

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

2018

ISSN: 1503-9196

REALTEK rapport 59

Følgforskning Waterment sitt anlegg i Bjørkedalen -masse- og energibalanser, økonomi og klimanytte

Forfattere:

John Morken, NMBU

Tormod Briseid, NIBIO

Aina Stensgård, Østfoldforskning

Simon Saxegård, Østfoldforskning



Morken, J., Briseid, Stensgård, A., og Saxegård, S. 2018. **Følgforskning Waterment sitt anlegg i Bjørkedalen -masse- og energibalanser, økonomi og klimanytte** - REALTEK Rapport 59, 23 s.

Ås/Oslo, Januar 2020

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: Jon Hovland, SINTEF Tel-Tek

NØKKEWORD

Biogass, massebalanse, energipotensial, klimanytte

KEY WORDS

Biogas, mass balance, energy potential, environmental benefits

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

Forord

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

Ås 05.02.2020

John Morken

Sammendrag

Rapporten beskriver resultatene fra følgeforskningsprosjektet knyttet til biogassanlegget til bonde Sondre Skoglund i Bjørkedalen ved Porsgrunn. Prosjektet er finansiert av Innovasjon Norge, og er et underprosjekt i følgeforskningsprogrammet. Anlegget er Waterment sitt pilotanlegg for videreutvikling av teknologien til Waterment AS basert på forskning ved Høgskolen i Telemark, nå en del av Universitetet i Sørøst-Norge. Anleggets metanproduksjon, massebalanse og energiforbruk, samt anleggets investering- og driftsøkonomi vil bli drøftet i rapporten.

Rapporten baserer seg på to rapporter – en fra NIBIO og en fra Østfoldforskning.

Biogassanlegget til Sondre Skoglund, levert og driftet av Waterment AS, behandlet i forsøksperioden gjødsel tilsvarende om lag 1000 m³ blautgjødsel fra gris årlig. Dette utgjorde ca. 32 % av designkapasitet. Anlegget er et granulbasert, kompakt ABR-anlegg med kort hydraulisk oppholdstid. Svinegjødsel blir silt i gjødselkummen, og den silte gjødsla blir behandlet i en 10m³ reaktor av typen ABR (anaerobic baffle tank reactor) med patentsøkte endringer for å behandle partikkelrike substrater. Bioresten fra reaktor blir deretter pumpet tilbake til gjødselkummen hvor den kom fra før silingen.

I forsøksperioden, som var over 12 dager i november/desember 2017 (tre oppholdstider), ble mengdene av råstoff inn i anlegget registrert. Samtidig ble prøver tatt ut til analyser av innhold av tørrstoff (TS), organisk tørrstoff (beregnet som flyktig tørrstoff (VS)) og kjemisk oksidasjonsforbruk (COD)). Mengde og sammensetning av biogass ble også registret, samtidig med at utslipp av metan og ble beregnet.

Oppholdstida ble beregnet til 3,8 døgn. Det ble i gjennomsnitt produsert 7,8 m³ biogass per døgn. Beregnet mengde metan var 4,4 m³/døgn.

Den organiske belastningen på reaktorene ble beregnet til 2 kg VS/m³*døgn. Omsatt COD var i gjennomsnitt 12 kg per døgn, noe som var 25 % av tilført COD. Beregnet biogassutbytte for den silte grisegjødsla som inneholdt lett nedbrytbare bestanddeler og som var partikkelfattig, ble estimert til 139L CH₄ / kg TS eller 209L CH₄ /kg VS.

Det interne energibehovet i anlegget ble målt til 98 kWh/døgn, og med produksjon av energi gjennom metan på 44 kWh ville man fått netto energiforbruk på 54 kWh av produsert energi dersom energien i produsert metan ble utnyttet 100 %. Etter avtale med Innovasjon Norge ble følgeforskningen gjort selv om ikke anlegget hadde full belastning og produsert biogass ikke ble utnyttet. Det må bemerkes at metanen ble sluppet ut i atmosfæren uten å bli utnyttet, slik at anlegget forbrukte 98 kWh elektrisk energi per døgn. Når gasshåndteringsanlegg er installert, vil energiforbruket bli redusert til ca. 50 kWh per døgn når anlegget belastes med 32% av designkapasitet. Det må bemerkes at målingene ble foretatt på vinteren med lave lufttemperaturer og lav gjødseltemperatur. Høyere lufttemperaturer vil gi lavere energiforbruk.

Økonomiberegninger er foretatt på grunnlag av estimerte anleggskostnader for tilsvarende anlegg til et vanlig gårdsbruk. Dette ble gjort fordi anlegget har vært gjennom flere ombygginger i tillegg til at det er bygd som et forskningsanlegg med komponenter som ikke anses nødvendig for kommersiell drift. I økonomianalysene beregnes anleggets bedriftsøkonomi både med- og uten støtteordninger. Støtteordningene som er vurdert i analysen er investeringsstøtte fra staten, utviklingsstøtte fra Innovasjon Norge, samt tilskudd for levering av svinegjødsel til biogassanlegg ettersom dette er relevante støtteordninger for denne typen anlegg. Anlegget har per i dag kun mottatt støtte fra Innovasjon Norge.

Beregninger av økonomi viser at anlegget slik det var i forsøksperioden ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomt, men kan bli det dersom det gjøres energiøkonomiserende grep, gassen utnyttes og forutsatt

at anlegget mottar investeringsstøtte fra Innovasjon Norge og driftsstøtte fra Landbruksdirektoratet (beregnet internrente = 23 %). Uten støtte er anlegget ikke bedriftsøkonomisk lønnsomt ved forutsetningene om årlig energiproduksjon og salgspriser for el og varme i denne rapporten.

Netto klimagassutslipp per tonn behandlet bløtgjødsel fra svin ble beregnet til 3 067 kg CO₂-ekv, 47 kg CO₂-ekv per tonn TS for henholdsvis ikke utnyttning og utnyttning av gassen til energiformål. Med tilhørende årlige behandlingsmengder medfører disse scenariene årlige netto klimagassutslipp på henholdsvis 36,33 tonn, og 0,6 tonn CO₂-ekv.

ABR reaktoren fungerte stabilt i testperioden hvor det ble benyttet en hydraulisk oppholdstid på ca. 3,8 døgn.

Abstract

The report deals with the results from the follow-up project related to the biogas plant of Søndre Skoglund in Bjørkedalen near Porsgrunn. The project is funded by Innovation Norway, and is a subproject in the follow-up program. The plant is Waterment's pilot plant for further development of the technology, which has been invented in co-operation of The University of Southeastern Norway and Waterment AS.

The report is based on two reports - one from NIBIO and one from Østfold Research.

Slurry from swine production is sieved in the storage tank, and the sieved slurry is treated in a 10m³ ABR (anaerobic baffle tank reactor) reactor including patented pending changes to process particle rich substrates. The digestate from the reactor is then pumped back to the storage tank where it came from before it was treated. Based on the trial period the annual treatment investigated was nearly 1,000m³. This is 32% of the design capacity of the reactor.

During the trial period, which was over 12 days in November / December 2017 (three retention times), the amounts of raw material into the plant were recorded. At the same time, samples were taken for analyses of dry matter (TS), organic dry matter (calculated as volatile solids (VS)) and chemical oxidation (COD)). Amount and composition of biogas were also recorded, while methane emissions were estimated.

The residence time was calculated for 3.8 days. On average, 7.8 m³ of biogas was produced per day. Estimated amount of methane was 4.4 m³/day.

The organic loading rate was calculated to 2 kg VS/m³ and day. Conversely, COD loading was 12.13kg per day, and 25% of COD was destroyed and formed biogas. Estimated biogas yield for the easily biodegradable and sieved manure was 139L CH₄ / kg TS or 209L CH₄ /kg VS.

The internal energy requirement in the plant was calculated at 98 kWh/day and with energy output of 44 kWh methane, 54 kWh of energy would be consumed if energy in methane was utilized 100%. It should be noted that the methane was released into the atmosphere without being exploited, so that the plant consumed 98 kWh of electrical energy per day. Innovation Norway requested that the trial should be carried out even though the gas was not utilised, and the capacity was only partly used. When equipment for the use of the gas is installed, the energy consumption will be reduced to approx. 50 kWh per day. One should also take into consideration that the measurement was done during a winter period with low air temperatures and low temperature of the manure. Higher air temperatures will give lower energy consumptions.

Economic calculations have been made on the basis of estimated plant costs for corresponding plants for a normal farm. This was done because the plant has been through several redesign, and in addition, the plant was built as a research facility with components not considered necessary for commercial operation. Calculations of the economy are also subject to uncertainty but showed that even with investment support from Innovation Norway as well as operating subsidies from the Norwegian Agricultural Directorate, the plant had a negative annual result, present value and internal interest rate.

Calculations of economy show that the plant as it was during the trial period is not commercially viable, but can be if energy-efficient measures are taken, the gas is utilized and provided the plant receives investment support from Innovation Norway and operating subsidy from the Directorate of Agriculture (calculated internal rate = 23%). Without support, the plant is not commercially viable under the assumptions of annual energy production and sales prices for electricity and heat in this report.

Net greenhouse gas emissions per ton of treated slurry manure from pigs were calculated at 3,067 kg CO₂ eq, and 47 kg CO₂ eq per ton TS for non-utilization and utilization of the gas for energy purposes, respectively. With related annual volumes of treated slurry, these scenarios result in annual net greenhouse gas emissions of 36.33 tons and 0.6 tons CO₂ eq.

The ABR reactor operated stable during the test period using a hydraulic residence time of approx. 3.8 days.

Innholdsfortegnelse

Innledning	9
Beskrivelse av anlegget.....	9
Massebalanse	12
Energibalanse.....	13
Utslipp.....	13
Modellering og beregninger til bruk i økonomi- og miljøanalysen	14
Økonomi	17
Miljøanalyse og klimanytte.....	20
Konklusjon.....	23
Litteratur	24

Vedlegg 1: Briseid, T. og Morken, J. 2018. *Biogassanlegget hos Søndre Skoglund - Følgeforskningen - Dokumentasjon av drift*. NIBIO rapport Vol. 4, Nr. 104.

Vedlegg 2: Saxegård, S.A., Stensgård, A.E. ,Raadal, H.L. og Lyng K.A. 2018. *Følgeforskning: Telemarksreaktoren Skoglund - Miljø- og økonomianalyse*, Rapport OR. 03.18, Østfoldforskning, Fredrikstad.

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 eies av Sondre Skoglund. Prosjekteringen og byggingen av anlegget ble utført i 2014. Anlegget ble bygd av firmaet Waterment, og skal bidra til rimelige løsninger for biogassutnyttning i landbruket. Anlegget er et pilotanlegg for videreutvikling av teknologien, og mangler utstyr for gassutnyttning og gassfakkell da dette ikke var installert ennå.

Som et ledd i Stortingets klimaarbeid har Klima- og miljødepartementet bevilget midler til Innovasjon Norge for investeringer i- og følgeforskning av fullskala pilotanlegg for biogass. Formålet med støtten er å tilrettelegge for testing av teknologi for biogass i mindre skala på gårdsnivå. Sondre Skoglund og Waterment har mottatt utviklingsstøtte fra Innovasjon Norge, og biogassanlegget 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 rapporten fra NIBIO (**Biogassanlegget hos Sondre Skoglund – Følgeforskningen – Dokumentasjon av drift**), og den andre er rapporten fra Østfoldforskning (**Følgeforskning Telemarksreaktoren Skoglund - Miljø- og økonomianalyse**) ligger som vedlegg til denne rapporten.

