levert biogjødsel, samt egenskapene knyttet til biogjødsel, transportavstander, årlig energiforbruk, -vannforbruk og forbruk av mikronæring. Greve Biogass har også vært involvert i diskusjoner, kvalitetssikring og forståelse av datagrunnlaget.

Gjennom prosjektet er det blitt identifisert at enkelte av målerne ikke er 100 % korrekte, noe som betyr at det er feilkilder knyttet til datagrunnlaget. Dette ble synlig ved beregning av masse- og energibalansene. For å sikre at miljøanalysen blir så riktig som mulig er det jobbet med sikre at masse- og energibalansen går opp. Det ble derfor i samarbeid med Greve biogass fastsatt hvilke målere og verdier som er korrekte, og hvilke som er mindre pålitelige.

### **Substratmengder og -egenskaper**

Den Magiske Fabrikken mottok i 2016 totalt 91 645 tonn våt vekt (v.v) substrat. Mengde substrat behandlet ved anaerob utrånning er beregnet til 85 231 tonn v.v. (mottatt mengde minus rejeekt). Ut fra angitte verdier for tørrstoff-andel (TS%) for de ulike substratene tilsvarer anaerob behandlet mengde 12 013 tonn TS.

### **Rejeekt**

I analysene er det for enkelhetsskyld antatt at rejeektet utelukkende kommer fra utsortert husholdningsavfall.

Produksjon og transport av sand benyttet i forbehandlingsprosessen er ikke tatt i betraktning i miljøanalysen.

### **Biometan og biogass**

De oppgitte verdiene i Tabell 1-1 for biogass til fakkell og levert biometan er ikke massebalansert. Dette er bekreftet av Greve biogass, som oppgir at måleren for mengde produsert biometan har en feilmargin på ca. 10 %. Massebalansen estimerer feilmarginen til å være noe høyere for måleren av produsert biogass, som viser omtrentlig 13 % mindre biogassutbytte enn det som er oppgitt. I tillegg kommer tap av biogass fra reaktorene som ikke fanges opp av målerne.

Mengde rågass faklet (Nm<sup>3</sup>) svært usikker ettersom noe av den faglede rågassen ikke måles. Verdien 815 000 Nm<sup>3</sup> er derfor å anse som et omtrentlig estimat som igjen påvirker andel faklet biogass. *Mengde 98,5%-gass levert (Nm<sup>3</sup>)* er derimot en svært sikker verdi og denne har blitt brukt som korrigeringsverdi i massebalanseberegningene.

Tabell 2-1 viser målte verdier og beregnede verdier for biogassproduksjonen ved DMF i 2016 og 2017. Beregnede verdier er merket oransje.

**Tabell 2-1 Oppgitte og beregnede verdier for produsert biogass, metaninnhold, levert biometan, samt mengde og andel faklet biogass for 2016 og 2017.**

Biogassproduksjon	Målt 2016	Beregnet 2016	Beregnet 2017	Enhet
Mengde produsert (63,5% CH <sup>4</sup> )	5 605 963	6 440 071	9 490 149	Nm <sup>3</sup>
Mengde rågass faklet	815 000	815 068	1 78 023	Nm <sup>3</sup>
Mengde biometan (98,5% CH <sup>4</sup> ) solgt	3 540 659	3 540 659	5 870 000	Nm <sup>3</sup>
Rågass faklet %	14,54 %	12,8 %	1,9 %	Andel

Greve biogass har oppgitt at det ble det produsert 89 870 tonn biogjødsel ved DMF i 2016. Dette inkluderer gjenværende biogjødsel fra 2015 samt ubehandlet substrat, og det er beregnet at netto produksjon av biogjødsel ved DMF var 85 887 tonn (ekskludert gjenværende produksjon fra 2015 og ubehandlet substrat). Beregningene er basert på oppgitt TS-andel for biogjødsel i Tabell 2-2 samt estimerte mengder TS for strømmer til og fra bioreaktorene. Greve biogass oppga at nitrogen tilsvarer 9,1 % av TS-vekten av biogjødsel og at fosfor tilsvarer 1 %. Det er antatt samme andel fra beregnet mengde produsert biogjødsel 2016 for både nitrogen og fosfor.

Tabell 2-2 viser målte og beregnede verdier for tonn biogjødsel, ubehandlet substrat, andel tørrstoff (TS) i biogjødsel, samt andel og tonn TS nitrogen og fosfor for 2016 og 2017. Ubehandlet substrat er ikke inkludert i miljøanalysen og er markert med grått. Korrigerte verdier er merket oransje.

**Tabell 2-2 Målte og beregnede mengder tonn biogjødsel, ubehandlet substrat samt relativ og absolutt mengde TS for 2016 og 2017**

Mengder ut biogjødsel	Målt tonn (2016)	Beregnet tonn (2016)	Oppgitte verdier 2017	Beregnet tonn (2017)	Enhet
Biogjødsel levert ut (tonn)	89 870	85 887	109 357	111 175	Tonn
Substrat ut (ubehandlet, tonn)	64				
Biogjødsel TS (%)	4,5 %	4,5 %	4,5%	4,3 %	Andel
Biogjødsel TS (Behandlet)	4 044	3 865	4921	4815	Tonn
Nitrogen (% av TS)	9,10 %	9,10 %	9,1%	9,10 %	Andel
Nitrogen	368	349	448	442	Tonn
Fosfor (% av TS)	1,0 %	1,0 %	1,0 %	1,1 %	Andel
Fosfor	40	38	49	51	Tonn

### Metanutslipp

Tel-Tek har foretatt en rekke målinger av metanutslipp ved DMF presentert. Metode og resultater fra disse målingene er presentert i Tel-Tek sin følgeforskningsrapport, Hovland & Thomassen (2017). Tabell 2-3 viser et utdrag fra resultatene av disse målingene for mai 2017. Metanmålingene ligger til grunn for antagelsene om lekkasje av metan til luft. Ettersom absolutte verdier kun representerer én måned i 2017, ble isteden relative mengder i forhold til biogassutbyttet for samme måned antatt. Dette kan selvfølgelig variere og derfor er det knyttet en del usikkerhet til disse verdiene. Spesielt antas det at biogass fra biogjødsel lager, i ventilasjon, og direkte reaktor utslipp varierer. Det er forventet mindre variasjon for metanutslipp fra oppgraderingsanlegget. Oppgitte relative verdier i Tabell 2-3 inngår i analysene for både 2016 og 2017.

**Tabell 2-3 Målte verdier for metantap per uke, og for Mai måned (Tel-Tek) samt beregnet tap av metan i prosent av biogassutbytte.**

Metanlekkasje, mai 2017	Tap metan Nm3/uke	Mai måned, 31 døgn (Nm3)	Tap metan prosent
Biogjødsel lager	39	173	0,03 %
Ventilasjon	1 764	7 812	1,18 %
Malmberg (Oppgraderingsanlegg biogass)	1 250	5 535	0,84 %
Direkteutslipp reaktor	133	589	0,09 %
Totalt metanutslipp	3 186	14 109	2,13 %

I miljøanalysen er metan i ventilasjon og fra bioreaktorene slått sammen til en verdi og inkluderes i livsløpsfasen utråtning.