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.

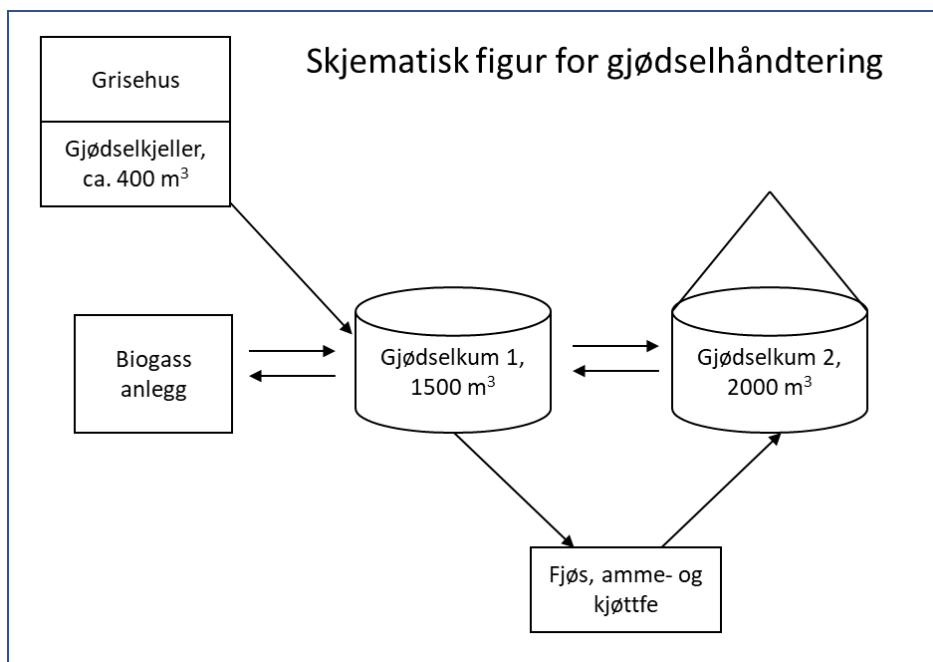
Beskrivelse av anlegget

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

Gården til Sondre Skoglund ligger i Bjørkedalen rett øst for Porsgrunn. På gården har det i lengre tid vært svineproduksjon, avlspurker med salg av smågris, salg av drektige purker og noe slaktesvin. For håndteringen av blautgjødsla fra grisene er det en ca. 400 m³ gjødselkjeller under grisehuset og en åpen betongkum på ca. 1500 m³ – gjødselkum 1 (Figur 1).

Sommeren 2017 ble det satt opp nytt fjøs for storfe og en ny gjødselkum med duktak på ca. 2000 m³ gjødselkum 2 (figur 1). Når den nye gjødselkummen nå er satt opp er det lagt opp til mulighet for pumping av gjødsel mellom de to kummene, men også for å kunne pumpe fra gjødselkum 1 ned til storfefjøset. Storfefjøset har spaltegulv og renner for flytegjødsel. I en liten kum utenfor fjøset er det montert en kraftig pumpe for å kunne spyle rennene. Tilsats av grisemøkk med mye lavere tørrstoff enn storfemøkk kan gi bedre skylling av rennene. Det er også lagt opp til at regnvann fra fjøset kan ledes inn i rennene, men bruk av grisemøkk gir redusert totalvolum på møkk. Dette er en fordel med tanke på utkjøring av møkk, men også for biogassprosessen er det en fordel å unngå uttytning med regnvann.

Siden storfefjøset ble tatt i bruk høsten 2017 har det bare blitt pumpet opp storfegjødsel til gjødselkum 2 og det er ikke overført storfemøkk til gjødselkum 1. Biogassanlegget som skal dokumenteres er knyttet til gjødselkum 1. Det vil si at hele forsøksperioden omtalt i denne rapporten er biogassanlegget bare kjørt med bløtgjødsel fra gris. Figur 2 viser en skisse over gjødselhåndteringen i dokumenteringen.



Figur 1. Forenklet flytskjema for biogassanlegget til Søndre Skoglund.



Figur 2. Venstre bilde: Fra høyre mot venstre: biogass reaktorhus med integrerte varmevekslere, pumpekum for retur i rustfritt stål, bod for instrumentering og varmtvannskjel. Reaktoren til høyre. Høyre bilde: Gjødseltank 1 med fødepumpen og returstrømmen plassert om lag en kvartsirkel avstand.

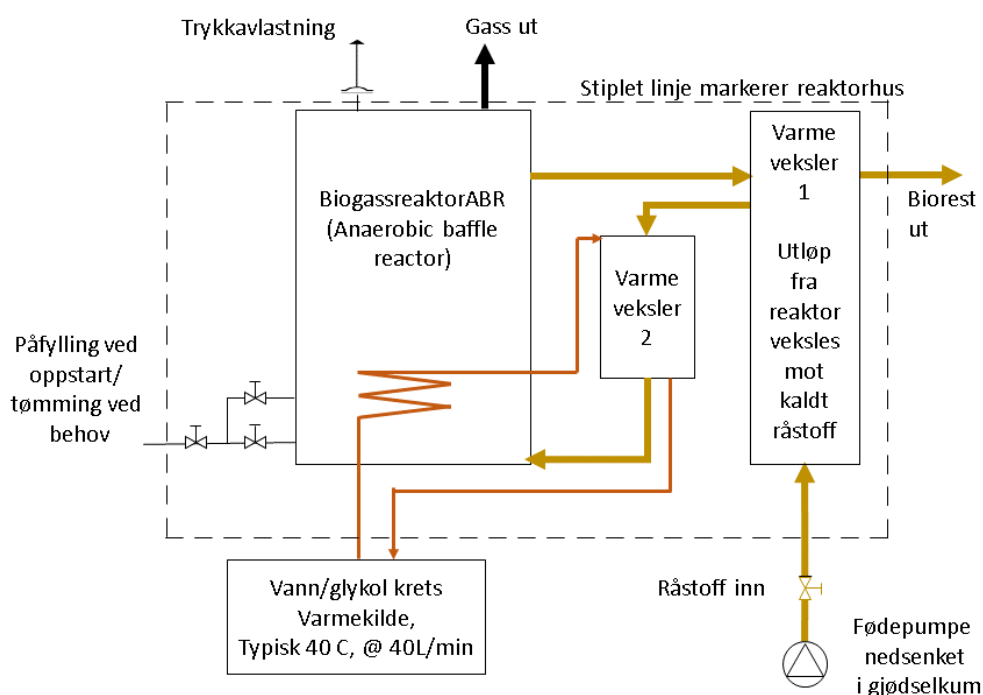
Biogassreaktoren er en ABR-reaktor (Anaerobic Baffle Reactor). Ifølge leverandøren gir denne typen reaktor i forhold til konvensjonelle reaktorer en mikrobiell kultur i form av granuler som dannes på grunn av utformingen av strømningsforholdene i reaktoren. Disse granulene har høyere tetthet enn vann, og blir derfor værende igjen i reaktoren når gjødsla føres inn i bunn og biorest tas ut på toppen. Waterment sin ABR reaktor har ifølge leverandøren indre strukturer i reaktoren for å gi et strømningsmønster, som bidrar til å hindre at granuler følger med ut av reaktoren. Ifølge leverandøren kan man belaste reaktoren med mer partikulært materiale enn andre granulbaserte reaktorer før partiklene «tar med seg» granulene ut av reaktoren. Dette prinsippet er patentsøkt (NO 20170077). Netto aktivt volum på reaktoren er ca. 10 m³.

Blautgjødsla pumpes til biogassreaktoren med en dykket fødepumpe som henger ned i gjødselkummen fra en plattform på toppen av kummen. Denne pumpen er plassert inne i en silke med en lysåpning på ca. 2 mm, for å hindre større partikler i å komme inn i reaktoren (figur 3).

Gjødsla går i rør bort til reaktoren via varmeveksler 1 som blir varmet opp av bioest som går fra reaktoren. Gjødsla går videre til varmeveksler 2 hvor den varmes ytterligere opp ved hjelp av en varmekrets med glykol/vann. Denne varmekretsen holder typisk 40 C. Det er en Danfoss sirkulasjonspumpe på denne kretsen (ikke tegnet). Gjødsla går videre inn i bunn av reaktoren. Det er en rustfri stålcoil inne i reaktoren for å bidra til oppvarmingen.

Tilførsel av nytt substrat skjer støtvis (reaktoren driftes semi-kontinuerlig) ved at en bestemt mengde gjødsla pumpes inn i bunn av reaktor, og det er et opphold til neste støt.

J. Hovland 27.11.2017



Figur 3. Skjematisk tegning av biogassanlegget.

Produsert bioest renner ut av reaktoren, over i varmeveksler 1 for å varme opp innkommende føde. Overskudd av væske renner ut i pumpekum og pumpes tilbake til gjødselkum 1, det vil si at vi får en resirkulering av produsert bioest som blandes med gjødsla fra grisefjøset. Det vil igjen si at noe gjødsla vil kunne passere biogassreaktoren én eller flere ganger mens annen gjødsla forblir ubehandlet, noe avhengig av gjødselkummens utforming og omrøringsprosedyrer. I anlegget er utløpet fra reaktoren plassert på toppen av betongveggen for å lede retur bort fra inntaket og i ca. en fjerdedels lengde av kummens periferi fra der fødepumpen er plassert (figur 4).

Gjødsla som behandles kommer fra om lag 100 årspurker med 7 runder med grising per år. Dette gir om lag 350 grisunger per pulje, det vil si totalt 2450 grisunger per år. Av hver pulje blir 1750 solgt ved en vekt på 30 kg mens de resterende (de antatt beste av hunkjønn) blir solgt etter hvert i litt

forskjellig størrelse. Gjødsmengden fra disse tilsvare ifølge Sondre Skoglund om lag 700 slaktesvin per år når det gjelder gjødselproduksjon.

Standardtall for mengde gjødsel, tørrstoffinnhold og innhold av næringsstoffer for ulike kategorier gris (Nesheim og Sikkeland 2013). Disse tallene er brukt til å beregne mengde gjødsel og næringsstoff gjennom ett år fra 100 årspurker, 1750 smågris og 700 slaktegriser.

Den totale årlige produksjon av bløtgjødsel beregnet på dyretall er på 971 tonn, eller 69 tonn gjødseltørrstoff. Denne gjødsla inneholder i alt 5,44 tonn total-N, 3,64 ammonium-N og 870 kg fosfor. Gjødsmengden vil kreve et spredeareal på ca. 250 dekar. Estimater for mengde bløtgjødsel er veldig avhengig av tørrstoffinnholdet. I beregningene er det brukt en gjennomsnittlig tørrstoffprosent 7,1. Dersom tørrstoffinnholdet bare er 4 %, vil mengde bløtgjødsel øke til 1725 tonn. Rengjøring mellom hver runde tilfører vann og eksempelvis vil en åpen kum med et areal på om lag 400 m² og opp mot 1m nedbør gi et betydelig vanntilskudd, og en tilsvarende reduksjon i TS. Men brutto mengde utskilt næringsstoff vil ikke variere med tørrstoffinnholdet. Føringa og andre driftsfaktorer kan nok påvirke innholdet av næringsstoffer, men griseproduksjonen er veldig standardisert, og derfor er variasjonen i næringsinnhold relativt liten. Derimot vil utnyttelsesgraden av næringsstoffene variere mye med vanninnhold, lagrings- og spredemåter.