### Beregninger av TS-innhold

Det er noe usikkerhet knyttet til faktisk behandlet mengde TS for året 2016 hos DMF. Dette skyldes hovedsakelig at det kun måles mengde mottatte avfallsmengder i våtvekt og manglene målinger på egenskapene til matavfall fra husholdninger, organisk næringsavfall, samt flytende næringsavfall. Med egenskaper menes det her bl.a. tørrstoff-innhold (TS%), biogassutbytte (Nm3/tonn TS) osv., og det er derfor benyttet basisverdier for disse. Tek-Tek har vist i sin følgeforskningsrapport for de fem første månedene i 2017 at TS-andelen for bl.a. gjødsel varierer fra leveranse til leveranse. Dette gjelder nærsagt alle organiske avfallstyper og er en kilde til usikkerhet.

Konsekvensen av usikre verdier på TS-andel for hver av substratene er at usikkerheten forplanter seg til antagelser om faktisk behandlet mengde tørrstoff som i igjen gir usikre verdier for bl.a. beregnet metanutbytte, faktisk TS samt gjenværende nitrogen, fosfor og karbon i biogjødselen.

For et renovasjonsanlegg er det viktig å vite hvor mye TS, og derav COD, som reduseres i behandlingen. Det også nyttig å vite biogassutbyttet per tonn substrat som går til anaerob behandling ettersom dette kan benyttes til å gjøre antagelser for påfølgende års drift. Ettersom *matavfall husholdninger* utgjorde en så stor andel av totalt behandlet tørrstoff og de andre ukjente substratene utgjorde en veldig lav andel ble det gjort en forenkling ved at av de tre substratene hvor TS-andelen er ukjent er det kun *matavfall fra husholdninger* som har blitt korrigert for å finne faktisk behandlet TS hos DMF.

Matavfall fra husholdninger er i mange sammenhenger antatt å ha en TS på 33 % Carlsson & Uldal (2009), Modahl et al. (2017). Biogassanlegget HRF på Jevnaker oppgir bl.a. en TS-andel på matavfall fra husholdninger på 28%. For Organisk næringsavfall er det bruk 27 % TS basert på Carlsson & Uldal (2009). For flytende næringsavfall er substratet helmelk lagt til grunn for antagelse om TS-andel. Dette bygger på at Greve biogass oppgir at meieriprodukter utgjør en vesentlig del av det flytende næringsavfallet, samt at andel og TS-verdier for såpe, som også utgjør en større andel av det flytende næringsavfallet, er uvisst. Ifølge Matvaretabellen.no utgjør vann ca. 87 gram pr. 100 g produkt *hmelk 3,5 % fett*, dvs. 13 % TS.

For å finne sannsynlig TS-innhold i *matavfall fra husholdninger ble TS-innholdet* justert manuelt til *biogassutbyttet* og TS-innholdet i *biogjødsel* stemte overens med oppgitte og massebalanserte verdier.

**Tabell 2-4 Utbytte av metan og biometan i forhold til innholdet av VS of TS i behandlet organisk substrat for både 2016 og 2017.**

Relativt utbytte	Utbytte 2016	Utbytte 2017	Enhet
Metanutbytte som strategegenskap (inkl, metanlekasje)	362,9	382,7	Nm3 CH4/ tonn TS
Metanutbytte som strategegenskap (inkl, metanlekasje)	431,5	454,7	Nm3 CH4/ tonn VS
Forventet metanutbytte ut fra reaktorer	358,3	377,9	Nm3 CH4/ tonn TS
Forventet metanutbytte ut fra reaktorer	426,1	449,0	Nm3 CH4/ tonn VS
<b>Biogassutbytte til oppgraderingsanlegg</b>	<b>486,1</b>	<b>577,0</b>	<b>Nm3 Bm*/ tonn TS</b>
Metanutbytte som metanlekasje	4,6	4,8	Nm3 CH4/ tonn TS

\*Biometan (Bm).

### Energiforbruk

Greve biogass oppgir et årlig elektrisitetsforbruk på 4 229 000 kWh. Elektrisitetsforbruket tilsvarer 370 kWh/tonn anaerobt behandlet TS. For naturgass som benyttes som topplast hovedsakelig om vinteren for å opprettholde riktige temperaturer igjennom hele prosessen, ble det oppgitt et årsforbruk på 21 000 Sm<sup>3</sup>/år, noe som tilsvarer omtrentlig 49 kWh naturgass/tonn anaerobt behandlet TS. Energiforbruket er antatt det samme pr. tonn behandlet substrat for 2017. Årlig energikonsum pr. tonn TS anaerobt behandlet substrat for året 2016 og 2017 er vist i resultatkapittelet for energi, inklusivt levert mengde energi og estimert virkningsgrad for DMF.

### Omsetningsgrad

Basert på massebalanseberegningene i OWSTT var vektet gjennomsnittlig TS 13,4 %, dette er høyere enn hva som går inn på reaktor. Av dette var 84,10 % nedbrytbart materiale i form av VS. Nedbrytningsgrad av VS er estimert til 78,6%. For de første 5 månedene i 2017 har Tel-Tek gjort beregninger som viser en vesentlig lavere omsetningsgrad på rund 57% av VS. Årsaken til den store forskjellen kan delvis forklares med stor usikkerhet bruk av basisverdier for VS for året 2016, en litt annen substratsammensetning og stokastiske variasjoner i substratenes egenskaper over tid. Gjenværende 21,4 % VS er sett på som tungt nedbrytbart, men deler av dette kan brytes ned anaerobt ved lagring av biogjødsel og aerobt etter spredning, Amon et al. 2006, Jansen et al. 2011, Saharastudien et al. 2014. Like vel er dette ikke inkludert i materialstrømsanalysen og da heller ikke i miljøanalysen ettersom dette tallgrunnlaget er svært usikkert, med unntak av oppgitt verdi på metanlekkasje fra biogjødsel lager hos DMF. Netto omsatt TS året 2016 er estimert til 66,1% som i likhet med omsetningsgrad av VS samme år er vesentlig høyere enn målingene til Tel-Tek for de første fem månedene av 2017. Datagrunnlaget for beregnet omsetningsgrad 2016 og 2017 er presentert i **Tabell 2-5**.



**Tabell 2-5 Omsetningsgrad og substrategenskapene TS andel og andel VS av TS.**

År	Andel TS	Andel VS	Omsetningsgrad TS	Omsetningsgrad VS
Året 2016	13,4 %	84,10 %	66,1 %	78,6 %
Året 2017	14,4 %	84,2 %	69,8 %	82,9 %

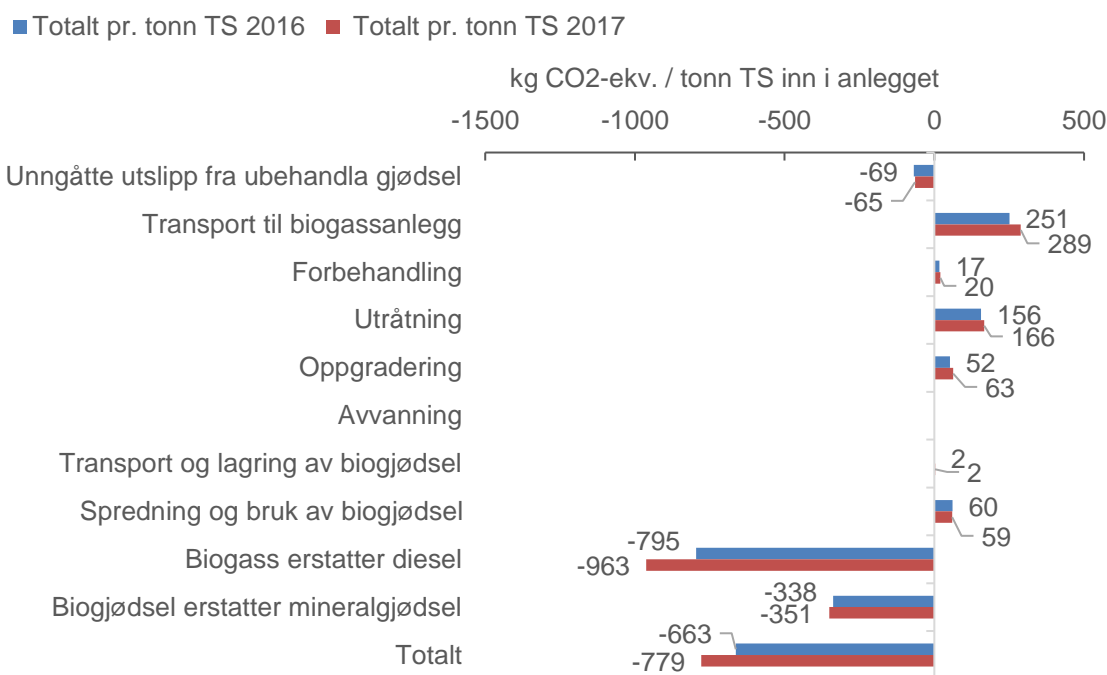
En indikasjon ved at VS av TS og metanutbyttet (CH<sub>4</sub>/ tonn VS) er beregnet lavere i 2016 er at forventet maksimalt biogassutbytte og teoretisk maksimal omsetningsgrad for substratene behandlet 2016 er et konservativt anslag. Det er derfor sannsynlig at det er mulig å øke biogassutbyttet for samme substratsammensetning som ble behandlet 2016, enten ved en lengre hydraulisk oppholdstid i reaktorer (HRT) eller en mer effektiv nedbrytningsprosess i reaktorene. Dette kommer i tillegg til at det er vesentlig potensial for å redusere andelen biogass som går til fakkell, noe som ble gjort i 2017. Med anslått årsproduksjon av biogass for 2017 er det beregnet at omsetningsgraden vil være noe høyere enn for 2016. I likhet med verdiene for 2016 er det mulig at omsetningsgraden skulle vært noe lavere i prosent, men med samme biogassutbytte som anslått verdi for 2017.

## 2.2 Resultater miljø

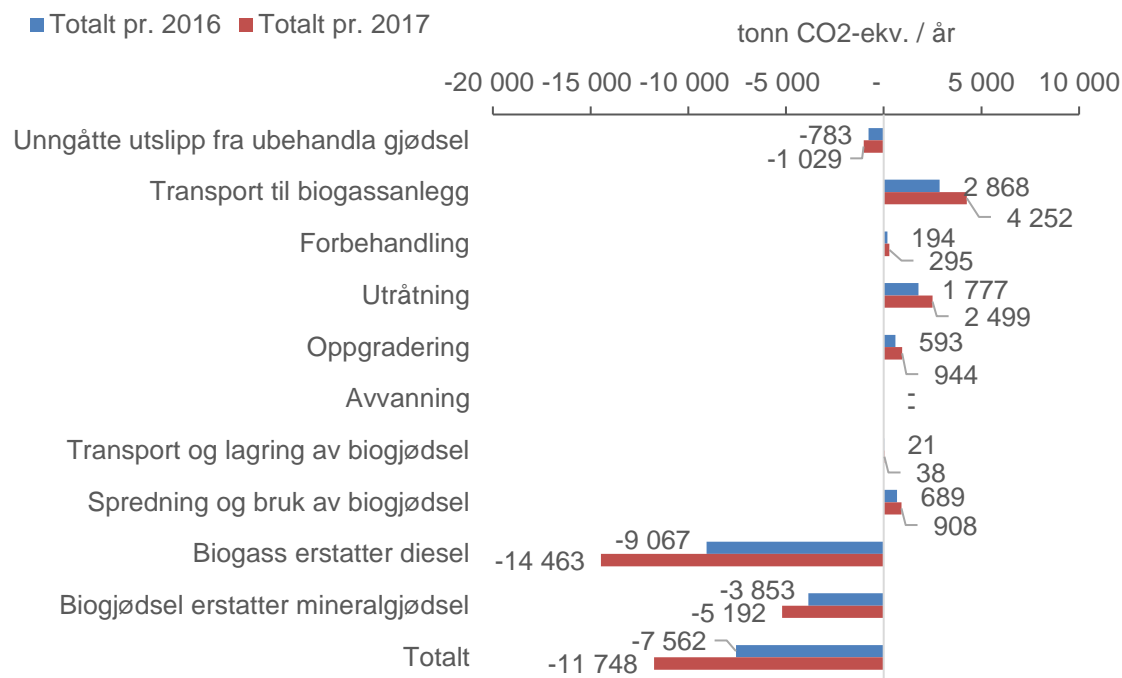
### 2.2.1 Klimaresultater

For 2016 er klimanytten per tonn TS behandlet beregnet til - 663 kg CO<sub>2</sub>-ekv. (inkludert levert rejeckt). Dette er et godt resultat, også med tanke på at ca. 12,7% av produsert biogass fakles. Transport av substratene og selve utråtningen er de prosessene som bidrar med de største utslippene.

For året 2017, med prosjekterte mengder mottatt avfall og levert biogjødsel og biometan, er klimanytte pr. tonn TS mottatt beregnet til -779 kg CO<sub>2</sub>-ekv. Biogjødsel som erstatter mineralgjødsel er i denne sammenheng lav sammenlignet med tidligere studier i bl.a. Modahl et al. (2016) fordi det er forutsatt at biogjødsel fra ku- og grisegjødsel erstatter ubehandlet gjødsel (og ikke mineralgjødsel). Klimanytten knyttet til redusert lagringstid av ubehandlet gjødsel på gård er synlig i søylen «Unngåtte utslipp fra ubehandla gjødsel» i Figur 2-1 og Figur 2-2. Andelen biogjødsel som kommer fra matavfall antas å erstatte mineralgjødsel. Hovedårsaken til at DMF bidrar til netto klimanytte er at biogassen oppgraderes til drivstoffkvalitet og erstatter diesel i busser.