Massebalanse

Pumpetid for innpumping var i forsøksperioden 70 sekunder (ca. 74,7 L) og mellom hver gang pumpen startet gikk det 2434 sekunder. Det vil si innpumping hver 40 minutter 34 sekunder. Det tilsvarer 35,5 innpumperinger per døgn = $35,5 \times 74,7 = 2,65 \text{ m}^3/\text{døgn}$.

Observasjon av inn- og utpumping ble gjort daglig. HRT (Hydraulisk oppholdstid) i testperioden var lik: $10 / 2,65 = 3,77 \text{ døgn}$.

For å hindre heverteffekt på fødeledning er det satt på en liten slange som lufter på øverste punkt, der hvor føden føres over betongkanten på gjødselkummen. Mens pumpen går renner det ut litt møkk fra denne tynne slangen tilbake i gjødselkummen. Når pumpen stopper suges det litt luft inn i slangen. Det vil si at noe av denne luften følger med inn i reaktoren ved neste innpumping.

Ved innpumping er det noe forsinkelse mellom start og at væske begynner å renne ut av reaktoren. Det vil si at væskevolumet øker inne i reaktoren, og at det dermed presses ut gass. I denne forsøksperioden, når det pumpes inn 70 liter hver gang er det observert at det bare presses væske ut av reaktoren for hver annen innpumping - og da renner det ut 140 liter til pumpekummen.

Produsert mengde biorest ble registrert på mandager, onsdager og fredager. Gassproduksjonen ble i snitt målt til 323,7 liter per time eller avrundet til 7,8 m³ per døgn. Innholdet av metan ble målt til 57 %.

Gjennomsnitt for perioden ble 3,1 kg organisk materiale (kg VS_{inn} – kg VS_{ut}) per dag omsatt til biogass. Den organiske belastningen på reaktorene ble beregnet til 1,94 kg VS/m³ og døgn. Kjemisk oksygenforbruk ble redusert med 12,13 kg per døgn. Totalt ble det gjennomsnittlig tilført 48,8 kg COD, noe som betyr at 25 % av COD ble omsatt til biogass. Dette tilsvarer en teoretisk metanmengde på 4,3 m³/døgn, noe som avviker lite fra beregnet metanproduksjon basert på gassproduksjon og – sammensetning (4,4 m³/døgn).

Det går med henholdsvis 2, 3 ½ og 5 mol O₂ til fullstendig oksidasjon av ett mol acetat, propionat og butyrat/iso-butyrate. Den målte reduksjonen av disse fettsyrene tilsvarer en COD-reduksjon på 9,4 kg. Hvis valerate og iso-valerate (målt i Gjødselkum 1 av HSN) omsettes like effektivt som butyrate og iso-butyrate vil hele 11,8 kg COD av 12,4 kg målt COD-reduksjon skyldes omsetning av fettsyrer til metan.

Energibalanse

Utetemperaturen ble målt på stedet og lå stort sett i området 0 til -8 grader C i testperioden. Temperaturen i gjødselkummen lå på mellom 1 og 0 grader C, og overflaten var dekket med et tynt islag.

Temperaturen i reaktortanken lå stabilt på 31 grader C i forsøksperioden.

Temperaturen i returkummen var på ca. 17 grader C, noe som innebærer at varmeveksler 1 gjenvinner om lag 47% av varmeenergien i bioresten. (Bioresten avkjøles med 14 grader av en total differens på 30 grader mellom reaktortank og gjødselkum: $14/30 = 47\%$).

El-forbruk benyttes til fødepumpe, returpumpe, Høiax 4,5 kW el-kassett for oppvarming av vann/glykolkrets, sirkulasjonspumpe for vann/glykol, varmekabler (føderør, returrør biorest, vann til anlegget) og strøm til styringssystem (PC), modem internett og belysning.

Beregnet El-behov til oppvarming av føde inn: Netto oppvarming av føden ble beregnet til 49 kWh/døgn.

I tillegg kommer varmetilførsel for å kompensere for varmetap fra reaktor. Varmekabel på føderøret bidrar til oppvarming, slik at føden går inn på varmeveksler 1 med noe høyere temperatur. Volumet av føderøret er imidlertid så lite at dette bidraget er neglisjerbart.

Det daglige strømforbruket ble målt til 98 (+/- 2) kWh per.

Oppvarming av vann/glykol-krets er største forbruket, deretter varmekabler til frostsikring. En mere spesifisert oversikt:

- Varmekabler, PC, modem og annet forbruk (varmekabler utgjør mer enn 90% av dette når det er fare for frost): 0,7 kW kontinuerlig 24 t/døgn = 16,8 kWh/døgn
- Fødepumpe 0,54 kW, 35,5 ganger per døgn 70 sekunder per gang = 0,37 kWh/døgn
- Returpumpe 0,273 kW 17,75 ganger per døgn 265 sekunder per gang = 0,36 kWh/døgn
- Sirkulasjonspumpe vann/glykol 0,05 kW kontinuerlig = 1,2 kWh/døgn
- Beregnet oppvarmingsbehov føde $1,16 \text{ kWh/m}^3 \cdot \text{K}$ (spesifikk varme for vann) * 2,65 $\text{m}^3/\text{døgn}$ * 16 K (hevet temperatur føde/retur) = 49 kWh/døgn

Sum av dette er om lag 68 kWh/døgn. Varmetap anses å være differansen mellom forbrukt, 98 kWh/døgn, og denne summen, det vil si om lag ~30 kWh/døgn. Varmetapet vil avhenger av utetemperatur.

Beregnet energiproduksjon per døgn var 44 kWh ($7,8 \text{ m}^3$ biogass * 57 % metaninnhold * 10 kWh/ m^3). Differansen mellom produsert og forbrukt energi var derfor -54 kWh/døgn, noe som betyr at anlegget brukte mer energi enn det det produserte ved utnyttelse av 32% av designkapasitet og ikke optimalisert drift.

Utslipp

Siden biogass som produseres i anlegget ikke brukes, vil all produsert biogass gå til utslipp. Totalt fra biogassreaktoren er utslippet på $4,4 \text{ m}^3$ metan per døgn. Dette utslippet vil bli eliminert når gasshåndtering er installert og tatt i bruk. Vi har dessverre ikke erfaring hvordan denne type anlegg hvor behandlet gjødsel blir tilbakeført til lager og hvordan dette påvirker utslippet. Det er imidlertid gjort måling som viser at metankonsentrasjonen i lagerkummen er 0.

Modellering og beregninger til bruk i økonomi- og miljøanalysen

Økonomi- og miljøanalysene av biogassanlegget Telemarksreaktoren Skoglund tar utgangspunkt i tre scenarier:

- Scenario 1: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg, ingen utnyttelse av produsert biogass, slippes ut i atmosfæren, 32,3 % utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (970 tonn v.v. bløtgjødsel).
- Scenario 2: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg med varmeproduksjon for lokal utnyttelse, 32,3 % utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (970 tonn v.v. bløtgjødsel)..
- Scenario 3: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg med varmeproduksjon for lokal utnyttelse, 80% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (2400 tonn v.v. bløtgjødsel).

Anlegget behandler i dag bløtgjødsel fra svin, men det er mulig å sambehandle svinegjødsel med gjødsel fra kjøttfe. De to scenariene bygger på målte verdier fra Briseid & Morken (2018), samt supplerende litteraturdata. Telemarksreaktoren er en småskala ABR reaktor (Anaerobic Baffle Reactor) som er en reaktortype som ofte benyttes av industri med organisk materiale oppløst i vannfase, og derav lavt partikkelinnhold i føden.

Installasjonen hos Sondre Skoglund har vært et pilotanlegg for denne typen substrat og anleggsstørrelse, og fungerer derfor både som et forskningsanlegg og som et behandlingsanlegg for bløtgjødsel. Ved å sile ut partikler i bløtgjødsel, får man et substrat som egner seg for ABR, men til gjengjeld behandler kun en andel av omsettelig VS. Driften av et pilot- og forskningsanlegg antas å ha høyere driftskostnader enn et kommersielt anlegg grunnet hyppigere utskiftninger av komponenter, eksperimentering med ulike teknologiske løsninger, samt høyere andel aktive arbeidstimer knyttet til forsøk og målinger. Dette kommer i tillegg til vanlig drift, og det er derfor i denne analysen, som i tidligere følgeforsknings-rapporter, forsøkt å analysere såkalt «normal drift» som innebærer at timer, kostnader og utslipp knyttet til selve forskningsprosessen ikke inngår i datagrunnlaget.

I Scenario 3 er den totale kapasiteten på anlegget satt til 3 000 tonn våtvekt per år. Ved å utnytte 80 % av dette vil mengden grisejødsel som blir behandlet økt fra forsøksperiodens 970 m³ til 2400 m³. Dette kan oppnås ved å øke pumperaten eller at dyretallet øker. I tillegg forutsettes det at gjødsel pumpes direkte fra gjødselkjeller i stedet for via gjødselkum, hvilket bidrar til økt TS-innhold ved at man unngår regnvann i substratet. Dette øker biogassutbyttet per tonn våtvekt substrat behandlet. I tillegg antas at rørstrekkene mellom reaktor og gjødselkjeller legges parallelt, i stedet for adskilt, slik at spillvarmen fra returrøret kan utnyttes. Dette medfører høyere temperatur (ca. 6 grader) på substratet. Totalt sett er det antatt at dette bidrar til halvering av energibruket knyttet til oppvarming av reaktor og frostsikring av rør, hvilket antas å være et konservativt anslag.

Tabell 1 viser forutsetningene for de tre scenariene i miljø- og økonomianalysen av biogassanlegget. Produsert varme er beregnet ut fra oppgitt substratmengde, energibruk, oppholdstid, andel biogass som fakles, samt beregnede biogassmengder fra Briseid & Morken (2018). Oppholdstiden til bløtgjødsel fra svin er 3,77 døgn, som basert på behandlet mengde v.v. i forsøksperioden gir en kapasitet på 970 tonn våtvekt til behandling. Grunnet sedimentering, utsiling og kort oppholdstid, brytes kun en liten andel av tørrstoffinnholdet ned. Det forventes imidlertid at mesteparten av tilgjengelig VFA (Volatile fatty acids) blir nedbrutt. Basert på målinger fra måleperioden (utført av SINTEF Tel-Tek) og beregninger fra NIBIO, kan det antas at 23% av behandlet TS og 34,4% av VS brytes ned under utråtningen. Beregnet biogassutbytte for den lett nedbrytbare og partikkelfattige bløtgjødselen er 139L CH₄/kg TS eller 209L CH₄/kg VS.

Biogassanlegget hos Skoglund ble i forsøksperioden tilført en gjødselmengde som tilsvarer 970 tonn våt vekt (v.v.) svinegjødsel per år. Basert på målte verdier for tørrstoff-andel (1,22 % TS) for

substratet, tilsvarer dette en behandlet mengde på 11,83 tonn TS. I et tenkt Scenario 3 for Telemarksreaktoren med 80% kapasitetsutnyttelse og høyere TS innhold (7% TS) er det potensielt mulig å behandle en mye større mengde (168,2 tonn TS) bløtgjødsel fra svin per år.