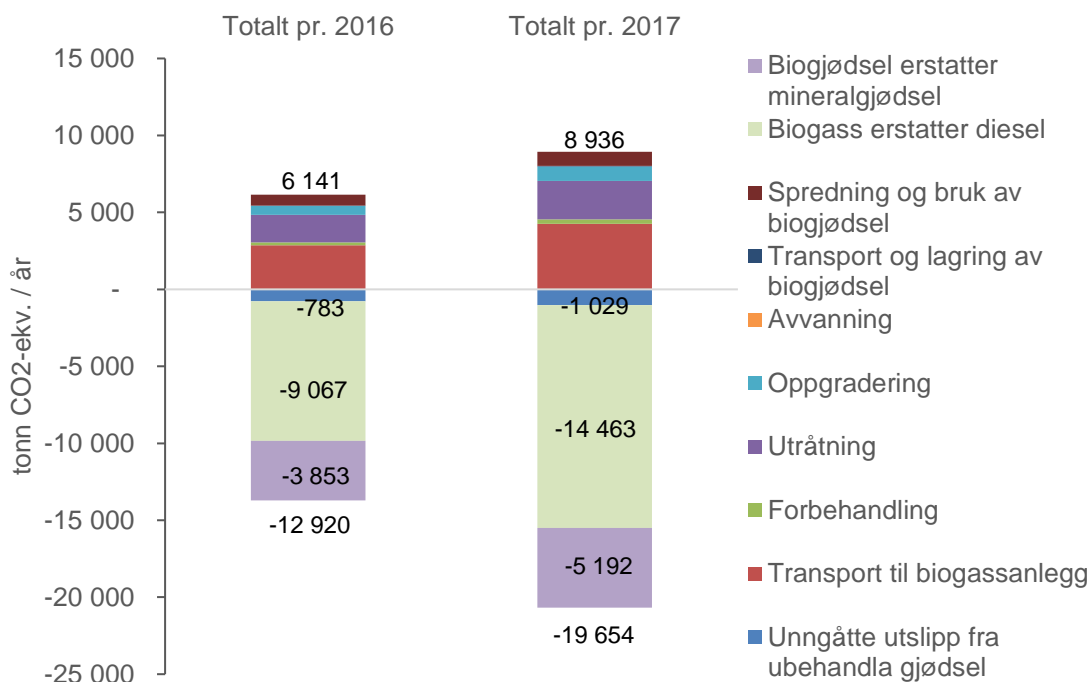
**Figur 2-1 Klimabelastning og klimanytte fordelt på de ulike livsløpsfasene og totalt for ett tonn TS mottatt avfall fordelt på 2016 og 2017.**



**Figur 2-2 Klimabelastning og klimanytte fordelt på de ulike livsløpsfasene og totalt for ett år, fordelt på 2016 og 2017.**

Klimanytten for Den Magiske Fabrikken i 2016 var -7 562 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Utslippene knyttet til behandlingsløsningen hos DMF er estimert til omtrent 6 141 tonn CO<sub>2</sub>-ekv for 2016. Til gjengjeld er brutto klimabesparelser -13 920 tonn CO<sub>2</sub>-ekv i form av unngåtte utslipp fra gjødsellagring (-783 tonn CO<sub>2</sub>-ekv), erstattet fossil diesel (-9 067 tonn CO<sub>2</sub>-ekv) samt erstattet mineralgjødsel (-3 853 tonn CO<sub>2</sub>-ekv). Innsamling og transport av substrat til Greve bidro med det største utslippet tilsvarende 2 868 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Utråtningsprosessen bidro med 1 777 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

Figur 2-3 viser også klimabelastning og klimanytte i tonn for 2016 og 2017 fordelt på ulike livsløpsfaser, men i et stablet diagram.



**Figur 2-3 Klimabelastning og klimanytte i tonn for 2016 og 2017 fordelt på ulike livsløpsfaser.**

Som nevnt bidro DMF til netto klimanytte tilsvarende - 7 562 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i 2016. Det er stort potensial for å øke estimert klimanytte for substratene behandlet i 2016 ved å utnytte større andel av produsert biogass samt øke omsetningsgraden av VS i reaktorene ved enten en mer effektiv nedbrytning, lengre oppholdstid eller begge deler.

Basert på foreløpige tall for 2017 kommer det frem at økt potensiale er betydelig, så fremt disse tallene stemmer med erfaringsdata. Prosjektert nettoklimanytte for 2017 er - 11 748 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

## 2.2.2 Resultater for energi

Resultatene for energi er presentert i Tabell 2-6 for årene 2016 og 2017, og inkluderer anleggets forbruk av energi og levert energi i form av biometan. Virkningsgraden til DMF for 2016 er estimert til 13,8%, og er andelen energi av årlig energiproduksjon som brukes internt av anlegget.

**Tabell 2-6 Beregnet energiregnskap for DMF for årene 2016 og 2017.**

Energiutnyttelse og energigjenvinning pr. tonn avfall	Verdi 2016	Verdi 2017	Enhet
Lvert mengde energi fra anlegg	34 740 125	57 594 651	kWh
Energiforbruk DMF (varme og elektrisitet)	4 782 479	6 680 654	kWh
Virkningsgrad for DMF (energi brukt vs. energi levert)	13,8 %	11,6 %	μ

## 2.2.3 Resultater for fosfor og nitrogen

Resultatene for gjenvinning av næringsstoffene nitrogen og fosfor er presentert i Tabell 2-7 for årene 2016 og 2017. Det er estimert at DMF resirkulerte 99,1% av nitrogen og 89,0% av fosforet som gikk inn i anlegget. Noe av næringsstoffene følger med rejektet ut av anlegget og for nitrogen er det også et tap fra lagring av biogjødsel. Tapet av fosfor er estimert til ca. 10% av anaerobt behandlet fosfor. Studien Möller & Müller (2012) nevner at tapet av fosfor kan skyldes fosfor legering på innsiden av råtnetankene, dette bør utredes mer.

Det er imidlertid ikke forventet at all resirkulert nitrogen er gjenvinnbar. En betydelig andel av nitrogenet er antatt at forsvinner ved avgassing etter spredning som ammoniakk og lystgass som beskrevet i Amon et al. (2006) og Jansen & Berstad (2011). I tillegg er det antatt at kun 60% av gjenværende nitrogen på jordet etter avgassing er plantetilgjengelig.

**Tabell 2-7 Næringsregnskapet for DMF og nedstrøms anvendelse**

Gjenvinning av næring hos DMF	Nitrogen 2016	Fosfor 2016	Nitrogen 2017	Fosfor 2017
Næring inn til DMF	352,1	42,8	442,2	57,2
Næring tapt som rejekt	-4,7	-0,5	-6,7	-0,7
Nitrogen tapt fra lagring av biorest	-1,5	-	-2,0	-
Nitrogen levert fra anlegg	348,9	38,1	437,5	50,9
<b>Gjenvinning av nitrogen hos DMF</b>	<b>99,1 %</b>	<b>89,0 %</b>	<b>98,9 %</b>	<b>88,8 %</b>
Næring tapt som avgasser under og etter spredning	-73,7	-	-98,6	-
Næring gjenværende på jordet	272,2	38,1	334,9	50,9
Plantetilgjengelig næring	163,3	38,1	200,9	50,9
<b>Estimert gjenvunnet næring tatt opp av plantene</b>	<b>46,4 %</b>	<b>89,0 %</b>	<b>45,5 %</b>	<b>88,8 %</b>

## 3 Økonomianalyse

### 2.3 Metodikk og datagrunnlag

#### 2.3.1 Metodikk

Økonomianalysen gir først en sammenlikning av forventet økonomi basert på Enova-søknadene fra 2013 og 2014, søknaden om å bli nasjonalt pilotanlegg til Innovasjon Norge, anleggets reelle økonomi i 2016 og beregnet økonomi i 2017. Deretter vurderes anleggets bedriftsøkonomi i 2016 og 2017 (beregnet), som analyseres både med- og uten støtteordninger. Støtteordningene som er vurdert er investeringsstøtte fra Enova, utviklingsstøtte fra Innovasjon Norge, samt tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg. Andre støtteordninger som juridiske virkemidler eller fritak fra veiavgift og CO<sub>2</sub>-avgift 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 Den Magiske Fabrikken. Eventuelle kostnader oppstrøms- eller nedstrøms for anlegget er ikke vurdert.

#### 2.3.2 Datagrunnlag

Økonomianalysen bygger på årsrapporten for Greve Biogass AS 2016 (Greve Biogass AS 2017), driftsdata og -regnskap for Den Magiske Fabrikken 2016 (Andreas Gillund 17.03.17), driftsdata for månedene februar, mars, april og mai 2017 (Mariann Hegg 11.05.17), Greve Biogass Søknad om utviklingsstøtte til Nasjonalt pilotanlegg til Innovasjon Norge, Tønsberg Kommunes søknader til Enova om investeringsstøtte til Den Magiske Fabrikken (Tønsberg kommune 2013;2014), sluttrapporteringen av anlegget til Enova (a,b) og Innovasjon Norge (c) (Tønsberg kommune 2017a,b,c) (samt diverse e-post korrespondanse med Ivar Sørby, Andreas Gillund og Mariann Hegg våren 2017).

Den Magiske Fabrikken er et anlegg i stadig utvikling og i 2016 var det allerede igangsatt arbeid knyttet til utvidelse av anlegget. I fremtiden skal anlegget blant annet behandle slam i tillegg til våtorganisk avfall og gjødsel samt utnytte CO<sub>2</sub> fra oppgraderingsanlegget i drivhus for grønnsaksproduksjon. For å sikre at økonomi- og miljøanalysen henger sammen, samt at økonomianalysen reflekterer de reelle kostnadene knyttet til mengde substrat, mengde biogass og biogjødsel i 2016 og 2017, er investeringskostnadene, driftskostnadene og inntektene for anlegget justert for eventuelle kostnadskomponenter som tilhører fremtidige produksjonslinjer.

## 3.1 Resultater økonomi

### 3.1.1 Investeringskostnader og -støtte

Som nevnt innledningsvis er anlegget finansielt støttet av Innovasjon Norge og Enova. Via Enova er Den Magiske Fabrikken støttet gjennom to prosjekter, som omfatter hver sin del av anlegget: Prosjekt 13-492 Biogass Vestfold Grenland: Biogassproduksjon (basert på matavfall) og Prosjekt 14-1045 Utvidelse av biogassanlegg for mottak og prosessering av 60.000 tonn husdyrgjødsel (årlig mottak).

I denne analysen behandles de to Enova-søknadene som en, og danner grunnlaget for sammenlikning av prosjekterte og reelle investerings- og driftskostnader sammen med søknaden til Innovasjon Norge.

Planlegginga av den Magiske Fabrikken startet tidlig, og allerede i 2009 ble arbeidet knyttet til å sikre avsetning av biogjødsel og biogass, samt tilgang på substrat igangsatt. Siden oppstart har prosjektet stadig blitt videreutviklet, og Den Magiske Fabrikken har blitt utviklet gjennom tre trinn og tre ulike søknader:

- Den første Enovasøknaden (Trinn 1) var basert på kjent teknologi, der det skulle bygges et biogassanlegg for behandling av vårorganisk avfall og husdyrgjødsel gjennom kjent og utprøvd teknologi. Anlegget skulle bruke nettvann som prosessvann. Investeringskostnaden for Trinn 1 var beregnet til 133,40 Mill NOK med total energiproduksjon lik 46,0 GWh/år.
- Den andre Enovasøknaden var en tilrettelegging av anlegget, der husdyrgjødsel skulle erstatte prosessvann (Trinn 2). Dette var teknologi som ikke var utprøvd i Norge. Investeringskostnaden for Trinn 2 var beregnet til 13,06 Mill NOK med ytterligere 7,2 GWh/år.
- Innovasjon Norge-søknaden var en videreutvikling av anlegget, til et komplett Nasjonalt pilotanlegg (Trinn 3) og mottak av betydelige mengder husdyrgjødsel (60 000 – 120.000 tonn) som erstatning av prosessvann, samt økt produksjon av biogjødsel som erstatning av mineralgjødsel. Dette var et tiltak som på den ene siden ville bidra til økte investeringskostnader, men på den andre siden bidra til økt klima- og ressursutnyttelse. Investeringskostnaden for Trinn 3 var beregnet til 45,10 Mill NOK med ytterligere energiproduksjon tilsvarende 12,0 GWh/år.

Totalt for de tre søknadene (Trinn 1 til 3) var investeringskostnadene for Den Magiske Fabrikken beregnet til 191,56 Mill NOK med total energiproduksjon lik 65,2 GWh/år.

Tabell 3-1 viser summen av budsjetterte investeringskostnader fra de to Enovasøknadene og Innovasjon Norge-søknaden og reelle kostnader fordelt på kostnadskomponentene brukt i søknadsprosessen.

**Tabell 3-1 Budsjetterte og reelle investeringskostnader fordelt på kostnadskomponent for Den Magiske Fabrikken**

Kostnadskomponent	Budsjett (Enovasøknader og IN-søknad)	Reelle kostnader
Prosjektering	2 300 000	2 300 000
Bygg og opparbeidelse av tomt	66 280 000	67 292 029
Maskiner og utstyr	111 670 900	114 552 393
Prosjektoppfølgning, byggeledelse	11 000 000	11 545 785
Andre kostnader	300 000	1 867 920
<b>Sum</b>	<b>191 550 900</b>	<b>197 558 127</b>

Total investeringskostnad for anlegget havnet på 197,56 Mill NOK, og fordeler seg på forbehandlingsanlegg (16 %) reaktor (27 %), oppgraderingsanlegg (10 %) og andre tekniske installasjoner (47 %).

Sammenliknet med summen av forventet investeringskostnad for de tre søknadene, endte investeringskostnadene for Den Magiske Fabrikken 3 % høyere enn estimatet på 191,5 Mill NOK. En økning på 3 % er svært lite, spesielt med tanke på at det eneste andre norske biogassanlegget med tilsvarende erfaringsdata oversteg sitt søknadsbeløp med 40 % (Modahl et al. 2014). Kunnskapen fra de to anleggene kan tyde på at det er vanskelig å forutse kostandene knyttet til å bygge biogassanlegg, men gjennom grundig planlegging (slik som ved DMF) er det enklere å unngå uventede utgifter. Samtidig foreligger det få erfaringsdata per dags dato, noe som gjør det vanskelig å trekke generelle konklusjoner.