Tabell 1. Forutsetninger for scenarioanalysene av miljø- og økonomi for biogass-reaktoren hos Skoglund.

Skoglund, Telemarksreaktoren	Scenario 1: Dagens situasjon, 32,3% utnyttelse av reaktor	Scenario 2: 32,3% utnyttelse av reaktor, og energiutnyttelse	Scenario 3: 80% utnyttelse av reaktor og energiutnyttelse	Enhet
Bløtgjødsel, svin	970	970	2 400	Tonn
Biogass produsert	1 640	1 640	8 967	Nm3
Varme produsert	0	14 210	33 157	kWh
Biogjødsel	967	967	2389	Tonn
Andel faklet	0%	0%	2,6%	Andel

Verdiene som er brukt i denne analysen er basert på målinger i følgeforskningsperioden 31.10.2017 – 07.12.2017. Litteratur er komplementert for huller i datagrunnlaget eller som kvalitetssikring og begrunnelse for hvorfor gitte situasjoner kan eller har oppstått. Biogassanlegget hos Skoglund er beregnet å kunne motta totalt 970 tonn våt vekt (v.v.) svinegjødsel per år med utgangspunkt i forhold fra forsøksperioden hvor det ble behandlet 2,65m³ per døgn. Basert på angitte verdier for tørrstoffandel (TS%) for behandlet bløtgjødsel etter utvanning fra regnvann etterfulgt av sedimentering og utfiltrering av partikler i silkasse (ned til 1,22 %) tilsvarer dette en årlig behandlet mengde på 11,83 tonn TS. Behandlet mengde TS utgjør derfor 17,4 % av tilgjengelig TS. Følgelig er det 82,6 % TS som forblir ubehandlet. Med oppgitt behandlet mengde v.v går reaktoren på 32,3 % av designkapasitet som danner grunnlaget for Scenario 1 og 2. I et tenkt Scenario 3 med 80 % kapasitetsutnyttelse uten innblanding av regnvann, sedimentering eller silkasse er det mulig å behandle omtrent 168 tonn TS bløtgjødsel fra svin. Det er imidlertid usikkert hvorvidt høyere partikkelinnhold kan behandles i dagens Telemarksreaktor som baserer seg på granuler best anvendt for fettsyrer hvor hydrolysering ikke er nødvendig (Briseid & Morken 2018).

Tabell 2 viser beregnede verdier for per biogjødsel i de to scenariene, uten energiutnyttelse av biogass og energiutnyttelse av biogass.

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

Mengder ut biogjødsel	Scenario 1: Dagens situasjon, 32,3% utnyttelse av reaktor	Scenario 2: 32,3% utnyttelse av reaktor, og energiutnyttelse	Scenario 3: 80% utnyttelse av reaktor og energiutnyttelse	Enhet
Biogjødsel levert ut (tonn)	970	970	2 389	Tonn
Biogjødsel TS (%)	0,95 %	0,95 %	6,7%	Andel
Biogjødsel TS (Behandlet)	9,1	9,1	15,9	Tonn
Nitrogen (% av TS)	10,25 %	10,25 %	8,5 %	Andel
Nitrogen levert ut	937	937	9 022	kg
Fosfor (% av TS)	0,9 %	0,9 %	0,9%	Andel
Fosfor levert ut	96	96	1 383	kg

Målinger fra SINTEF Tel-Tek viser et energibruk på 98 kWh/ døgn, hvor behandlet mengde utgjør 2 651 L med 1,22 % TS (tilsvarende 32,3 kg TS pr døgn) (Briseid & Morken 2018). For 970 tonn v.v. behandlet substrat er energiforbruket estimert til 3031 kWh/tonn TS eller 35 875 kWh per år basert på 365 driftsdøgn per år. Hvis en hadde forventet omtrent 330 driftsdøgn per år ville reaktoren ha behandlet 875 tonn v.v. og 10,7 tonn TS med en total energiproduksjon på 12 818 kWh varme.

Dersom biogassen utnyttes, er det beregnet et energiutbytte på omtrent 14 210 kWh. Det er antatt et metanslipp fra reaktoren på 0,1% samt en varmekjel med netto virkningsgrad på 87% hvor 90% utnyttes igjennom hele året. Det er ikke antatt økt energibehov ved introduksjon av varmekjel. Årlig energiforbruk i biogassanlegget hos Skoglund er 35 905 kWh elektrisitet og varme. Energiregnskapet tilsier at rundt 40 % av anleggets eget energiforbruk kan teoretisk dekkes fra biogassproduksjonen, som betyr at anlegget er energinegativt (Scenario 2). Ved 80% utnyttelse vil anlegget kunne produsere mer energi enn det bruker (Scenario 3).

I Telemarksreaktoren er oppholdstiden målt til 3,77 døgn i forsøksperioden og det er hovedsakelig oppløste fettsyrer som behandles. Den lave nedbrytningsgraden og filtrering gjør at det er vesentlig større andel nedbrytbart materiale tilgjengelig i lagringstanken. I forbindelse med store usikkerheter knyttet til direkteutslipp fra kombinert gjødsel- og biorestlager er tre matematiske tester utarbeidet for å se på mulige utslippsprofiler med og uten biogassproduksjon fra bløtgjødsel. Testene tar utgangspunkt i scenario 1 (Test A) og 2 (Test B) samt uten behandling (ingen biogassproduksjon) (Test C) og baseres på mengden TS (68 tonn) per 970 tonn v.v. fra gjødselkjeller hvor det i test A og B behandles 11,83 tonn TS (970 tonn v.v. med 1,22% TS) anaerobt med biogassproduksjon. I denne studien er det fastsatt et metanutslipp på 12% av gjenværende biogasspotensiale fra bioresten beregnet ut i fra tallgrunnlag fra Amon et al. (2006). Beregningen for metanutslipp fra gjødseltank tar utgangspunkt i målt metanutslipp ($CH_{4,utslipp}$) fra etterlagring delt på maksimalt metan utbytte ($CH_{4,max}$) minus faktisk metanutbytte ($CH_{4,utbytte}$): $CH_{4,utslipp} / (CH_{4,max} - CH_{4,utbytte}) = CH_{4,utslipp}\%$. Selv om det i Amon et al., 2006 er storfe gjødsel det dreier seg om antas det at samme matematiske formel er gjeldende andre substrater. 12 % metanutslipp av gjenværende metan potensiale tilsvarer ca. 3,35% av produsert. Det er imidlertid kun behandlet TS andel som har redusert metanutslipp. Metanutslippet fra ubehandlet gjødsel er satt til 4,83 kg CH_4 / tonn TS (Modahl et al. 2016).

Økonomi

Økonomianalysen analyserer Telemarksreaktoren hos Skoglund der kostnader knyttet til forsknings-, utviklings- og testaktivitetene er ekskludert. Dette er gjort for å belyse det økonomiske potensialet for et biogassanlegg som Telemarksreaktoren er i nåværende fase.

Analysen vurderer anleggets bedriftsøkonomi for de to scenariene, både med- og uten støtteordninger. Støtteordningene som inngår i analysen er investeringsstøtte og tilskudd for levering av svinegjødsel til biogassanlegg. Andre støtteordninger som juridiske virkemidler o.l. er ikke vurdert. Anlegget har per i dag kun mottatt støtte fra Innovasjon Norge.

Det presiseres at økonomianalysen kun ser på økonomien for biogassanlegget Telemarksreaktoren hos Skoglund. Eventuelle kostnader oppstrøms- eller nedstrøms for anlegget er ikke vurdert.

Som nevnt i metodekapittelet tar økonomianalysen ikke utgangspunkt i reelle påløpte investeringskostnader for biogassanlegget, men bygger i stedet på estimerte kostnader basert på en kommersiell versjon av anlegget. Dette skyldes at biogassanlegget i dag fungerer som et anlegg for forskning, utvikling og testing av substrat og biogassteknologi.

Økonomianalysene gir en sammenlikning av anleggets økonomi basert på dagens løsning der biogassen ikke utnyttes, antatt fremtidig løsning der biogassen utnyttes lokalt til varmeproduksjon. I tillegg analyseres et tredje scenario, som representerer Telemarksreaktoren slik den kan fungere, dersom det gjøres større justeringer knyttet til kapasitetsutnyttelse, energibruk og TS-innhold i substratet.

Waterment har oppgitt at total investeringskostnad for Telemarksreaktoren tilsvarer 1 million NOK. Dette inkluderer grunnarbeider, rør, pumper, strøm- og vanntilførsel og anlegg for utnyttelse av gassen til varme. Det antas at Telemarksreaktoren kan oppnå 40 % investeringsstøtte slik at investeringsbehov etter investeringsstøtte blir 0,6 million NOK.

Ett av vurderingskriteriene som ofte brukes ved tildeling av investeringsstøtte er spesifikke investeringskostnader (investeringskostnad per energienhet (NOK/kWh). Tabell 3 viser summen av investeringskostnader og energiproduksjon, samt spesifikke investeringskostnader (NOK/kWh) for scenariene.

Tabell 3. Investeringskostnader, energiproduksjon og spesifikk investeringskostnad for scenariene.

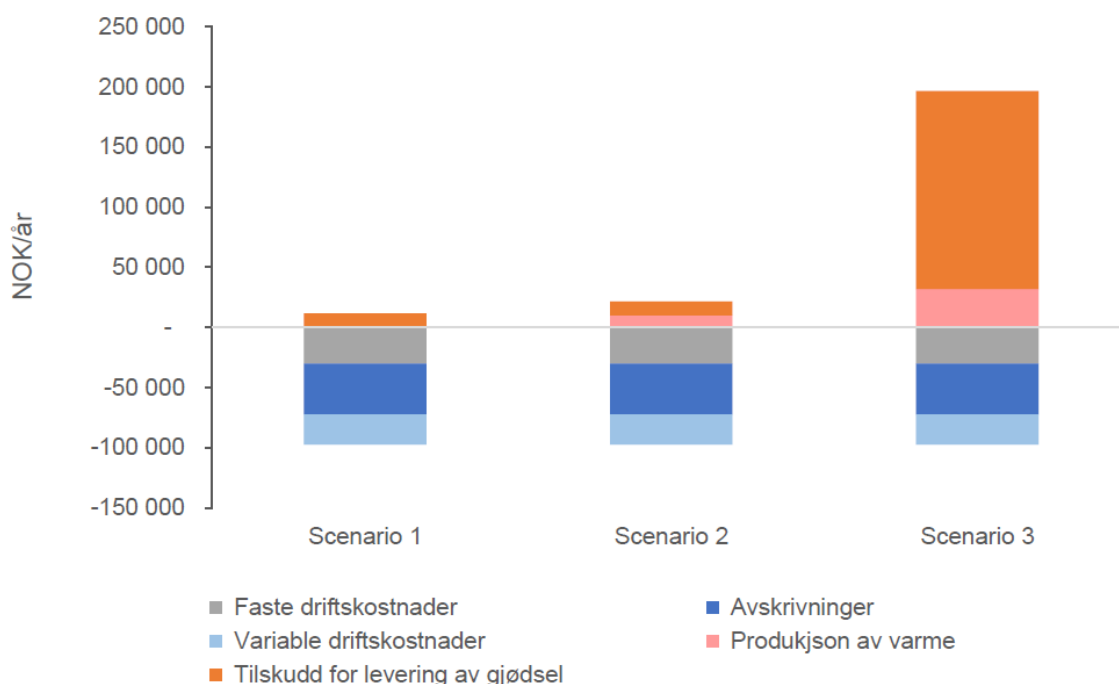
	Dagens situasjon	Med energiutnyttelse	Justert anlegg med energiutnyttelse	Enhet
Investering	1	1	1	Mill NOK
Energiproduksjon	0	14 210	45 529	kWh/år
Spesifikk investeringskostnad	N/A	70	22	NOK/kWh

Spesifikk investeringskostnad er ikke relevant for Scenario 1, dagens løsning, da anlegget ikke produserer energi. For Scenario 2 og 3 utgjør spesifikk investeringskostnad henholdsvis 70 NOK/kWh og 22 NOK/kWh. Enovas hovedportefølje av industrielle biogassanlegg har ligget mellom 1,4 til 4,5 NOK/kWh, noe som kan indikere at Telemarksreaktoren har en relativt høy spesifikk investeringskostnad, men i og med at Telemarksreaktoren er et gårdsanlegg og ikke et industrielt anlegg er det vanskelig å gjøre direkte sammenlikninger.