For de ulike kostnadskomponentene vist i tabellen, endte postene «Maskiner og Utstyr» og «Andre kostnader» med den største differansen målt i kroner (henholdsvis 2,8 og 1,5 Mill NOK), noe som skyldes vanskelige grunnforhold som førte til at utvendige anlegg, tanker etc. måtte pæles. Andre årsaker til økte investeringskostnader var at bygningen som anlegget ble installert i hadde betydelige behov for rehabilitering utover det som var planlagt.

Anlegget søkte om- og fikk innvilget 30 % støtte fra Enova i tillegg til 5,5 Mill fra Innovasjon Norge. Ettersom investeringskostnadene ble noe høyere enn forventet, endte total støttegrad på 25 %, noe som er 9 % lavere enn søkt støttegrad.

Ett av vurderingskriteriene som ofte brukes ved tildeling av investeringsstøtte er spesifikke investeringskostnader (investeringskostnad per energienhet (NOK/kWh). Tabell 3-2 viser summen av investeringskostnader og energiproduksjon, samt spesifikke investeringskostnader (NOK/kWh) for de tre søknadene, driftsåret 2016 og beregnet drift i 2017.



**Tabell 3-2 Investeringskostnader, energiproduksjon og spesifikk investeringskostnad basert på søknader, driftsåret 2016 og beregnet drift 2017.**

	Søknader	2016	2017 (beregnet)	Enhet
Investering	191,56	197,56	197,56	Mill NOK
Energiproduksjon	65,20	35,41	58,70	GWh/år
<b>Spesifikk investeringskostnad</b>	<b>2,94</b>	<b>5,37</b>	<b>3,24</b>	<b>NOK/kWh</b>

Forventet energiproduksjon for de tre søknadene var til sammen 65,20 GWh/år og investeringskostnaden var 191,56 Mill NOK. Dette gir spesifikk investeringskostnad lik 2,94 kr/kWh, og ettersom søknadene omfattet et komplett anlegg med forbehandling, hygienisering og oppgradering, var dette godt innenfor Enovas hovedportefølje som på søknadstidspunktet lå mellom 1,4 til 4,5 kr/kWh. Basert på total mengde solgt biogass i 2016 (35,41 GWh) og reell investeringskostnad, tilsvarte anleggets spesifikke investeringskostnader 5,37 NOK/kWh. Dette er 80 % mer enn spesifikk investeringskostnad i søknadene, og skyldes en kombinasjon av at forventet energiproduksjon ble noe lavere i 2016.

2016 var som nevnt DMFs første fulle driftsår og anlegget hadde noen oppstartsproblemer. I 2016 ble mindre enn 80 % av anleggets tonnasekapasitet utnyttet og 14,5 % av total gassproduksjon ble faklet da Skagerak naturgass ikke hadde kapasitet til å ta imot hele produksjonen. I tillegg slet anlegget noe med suboptimal tørrstoffandel (TS) i substratet, noe som har ført til at biogasspotensialet per tonn substrat har ligget under forventet nivå i 2016.

Det er nå satt opp bufferkapasitet, noe som har ført til at faklingen i snitt har ligget på 1,9 % i 2017, samtidig som kapasitetsutnyttelsen har økt til 91 %, noe som også har bidratt positivt på tørrstoffandelen i substratet da det er tilført mer våtorganisk avfall med høyere biogasspotensial til prosessen. Dette har ført til at beregnet spesifikk investeringskostnad er nede på 3,24 NOK/kWh i 2017, 40 % lavere enn 2016.

Beregnet energiproduksjon i 2017 er basert på ekstrapolering av driften i første halvår 2017. Driften av anlegget er en stadig læringsprosess, og det er sannsynlig at produksjonen i årene etter 2017 vil bli høyere etterhvert som driften av anlegget optimaliseres.

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.

### 3.1.2 Årlig resultat

Den Magiske Fabrikken hadde et positivt driftsresultat på ca. 8,8 Mill NOK i 2016. Ett relativt bra resultat tatt i betraktning at anleggets kapasitet ikke ble fullt utnyttet samt at en del gass ble faklet pga. manglende avsetningsmuligheter.

Basert på driften i månedene februar, mars, april og mai i 2017 tyder mye på at resultatet for 2017 vil bli betydelig bedre enn resultatet for 2016 da kapasitetsutnyttelsen og gassproduksjonen har økt.

Det er i hovedsak tre inntektskomponenter og tre kostnadskomponenter. Inntekten knyttet til behandling av våtorganisk avfall er det avfallsbesitter betaler anlegget for å bli kvitt avfallet (behandlingskostnad, også kalt gate-fee). Salg av biogass er inntektene knyttet til salg av oppgardert biogass til Skagerak Energi. Salg av biogjødsel dekkes av tilskuddet for levering av husdyrgjødsel til biogassproduksjon som bøndene mottar, og tilbakebetales til bøndene gjennom utgiftsposten leie av lager (dekker bøndenes investeringskostnader knyttet til nytt gjødsellager med overtrekk. Faste drifts- og vedlikeholdskostnader er utgifter knyttet til blant annet arbeidskraft, renhold og vedlikehold og variable driftskostnader er kostnader knyttet til bruk av strøm, kjemikalier, behandling av reject mm).

I 2016 var anleggets hovedinntekt knyttet til behandling av våtorganisk avfall og utgjorde 60 % av inntektene. De resterende 40 % av inntektene kom fra salg av biogass. Dette forholdet er relativt likt for de beregnede verdiene i 2017, der behandling av våtorganisk avfall utgjør 59 % av inntektene. Den lille forskyvningen skyldes redusert andel fakling.

Analysen av 2016- og 2017-dataene viser at anleggets lønnsomhet i stor grad er avhengig av kapasitetsutnyttelse og salg av biogass (minst mulig fakling), da økt kapasitetsutnyttelse og redusert andel fakling (2017) gir betydelig bedre lønnsomhet.

Som nevnt innledningsvis har Den Magiske Fabrikken totalt mottatt investerings- og utviklingsstøtte tilsvarende ca. 25 % av investeringskostnadene (Enova og Innovasjon Norge). I tillegg til investerings- og utviklingsstøtten mottar bøndene tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegget, som bidrar til å dekke DMFs utgifter til lagerleie hos bøndene. I det følgende er økonomien til Den Magiske Fabrikken analysert med- og uten de to støtteordningene, for driftsåret 2016 og beregnet drift 2017. Ut over investeringsstøtten, utviklingsstøtten og tilskuddet per tonn husdyrgjødsel, bidrar flere juridiske og administrative virkemidler samt fritak fra CO<sub>2</sub>-avgift og veiavgift til bedre rammevilkår og økt konkurransekraft for biogassanlegget. Disse har ikke blitt analysert, da det er vanskelig å kvantifisere effekten av dem.

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 Den Magiske Fabrikken, 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 dette samt anleggets nullpunktomsättning.