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

Figur 4 er en forenklet illustrasjon av driftskostnadene og driftsinntektene fordelt ulike kostnads- og inntektskomponenter for de tre scenariene. Positive verdier er inntekter og negative verdier er kostnader. For produksjon av el og varme er det antatt en alternativkostnad tilsvarende 70 øre/kWh, den samme prisen er brukt for kjøp av el. Faste driftskostnader er antatt å tilsvare 30 000 NOK/år. Tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegget er beregnet på grunnlag av målt leveranse inn til anlegget (mengde gjødsel inn, multiplisert med vektingsfaktor basert på TS-innhold og støttesats tilsvarende 500 NOK/tonn). Avskrivningene er beregnet ut fra levetid på 20 år og rentesats på 3,5 %, og forutsetter 40 % investeringsstøtte. Verdiene er beregnet ved å multiplisere enhetskostnader/-inntekter med målt/beregnet produksjon og innsatsfaktorer, og forutsetter like enhetspriser (se Tabell 3). Produsert varme er beregnet ut fra oppgitt substratmengde, energibruk, oppholdstid, andel biogass som fakles, samt beregnede biogassmengder fra Briseid & Morken (2018). Oppholdstiden til bløtgjødsel fra svin er 3,77 døgn, som basert på behandlet mengde v.v. i forsøksperioden gir en årskapasitet på 970 tonn våtvekt til behandling. Grunnet sedimentering, utsiling og kort oppholdstid, brytes kun en liten andel av tørrstoffinnholdet ned. Det forventes imidlertid at mesteparten av tilgjengelig VFA (Volatile fatty acids) blir nedbrutt. Basert på målinger fra måleperioden (utført av SINTEF Tel-Tek) og beregninger fra NIBIO, kan det antas at 23% av behandlet TS og 34,4% av VS brytes ned under utråtningen. Beregnet biogassutbytte for den lett nedbrytbare og partikkelfattige bløtgjødselen er 139L CH₄/kg TS eller 209L CH₄/kg VS.

Biogassanlegget hos Skoglund er beregnet å kunne motta totalt 970 tonn våt vekt (v.v.) svinegjødsel. Basert på angitte verdier for tørrstoff-andel (1,22 % TS) for substratet, tilsvarer dette en anaerob behandlet mengde på 11,83 tonn TS. I et tenkt Scenario 3 for Telemarksreaktoren med 80% kapasitetsutnyttelse og høyere TS innhold (7% TS) er det potensielt mulig å behandle en mye større mengde (168,2 tonn TS) bløtgjødsel fra svin.



Figur 4. Årlige driftskostnader og driftsinntekter fordelt på komponenter for de tre scenariene.

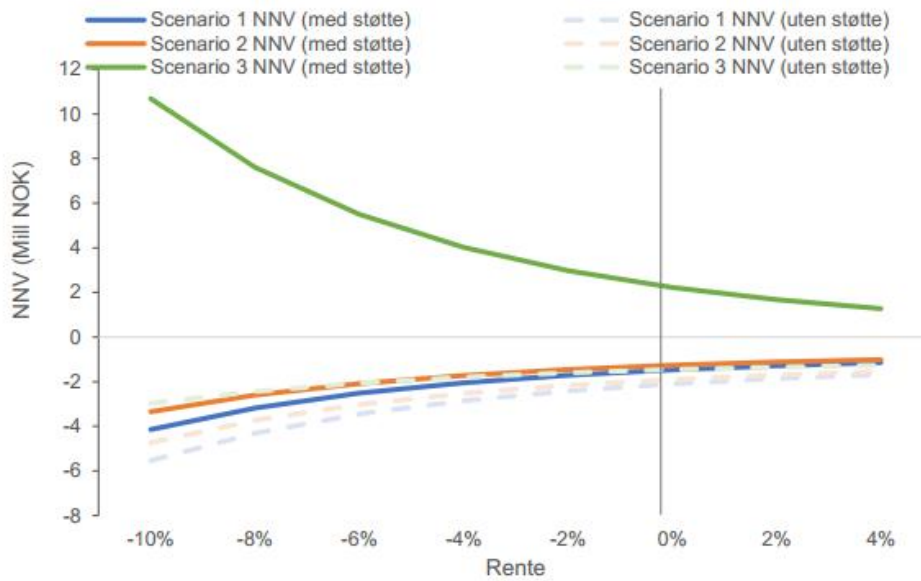
Figuren viser tre inntektskomponenter og tre kostnadskomponenter. Faste drifts- og vedlikeholdskostnader er utgifter knyttet til arbeidskraft og vedlikehold. Variable driftskostnader er kostnader knyttet til bruk av strøm. Av figuren ser vi at driftskostnadene er høyere enn driftsinntektene for de to første scenariene, hvilket betyr at anlegget ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomt for disse scenariene, gitt at forutsetningene og datagrunnlaget gjelder. For Scenario 3 er derimot tilskuddet for levering av husdyrgjødsel nesten femdoblet i tillegg til at verdien av produsert varme er betydelig større, hvilket gjør at anlegget er bedriftsøkonomisk lønnsomt.

Den største inntektskomponenten i scenario 1 og 3 er tilskuddet for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg. Denne inntektskomponenten er lik for Scenario 1 og 2, da mengde gjødsel og TS-innholdet i gjødsla er lik for de to scenariene, men i scenario 2 produserer også anlegget varme, noe som nesten doubler inntektene. For Scenario 3 er tilskuddet knyttet til behandling av husdyrgjødsel betydelig større, hvilket skyldes at både TS-innholdet i gjødsla og mengde behandlet gjødsel høyere, ettersom gjødsla i dette scenariet hentes direkte fra gjødselkjelleren i stedet for gjødselkummen (unngår at gjødsla utvannes av regnvann) og kapasiteten på anlegget er bedre utnyttet.

Verdien av produsert varme er fraværende i scenario 1 (da det ikke produseres energi) og marginal i scenario 2 (ca. 46 % av inntektene). I scenario 3 utgjør verdien av produsert varme en betydelig større sum. Samtidig er driftskostnadene tilnærmet lik for de tre scenariene.

I scenario 3 er som nevnt de variable driftskostnadene nesten identisk med scenario 1 og 2, til tross for betydelig økt kapasitetsutnyttelse. Dette skyldes forutsetningene knyttet til utformingen av anlegget i scenario 3, der gjødsla pumpes direkte fra gjødselkjeller i stedet for via gjødselkum (scenario 1 og 2) og at rørstrekke mellom reaktor og gjødselkjeller legges parallelt, i stedet for adskilt (scenario 1 og 2). Dette er to viktige energisparende tiltak da temperaturen på substratet øker med ca. 6 grader og spillvarmen fra returrøret utnyttes av inntaksrøret, hvilket er antatt å bidra til en halvering av energiforbruket knyttet til oppvarming av reaktor og frostsikring av rør, to store energiposter.

Basert på kostnadskomponentene i Figur 4, 3,5 % rente og 20 års avskrivning er anleggets netto nåverdi negativ for scenario 1 og 2. Ettersom driftsresultatet før avskrivninger er negativ for disse scenariene, er det heller ikke mulig å beregne internrenten (den er uendelig negativ). Netto nåverdi for scenario 3, med støtte, er derimot veldig positiv, tilsvarende 1,36 Mill NOK og med en internrente på hele 23 %. Dette skyldes effekten av energitiltakene samt tilskuddet som oppnås ved økt TS-innhold og mengde gjødsel behandlet. Anlegget kan med andre ord oppnå svært positivt økonomisk resultat under de riktige forutsetningene. Figur 5 viser Netto nåverdi-profilen for anlegget, med- og uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte (stiplede linjer) for de tre scenariene.

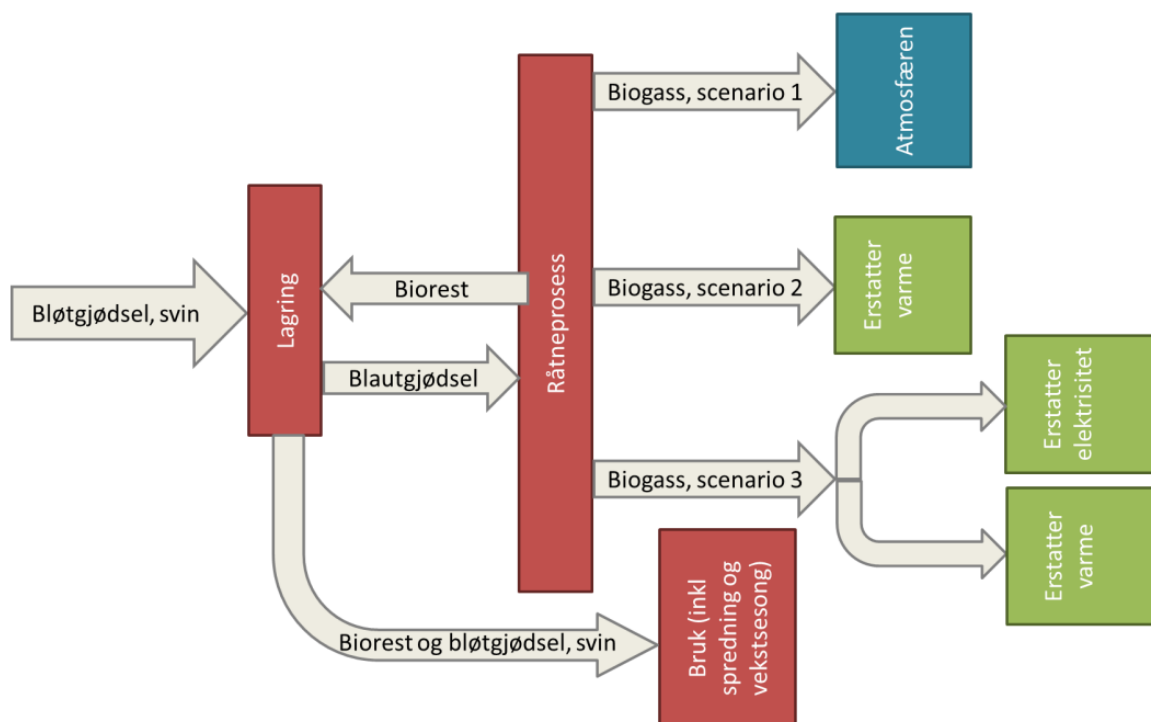


Figur 5. Netto nåverdi-profil (Mill NOK) ved de tre scenariene for Telemarksreaktoren biogassanlegg ved ulike avkastningskrav, med- og uten støtte.