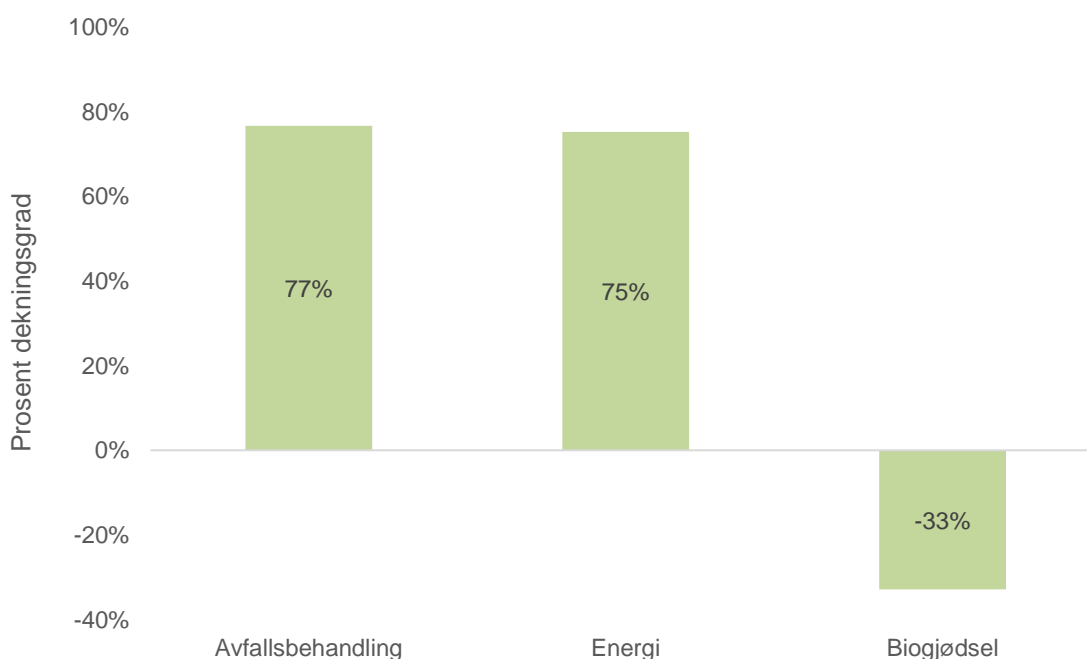
### 3.1.3 Dekningsgrad og nullpunktomsætning

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.

Den Magiske Fabrikken leverer tre ulike tjenester/produkt; Energi (biogass), behandling av avfall og biogjødsel.

Figur 3-1 viser dekningsgraden for produktene/tjenestene som Den Magiske Fabrikken leverer. For allokering av variable kostnader er utgifter knyttet til behandling av reject, transport av matavfall og vann og avløp tillagt tjenesten avfallsbehandling, mens 1/3 av energikostnadene, gass og kjemikalier samt transport av husdyrgjødsel er tillagt produktet energi. De variable kostnadene knyttet til biogjødsel er 2/3 av energikostnadene (hygienisering), leie av lager, transport av biogjødsel og vask av bil.

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



**Figur 3-1 Dekningsgrad for avfallsbehandling, energi og biogjødsel fra Den Magiske Fabrikken.**

Figuren viser at avfallsbehandling og energi har positiv dekningsgrad og biogjødsel har negativ dekningsgrad. Det betyr at de variable kostnadene knyttet til behandling av biogjødsel overgår

salgsprisen, mens for avfallsbehandling og salg av energi, utgjør de variable kostnadene fra 23 til 25 % av salgsprisen, slik at det gjenstår 77 – 75 % av salgsprisen til å dekke opp om faste kostnader samt variable kostnader knyttet til biogjødsel.

Merk at ettersom dekningsgraden angis i prosent, sier ikke diagrammet noe om hvorvidt energi er mer eller mindre lønnsom enn avfallsbehandling ettersom salgsprisen (nevneren) er ulik.

Nullpunktomsetning, eller "break-even", er omsetningen som verken gir overskudd eller underskudd, og beregnes ved å dele fabrikkens samlede dekningsbidrag på totale faste kostnader. For Den Magiske Fabrikken er nullpunktomsetningen beregnet til 26,4 GWh/år (netto energiproduksjon). Det betyr at så lenge fabrikken produserer mer enn 26,4 GWh årlig, vil driftsresultatet, -uten kapitalkostnader, være positivt.

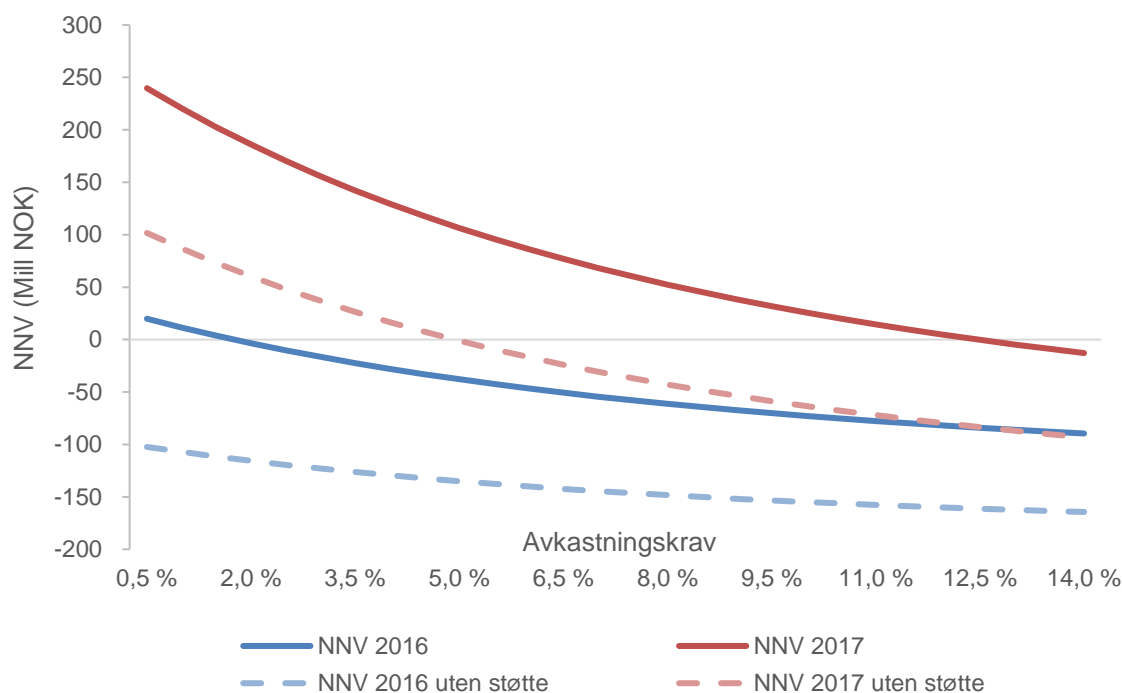
### 3.1.4 Nåverdi og internrente

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.

Økonomiberegningene som er foretatt viser at uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte vil netto nåverdi ved 2016-drift, være negativ (ikke lønnsomt) og internrenten for driftsåret 2016 ville vært negativ. For beregnet 2017-drift er derimot anleggets nettonåverdi positivt, med internrente.

Figur 3-2 viser Netto nåverdi-profilen i Mill NOK for anlegget, med- og uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte (stiplede linjer) for driftsåret 2016 (blå) og beregnede 2017-verdier (rød).



**Figur 3-2** Netto nåverdi-profil (Mill NOK) for Den Magiske Fabrikken ved ulike avkastningskrav, med- og uten støtte (stiplede linjer), for 2016 (blå) og beregnede 2017-verdier (rød).

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

### 3.1.5 Klimakostnad

Som vist i miljøanalysen bidrar Den Magiske Fabrikken med en netto årlig klimanytte tilsvarende 7 562 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter (basert på driftsdata for 2016). Derom driften første halvår 2017 fortsetter, vil netto årlig klimanytte for anlegget tilsvare 11 748 tonn CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

Ved å dele kostnader knyttet til biogassanlegget på årlig klimanytte, får man netto kostnad per tonn CO<sub>2</sub>-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<sub>x</sub> 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 Den Magiske Fabrikken ikke nødvendigvis er 100 % sammenliknbar med andre biogassanlegg, eller liknende klimatiltak, men kan gi en indikasjon på anleggets kostnad per tonn CO<sub>2</sub>-ekv. Klimakostnaden er beregnet ved å dele årlige kostnader uten investerings-, utviklings- eller driftsstøtte for Den Magiske Fabrikken på årlig klimanytte.

Tabell 3-3 viser netto årlig klimanytte, årlige kostnader (uten investerings-, utviklings og driftsstøtte) og beregnet klimakostnad (NOK/tonn CO<sub>2</sub>-ekv.) for henholdsvis 2016 og 2017 (beregnet).

**Tabell 3-3**      **Årlig klimanytte, årlig kostnad uten støtte og klimakostnad for Den Magiske Fabrikken fra 2016- og beregnede 2017-verdier.**

	2016	2017 (beregnet)	Enhet
Netto klimanytte	- 7 562	- 11 748	tonn CO2-ekv./ år
Årlige resultat uten støtte (3,5 % rente)	- 8,89	1,86	Mill NOK / år
<b>Klimakostnad</b>	1 176	- 158	<b>NOK /Tonn CO2-ekv.</b>

Tabellen viser at for Den Magiske Fabrikken var netto klimakostnad 1 176 NOK/tonn CO2-ekv for driftsåret 2016 og for 2017 er det beregnet et positivt årsresultat slik at klimakostnaden er negativ (dvs. at Den Magiske Fabrikken tjener penger på å kutte klimagassutslipp).

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

## 4 Diskusjon og oppsummering

Følgforskningen viser at Den Magiske Fabrikken er en lønnsom bedrift som samtidig bidrar positivt til politiske målsetninger om klima, energi, avfallshåndtering, ressursutnyttelse (fosfor og nitrogen), og ikke minst sirkulær økonomi.

I tillegg har anlegget bidratt til å heve kunnskapen og kompetansen knyttet til storskala biogassproduksjon i Norge, utnyttelse av husdyrgjødsel som prosessvann, organisering og verdikjedesamarbeid, samt miljø- og økonomiske effekter av biogass- og biogjødselproduksjon. Den Magiske Fabrikken er allerede godt i gang med å videreutvikles, og flere av de nye prosjektene, som både er under planlegging og allerede igangsatt, vil bidra til ytterligere læringseffekter.

Det jobbes blant annet med oppføring av et storskala veksthus som nytter såpebobler til isolasjon og solskjerming (basert på pilot hos Lindum i Drammen). Veksthuset skal utnytte CO<sub>2</sub>-gassen fra anlegget, et bi-produkt fra oppgraderingsprosessen, som vil bidra til optimale vekstforhold for plantene. Veksthuset vil også romme et kunnskaps og opplevelsessenter med laboratorier for FoU-virksomhet. I tillegg er en ny produksjonslinje under utbygging, der anlegget i framtiden vil kunne ta imot andre organiske restprodukter. Det er også gjort tester av nye substratmikser i testreaktorene som er aktuelle for den nye produksjonslinjen. Her vil det være aktuelt og teste flere substrater fra landbruket, som halm, tørrgjødsel, gress fra gressdekte vannveier, ol., det kan også bli aktuelt og se på avfall fra akvatiske miljøer eller andre organiske restprodukter.

Endret substratsammensetting vil ha betydning for utbyttet av biogass og næringsinnholdet i biogjødsel som igjen påvirker klimanytten av anlegget. Fokus på avfallsressurser som øker biogassutbyttet vil gi økt netto klimanytte for DMF, men ikke nødvendigvis for samfunnet. Substrater fra landbruket peker seg spesielt frem her, i og med at mye grøntavfall i dag benyttes som fôr og derfor begrenser behovet for bl.a. importert soya. Det bør også gjøres økonomiske og miljømessige vurdering om tilgjengeligheten (transportavstander) for de mest aktuelle substratene og om det er miljømessig- og økonomisk forsvarlig å ta i bruk disse. Utnyttelse av CO<sub>2</sub> fra oppgraderingsanlegget til drivhus vil på en annen side bidra til matproduksjon med biogen gjødsling, og derfor kunne erstatte jomfruelige karbonkilder som flis, pellets eller naturgass. Klima- og miljøeffekten knyttet til dette vil derfor komme i tillegg til den beregnede klimanytten i denne rapporten, uten at det forventes stor økning i klima- og miljøutslipp fra prosessering av avfallsressursene.

### 3 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,
- Greve Biogass (2017)a. Årsrapport for Greve Biogass AS 2016.  
(2017)b. Driftsdata og regnskap for Greve biogassanlegg 2016.  
(2017)c. E-post fra Mariann Hegg (11.05.17). Driftsdata for Greve biogassanlegg  
(2017)d. E-post fra Mariann Hegg (21.06.17). Utfylt datainnsamlings skjema utsendt av Østfoldforskning (20.06.17).
- Hovland, J., og Thomassen, T., (2017). Masse- og energibalanse GreVe Biogass.
- Karlengen, I.J. et al., (2012). Husdyrgjødsel ; 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.
- Möller, K. & Müller, T., 2012. Effects of anaerobic digestion on digestate nutrient availability and crop growth: A review. *Engineering in Life Sciences*, 12(3), pp.242–257.
- 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.
- Tønsberg kommune (2013). Søknad om investeringsstøtte til Greve Biogassanlegg prosjekt 13-492.  
(2014). Søknad om investeringsstøtte til Greve Biogassanlegg. prosjekt 14-1045.  
(2017a) Sluttrapportering til Enova Prosjekt 13-492.  
(2017b) Sluttrapportering til Enova Prosjekt 14-1045.  
(2017c) Sluttrapportering til Innovasjon Norge.





Gamle Beddingvei 2B  
N-1671 Kråkerøy  
Telephone: +47 69 35 11 00  
Fax: +47 69 34 24 94  
[firmapost@ostfoldforskning.no](mailto:firmapost@ostfoldforskning.no)  
[www.ostfoldforskning.no](http://www.ostfoldforskning.no)