Miljøanalyse og klimanytte

Miljøanalysen omfatter klimagasser, primærenergibruk, gjenvinningsgrad av næringsstoffene nitrogen og fosfor samt et overordnet energiregnskap.

Miljøanalysen bygger på livsløpsanalyse (LCA), og er gjennomført i henhold til ISO 14044: 2006. Analysen tar for seg klimabelastningen knyttet til innsamling (transport), forbehandling og behandling av de ulike substratene, samt foredling og levering av varme, elektrisitet og biogjødsel. Direkte utslipp i form av bl.a. metanlekkasjer er inkludert, og fordelt på verdikjedeleddene der utslippene oppstår. De ulike livsløpsfasene er illustrert i Figur 6, der pilene illustrerer massestrømmene, røde bokser indikerer livsløpsfaser som bidrar til utslipp og grønne bokser er livsløpsfaser som bidrar til utslipsreduksjoner (substitusjonseffekter).



Figur 6. Livsløpsfaser for miljøanalysen av Telemarksreaktoren hos Skoglund. Røde bokser indikerer utslipp, grønne bokser indikerer unngåtte utslipp.

Direkte og indirekte utslipp knyttet til bygging og vedlikehold av selve anlegget er ikke inkludert. Substitusjonseffekter (unngåtte klimagassutslipp, primærenergiforbruk osv.) knyttet til bruk av biogass er inkludert i scenario 2 ved at biogassen erstatter varme (fra elektrisitet) og elektrisitet. Biogjødsel fra svinegjødning erstatter bruk av ubehandlet gjødning som blir her antatt å nulle hverandre ut. Nytteeffekten av dette er analysert ved å inkludere differanse mellom de utslippene som ville ha skjedd ved lagring av ubehandlet gjødning og de utslippene som kommer fra lagring av biogjødsel.

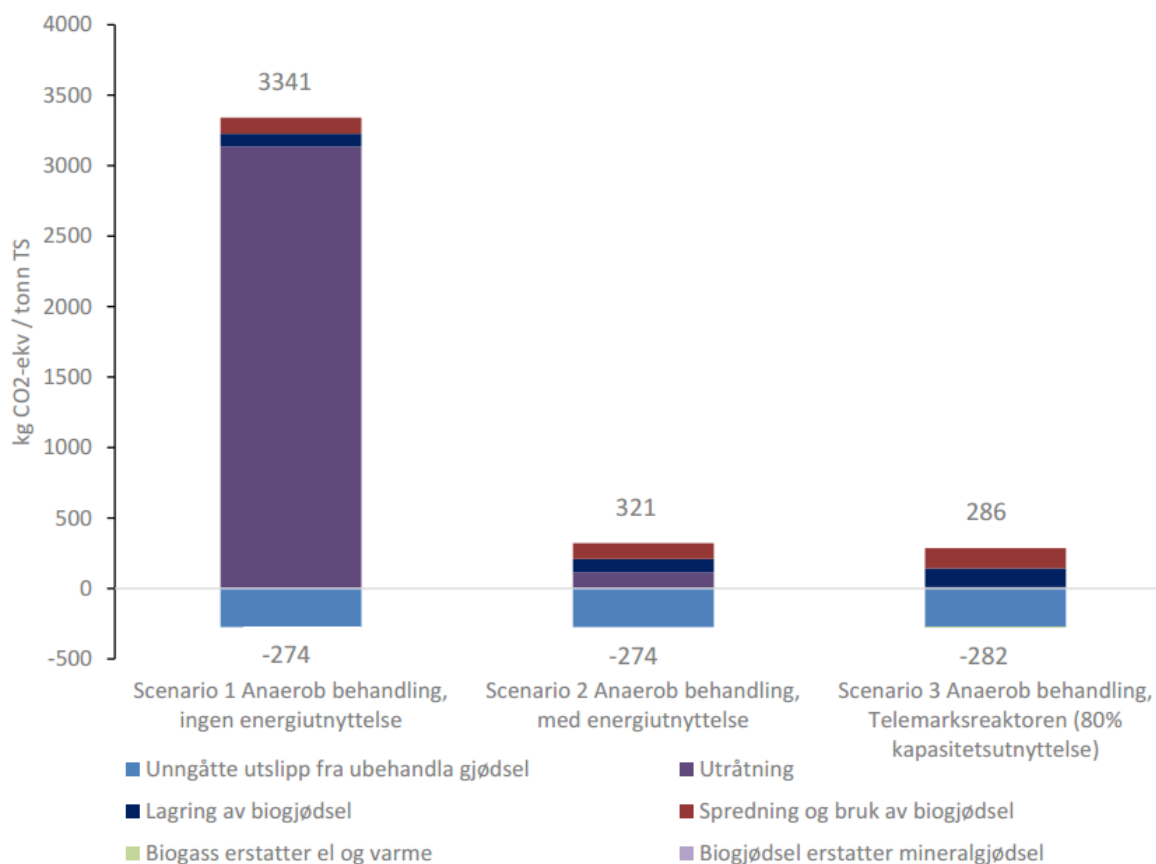
Beregninger av masse- og energistrømmer er gjennomført i verktøyet OWSTT (Organic waste substrate treatment tool) utviklet ved NTNU og beskrevet i Saxegård & Baxter (2016). OWSTT er tilpasset LCA-modellen BioValueChain (BVC) som er utviklet av Østfoldforskning i samarbeid med Tel-Tek, NIBIO og NMBU, Modahl et al. (2016). De to modellene er brukt i samtlige følgeforskningsarbeider som sikrer like systemgrenser og omkringliggende (generiske) forutsetninger uavhengig av case.

Klimanytten beregnet for følgende tre scenarier og presenteres som kg CO₂-ekvivalenter per tonn TS behandlet substrat (silt bløtgjødsel fra svin).

1. Scenario 1: Behandling av svinegjødning i biogassanlegg, ingen utnyttelse av produsert biogass, slippes ut i atmosfæren, 32,3% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (970 tonn v.v. bløtgjødsel).
2. Scenario 2: Behandling av svinegjødning i biogassanlegg med produksjon av varmeproduksjon for lokal utnyttelse, 32,3% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (970 tonn v.v. bløtgjødsel).
3. Scenario 3: Behandling av svinegjødning i biogassanlegg med varmeproduksjon for lokal utnyttelse samt sikkerhetsfakkel (2,6%), 80% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (2400 tonn v.v. bløtgjødsel).

Klimaeffekten vil være forskjellige i de tre scenariene. Ettersom biogassen forutsettes å erstatte norsk elektrisitet, enten direkte eller indirekte i form av varme, er potensialet for sparte klimagassutslipp

relativt lav, ettersom klimabelastningen knyttet til norsk elektrisitetsproduksjon er lav («ren» energibærer). Potensialet for sparte utslipp er vesentlig større dersom fossile energibærere som oljefyring, naturgass, kull eller fossile drivstoff erstattes (Modahl et al. 2016; Saxegård & Baxter 2016; Hamelin et al. 2014, m.fl.).



Figur 7. Klimavirkninger av Telemarksreaktoren hos Skoglund inkl. sparte klimagassutslipp knyttet til substituert energi og behandling

Utslippene knyttet til lagring og spredning av biogjødsel er litt mindre (205 kg CO₂-ekv / tonn TS) enn sparte utslipp knyttet til ubehandla gjødsel som skyldes kort oppholdstid (HRT) og fordi kun våtfasen av bløtgjødsel behandles. Dersom produsert biogass blir utnyttet ved at den forbrennes (Scenario 2 og 3), vil tilnærmet all metan omdannes til biogent karbondioksid og vanndamp som begge er klimanøytrale klimagasser innen en 100 års referanseperiode. I tillegg vil man få en substitusjonseffekt ved at gassen utnyttes. I Scenario 2 og 3 er det forutsatt at biogassen unyttes til produksjon av varme som erstatning for varme generert fra norsk elektrisitet. Som følge av at norsk elektrisitet er en «ren» energibærer, gir dette en relativt liten substitusjonseffekt.

Netto klimagassutslipp per tonn behandlet bløtgjødsel fra svin er beregnet til 3067 kg CO₂-ekv, 47 kg CO₂-ekv og 4,3 kg CO₂-ekv per tonn TS for henholdsvis Scenario 1, 2 og 3.

Utnyttelse av biogassen (Scenario 2 og 3) gir stor reduksjon i netto klimagassutslipp som følge av at metan omdannes til biogent CO₂, men anlegget vil fremdeles medføre netto utslipp. Hovedårsaken til dette er at energien erstatter norsk strøm, som er en «ren» energibærer. I tillegg er det viktig å presisere at biogjødsel er beregnet å ha tilnærmet samme utslipp ved lagring som ubehandlet gjødsel,

hovedsakelig som følge av at det er lite nedbrutt i reaktoren på grunn av den korte oppholdstiden. Dermed bidrar biogjødsel med en minimal klimanytte.

Primærenergi er en utvidet benevnelse for energibruk og spart energibruk akkumulert gjennom hele verdikjeden. Netto primærenergi (forbrukt minus unngått) er likt i scenario 1 og 2 (1245 MJ/tonn TS). I scenario 3 er primærenergiforbruket nesten det samme som summen av energiproduksjon og unngåtte utslipp fra ubehandla gjødsel (20 MJ/tonn TS).

Når dette oppsummeres for behandlet gjødsel per år får vi et netto primærenergiforbruk på 171 768 MJ/år for scenario 1 og 2 og 3 396 MJ/år for scenario 3.

Konklusjon

Konklusjonene baserer seg på målinger og beregninger som ble gjort på anlegget i perioden november til begynnelsen av desember 2017. Det er således en begrenset periode som det gjort målinger ifra. I anlegget siles gjødsel fra svineproduksjon gjennom en sil med hullåpning 2 mm. Den frasilte gjødsel pumpes til en biogassreaktor hvor mikroorganismene vokser i granuler. Dette gjør at oppholdstiden kan være kort og samtidig oppnår man «steady state» eller stabil nedbrytning. Oppholdstiden ble i forsøket målt til 3,8 døgn. I denne perioden ble det per døgn produsert gjennomsnittlig 7,8 m³ biogass per døgn, noe som tilsvarer 44 kWh. 25 % av mulig organisk materiale ble nedbrutt (målt som kjemisk oksygenforbruk). Bioest fra reaktor ble pumpet tilbake til tanken der silingen foregikk. Det ble i perioden forbrukt 98 kWh/døgn med elektrisk energi til oppvarming, kompensasjon for varmetap, drift av pumper, frostsikring, samt annen drift av anlegget. I perioden var utetemperaturen fra 0 til -8 grader C, og gjødseltemperaturen fra 0 til +1 grad. Det forventes et lavere energiforbruk når utetemperaturen er høyere. Temperaturen i reaktoren var 31 grader C. Siden dette er et testanlegg, må man forvente at kommersielle anlegg har et lavere energiforbruk per mengde behandlet gjødsel.

Den økonomiske analysen viste at tiltaket ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomt med mindre reaktoren utnyttes vesentlig bedre. Analysen viste at dersom det var mulig å øke kapasiteten til reaktoren med 80 %, samt at energi til oppvarming ble redusert, kan tiltaket gi en positiv nåverdi (1,36 Mill NOK) med en internrente på hele 23 %. Forutsetningene er investerings-, utviklings- og driftsstøtte samt og økt tilskudd som følge av bedre kapasitetsutnyttelse og høyere TS-innhold.

I dette prosjektet er det blitt kartlagt at det hverken er energi- eller klimapositivt å benytte Telemarksreaktoren slik den ble brukt i testperioden med den lave utnyttingsgraden (32 % av designkapasitet), hverken med eller uten energiutnyttelse av biogassen. Det må forventes at man i framtiden vil installere anlegg for energiutnyttelse av gassen. Årlig kan anlegget, ved å behandle 970 tonn silt bløtgjødsel føre til en klimabelastning på 0,56 tonn CO₂ – ekv./år. Ved å behandle 2400 tonn silt bløtgjødsel med høyere tørrstoffinnhold enn det dagens sil gir, tilsvarer dette tilsammen 80% kapasitetsutnyttelse av anlegget, samt optimalisering av energigjenvinning, og høyere starttemperatur for silt gjødsel, kan det teoretisk oppstå et utslipp tilsvarende 0,73 tonn CO₂- ekv./år.

Anlegget har sin store fordel i allerede hydrolysert materiale trenger kort oppholdstid for å bli nedbrutt. Begrensningen er i første omgang knyttet til at husdyrgjødsel i mindre grad er hydrolysert. Forslag til forbedring kunne være installere en egen hydrolysereaktor i forbindelse med gjødselkjelleren. Da kunne man utnyttet den høyere temperaturen på gjødsel når den kommer mer direkte fra dyra til å redusere oppvarmingsbehovet. Hydrolysereaktoren ville medføre at større andel av organisk tørrstoff ble hydrolysert og kunne utnyttes i reaktoren.

Litteratur

- 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.
- Briseid, T. & Morken, J. 2018. Biogassanlegget hos Sondre Skoglund - Følgeforskningen - Dokumentasjon av drift. *NIBIO rapport Vol. XX, Nr. XX*.
- Carlsson, M. & Uldal, M., 2009. Substrathandbok för biogasproduktion,
- Clavreul, J., Guyonnet, D. & Christensen, T.H., 2012. Quantifying uncertainty in LCA-modelling of waste management systems. *Waste management (New York, N.Y.)*, 32(12), pp.2482–95. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22863069> [Accessed September 7, 2014].
- Hamelin, L., Naroznova, I. & Wenzel, H., 2014. Environmental consequences of different carbon alternatives for increased manure-based biogas. *Applied Energy*, 114, pp.774–782. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261913007800> [Accessed October 14, 2014].
- Luostarinen, B.S. et al., 2011. Overview of Biogas Technology Baltic MANURE WP6 Energy potentials.
- 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.
- Nesheim, L & Sikkeland E.H. 2013. Mengd utskilt husdyrgjødsel – nye standardtal. Bioforsk Rapport 109/2013, ISBN 978-82-17-01131-6.
- 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.
- Saxegård, S.A., Stensgård, A.E. & Raadal, H.L., 2018. *Følgeforskning: Telemarksreaktoren Skoglund - Miljø- og økonomianalyse*, Østfoldforskning, Fredrikstad.



NIBIO

NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Biogassanlegget hos Sondre Skoglund

Følgeforskningen - Dokumentasjon av drift

NIBIO RAPPORT | VOL. 4 | NR. 104 | 2018

Tormod Briseid* og John Morken**

*Bioressurser og kretsløpsteknologi, Divisjon for miljø og naturressurser, NIBIO

**REALTEK, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet - NMBU

TITTEL/TITLE

Biogassanlegget hos Sondre Skoglund – Følgforskningen – Dokumentasjon av drift

FORFATTER(E)/AUTHOR(S)

Tormod Briseid og John Morken

DATO/DATE:	RAPPORT NR./ REPORT NO.:	TILGJENGELIGHET/AVAILABILITY:	PROSJEKTNR./PROJECT NO.:	SAKSNR./ARCHIVE NO.:
06.09.2018	4/104/2018	Åpen	10585 - 06	17/02716
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER/ NO. OF PAGES:	ANTALL VEDLEGG/ NO. OF APPENDICES:	
978-82-17-02158-2	2464-1162	22		

OPPDRAAGSGIVER/EMPLOYER:Norges miljø- og biovitenskapelige universitet –
NMBU**KONTAKTPERSON/CONTACT PERSON:**

John Morken

STIKKORD/KEYWORDS:Biogass, Gårdsanlegg, Gjødning
Biogas, Farm scale , Pig manure**FAGOMRÅDE/FIELD OF WORK:**Bioenergi
Bioenergy**SAMMENDRAG/SUMMARY:**

Biogassanlegget til Sondre Skoglund, levert og driftet av Waterment AS, er under uttesting for behandling av om lag 1000 m³ blautgjødning fra gris årlig. Anlegget er et granulbasert kompakt ABR-anlegg med kort hydraulisk oppholdstid. Anleggets metanproduksjon, massebalanse og energiforbruk skulle dokumenteres.

Om lag 1/8 av den anslåtte standardverdien for metan-potensialet i gjødselen ble omdannet til metan i dokumentasjons-perioden. Dersom produsert metan ble utnyttet til energi, vil dette utgjøre mindre enn energiforbruk under vinterdrift. Det konkluderes med at det må stilles spørsmål ved om anlegget, slik det driftes i dag hvor bare om lag 1/6 av det organiske materialet (målt som VS) passerer gjennom anlegget, er egnet for behandling av blautgjødning.

LAND/COUNTRY: Norge
FYLKE/COUNTY: Telemark
KOMMUNE/MUNICIPALITY: Porsgrunn
STED/LOKALITET: Bjørkedalen

GODKJENT /APPROVED

PROSJEKTLEDER /PROJECT LEADER

ROALD SØRHEIM

TORMOD BRISEID

**NIBIO**NORSK INSTITUTT FOR
BIOØKONOMI

Forord

Følgforskningen er et oppdrag Innovasjon Norge har satt ut for å dokumentere driften av flere forskjellige biogassanlegg som Innovasjon Norge har vært med å støtte på investeringsiden. Ordningen er et resultat av Miljøverndepartementets bevilgning over statsbudsjettet innen “pilotanlegg for biogass”.

NMBU ved Fakultet for realfag og teknologi har hatt ledelsen av oppdraget og utfører dette med deltakelse fra NiBio, Østfoldforskning, SINTEF Tel-Tek og Norsøk.

Denne rapporten omhandler biogassanlegget til bonden Sondre Skoglund, et anlegg som er satt opp og drives av selskapet Waterment AS. Anlegget behandler blautgjødsel fra gris. SINTEF TelTek, tidligere Tel-Tek er knyttet til utviklingen av teknologien til anlegget og er derfor av habilitetshensyn ikke med på denne rapporten, men har gitt oss nødvendige og verdifulle opplysninger om anlegget og driften av det. SINTEF Tel-Tek har stått for målinger og prøvetaking i dokumentasjonsperioden.

Ås, 06.09.18

Tormod Briseid

Innhold

1 Innledning.....	5
2 Resultater	7
2.1 Gjødsla som behandles i anlegget	7
2.2 Beskrivelse av anlegget.....	8
2.2.1 Reaktortype.....	8
2.2.2 Tilførselen av gjødsla til biogassreaktoren	9
2.2.3 Produsert biorest pumpes tilbake til gjødselkummen	10
2.3 Drift og driftsresultater i forsøksperioden (20. november - 1. desember 2017)	12
2.3.1 Temperaturforhold	12
2.3.2 Hydraulisk oppholdstid	12
2.3.3 Gassmålinger – Gassvolum, gasskvalitet og metanutbytte.....	13
2.3.4 Utnyttelse av produsert biogass	14
2.3.5 Energiforbruk	14
2.3.6 Analyser av råstoffet – Prøver av grise-gjødsla i gjødselkum 1	15
2.3.7 Analyser av substratet (råstoff etter siling) og produsert biorest.....	15
2.4 Masse- og COD-balanse.....	17
2.4.1 Massebalansen.....	17
2.4.2 COD-balansen.....	18
2.5 Energibalanse	18
3 Diskusjon.....	19
3.1 Utnyttelsen av metanpotensialet.....	19
3.2 Energiforbruket	20
3.3 Utnyttelse av biogass.....	20
4 Konklusjon	21
Litteraturreferanser.....	22

1 Innledning

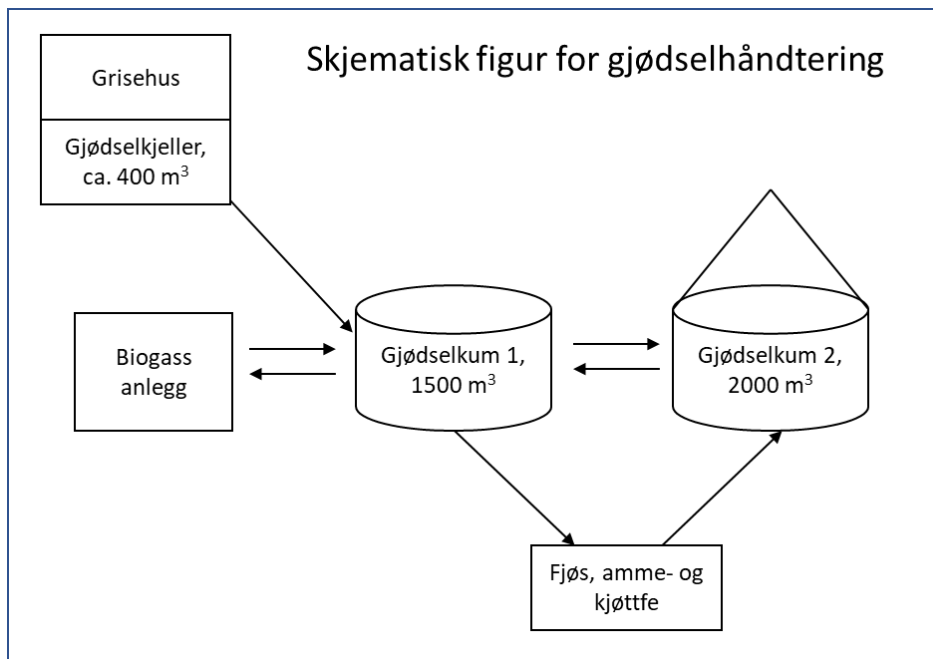
Gården til Søndre Skoglund ligger i Bjørkedalen sørøst i Porsgrunn kommune. På gården har det i lengre tid vært svineproduksjon, avlspurker med salg av spegris, salg av drektige purker og noe slaktesvin. For lagringen av blautgjødsla fra grisene er det en ca. 400 m³ gjødselkjeller under grisehuset og en åpen betongkum på ca 1500 m³ – Gjødselkum 1. For behandling av gjødsla ble det satt opp et biogassanlegg, levert av Waterment AS i 2014 (Figur 1). Anlegget driftes av Waterment AS som et forsøks- og utviklingsanlegg.



Figur 1. Fra høyre mot venstre: biogass reaktorhus med integrerte varmevekslere, returkum i rustfritt stål, bod for instrumentering og varmtvannskjel.

Sommeren 2017 ble det satt opp nytt fjøs for storfe (ammekyr og kjøttfe) og en ny gjødselkum på ca. 2000 m³ med ductak. Det er lagt opp til mulighet for pumping av gjødsel mellom de to kummene og for pumping fra Gjødselkum 1 ned til storfefjøset (Figur 2).

Storfefjøset har spaltegulv og renner for flytegjødsla. I en liten kum utenfor fjøset er det montert en kraftig pumpe for å kunne spyle rennene. Tilsats av grisemøkk til gjødselkjelleren i storfefjøset gir bedre skylling av rennene fordi grisegjødsla har lavere tørstoff enn storfegjødsla. Ved å tynne med grisemøkk er det ikke nødvendig å bruke like mye regnvann. På denne måten reduseres totalvolumet av gjødsel på gården. Dette er en fordel med tanke på utkjøring av gjødsla.



Figur 2. Skjematisk oversikt over gjødsellagring og transport mellom grisehus, gjødselkjeller, Gjødselkum 1, Gjødselkum 2 og biogassanlegg. Det transporteres nå ikke gjødsel fra fjøset til Gjødselkum 1 (1500 m³), bare til Gjødselkum 2 (2000 m³), og heller ikke videre fra Gjødselkum 2 til Gjødselkum 1.

Siden storfeffjøset ble tatt i bruk høsten 2017 har det bare blitt pumpet gjødsel fra storfeffjøset til Gjødselkum 2. Det har ikke blitt overført gjødsel fra Gjødselkum 2 til Gjødselkum 1 i perioden. Biogassanlegget som skal dokumenteres er knyttet til Gjødselkum 1. Det vil si at hele forsøksperioden omtalt i denne rapporten er biogassanlegget bare kjørt med blautgjødsel fra gris.

2 Resultater

2.1 Gjødsla som behandles i anlegget

Gjødsla som behandles kommer fra om lag 100 årspurker med 7 runder med grising per år. Dette gir om lag 350 grisunger per pulje, det vil si totalt 2450 grisunger per år. Av hver pulje blir 1750 solgt ved en vekt på 30 kg mens de resterende (de antatt beste av hunkjønn) blir solgt etter hvert i litt forskjellig størrelse og gjødselmengden fra disse tilsvarer i følge Sondre Skoglund om lag 700 slaktesvin per år når det gjelder gjødselproduksjon.

I tabell 1 er det satt opp standardtall for mengde gjødsel, tørrstoffinnhold og innhold av næringsstoffer for ulike kategorier gris (Nesheim og Sikkeland 2013). Vi har brukt disse tallene til å beregne mengde gjødsel og næringsstoff gjennom ett år fra 100 årspurker, 1750 smågris og 700 slaktegriser. Resultatene er vist i tabell 2.

Tabell 1. Standardtall for mengde gjødsel, tørrstoffinnhold og innhold av næringsstoffer for ulike kategorier gris (Nesheim og Sikkeland 2013).

Kategori	Størrelse	Ts-% gjødsel	Husdyrgjødsel		Kg/tonn		
			Tonn	Enhet	Total-N	Ammon.-N	P
Smågris	10-30 kg	7,3	0,08	per gris	5,6	3,8	0,75
Årspurke	Inkl. spedgris	6,5	4,74	per år	5,1	3,4	0,94
Slaktegris	31-115 kg	7,8	0,51	per gris	6,3	4,2	0,88

Den totale årlige produksjon av bløtgjødsel er på 971 tonn, eller 69 tonn gjødseltørrstoff. Denne gjødsla inneholder i alt 5,44 tonn total-N, 3,64 ammonium-N og 870 kg fosfor. Gjødselmengden vil kreve et spredeareal på ca. 250 dekar. Estimater for mengde bløtgjødsel er veldig avhengig av tørrstoffinnholdet. I beregningene i tabell 2 er gjennomsnittlig tørrstoffprosent 7,1. Dersom tørrstoffinnholdet bare er 4 %, vil mengde bløtgjødsel øke til 1725 tonn. Eksempelvis vil en åpen kum med et areal på om lag 400 m² og opp mot 1m nedbør i året gi et betydelig vanntilskudd, og en tilsvarende reduksjon i TS. Men brutto mengde utskilt næringsstoff vil ikke variere med tørrstoffinnholdet. Fôring og andre driftsfaktorer kan nok påvirke innholdet av næringsstoffer, men griseproduksjonen er veldig standardisert, og derfor er variasjonen i næringsinnhold relativt liten. Derimot vil utnyttelsesgraden av næringsstoffene variere mye med vanninnhold, lagrings- og spredemåter.

Tabell 2. Mengde gjødsel og næringsstoff produsert per år fra en grisebesetning.

Kategori	Antall dyr	Ts-%	Husdyrgjødsel, tonn/år		Næringsstoff, tonn/år		
		Gjødsel	Bløtgjødsel	Tørrstoff	Total-N	Ammon.-N	P
Smågris	1750	7,3	140	10	0,78	0,53	0,11
Årspurker	100	6,5	474	31	2,41	1,61	0,45
Slaktegris	700	7,8	357	28	2,25	1,50	0,31
Sum per år			971	69	5,44	3,64	0,87

Ved dette biogassanlegget hygieniseres ikke gjødsla, og den resirkuleres tilbake til Gjødselkum 1. Ikke hygienisert gjødsel kan benyttes på eget og leiet areal, i følge Gjødselvereforskriften.

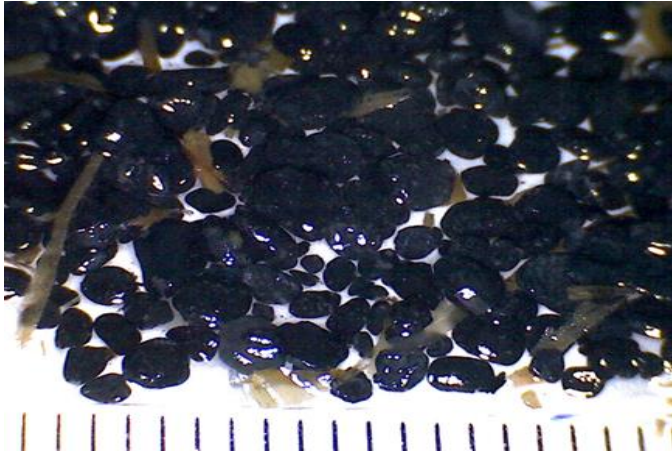
2.2 Beskrivelse av anlegget

2.2.1 Reaktortype

Biogassreaktoren er oppgitt fra leverandør å være en ABR-reaktor (Anaerobic Baffle Reactor). Generelt sett er dette anaerobe reaktorer (uten tilgang på luft) hvor et sett med skillevegger tvinger væsken gjennom flere reaktor-rom slik at det sikres økt kontakttid mellom den mikrobielle kulturen og væskefasen som skal behandles. Reaktorens indre konstruksjon er ikke gjort kjent og er ikke beskrevet her.

I reaktoren forekommer mikroorganismene i granuler som dannes spontant blant annet på grunn av strømningsforholdene i reaktoren. Eksempel på slike granuler er vist i figur 3. Disse granulene har høyere tetthet enn vann. Dette bidrar til å hindre at granuler følger med vannstrømmen ut av reaktoren og muliggjør en høyere gjennomstrømningshastighet enn det vi kan ha i en vanlig helomblandet reaktor. Prinsippene for teknologien er nærmere beskrevet i Veilederen utarbeidet som en del av Følgeforskningsprosjektet (Morken *et al.* 2017).

Granulbaserte reaktorer er vanlige å benytte for industriavløp med organisk materiale løst i vannfasen og med et lavt innhold av partikler som som kan forstyrre granulenes bevegelse. Partikler kan imidlertid også fasilitere granuldannelse og brukes noen ganger i oppstart av slike anlegg. Teknologien muliggjør å behandle store volum med relativt små reaktorer. Siden biogassprosesser er mer effektive ved høyere temperatur (> 30 °C) benyttes teknologien ofte av industri med høytemperatur på avløp, eller som har tilgang på overskuddsvarme, for å redusere behovet for oppvarming av de store vannmengdene til biogassprosessens temperatur. I Norge finner vi eksempelvis anlegg basert på granul teknologi hos treforedlingsbedriftene Borregaard og Saugbruks. Det spesielle med anlegget på Skoglund er å benytte denne typen teknologi for behandling av husdyrgjødsel. Det kan være en fordel å benytte granulbaserte systemer ved behandling av blautgjødsel fra gris, hvor partikler og vannfase har en tendens til å separeres i gjødselkummen.



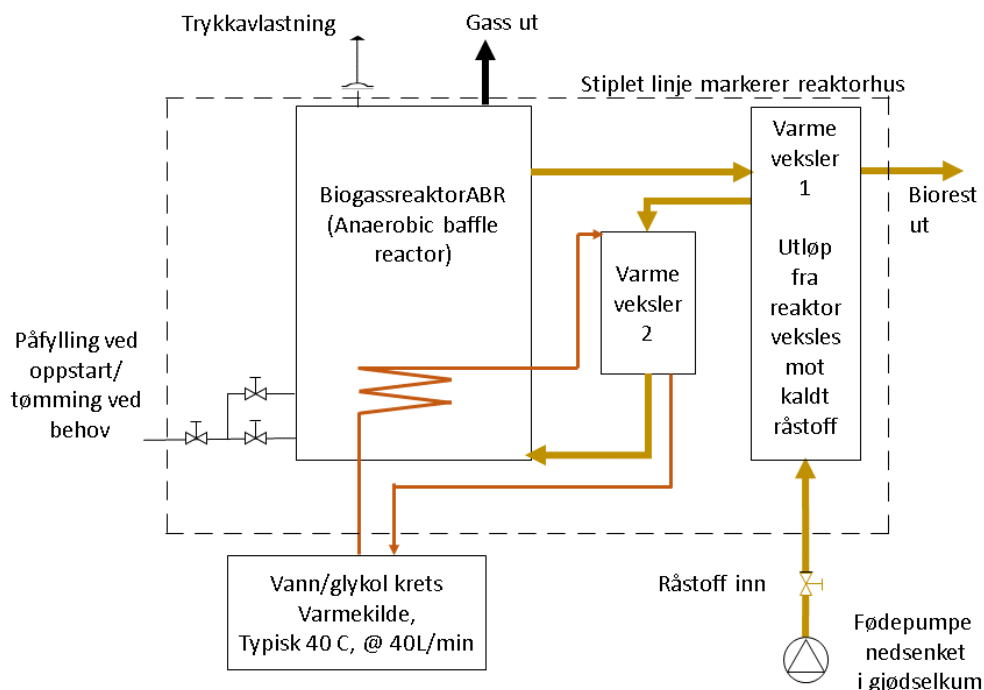
Figur 3.

Granuler fra reaktoren hos Sondre Skoglund. Skala millimeter. Lysebrune partikler / planterester kommer fra gjødsla. Foto fra Høgskolen i Sørøst-Norge, tatt ved en tidligere anledning.

2.2.2 Tilførselen av gjødsl til biogassreaktoren

Blautgjødsla pumpes fra Gjødsestank 1 (figur 2) til biogassreaktoren med en dykket fødepumpe (sentrifugalpumpe, Tsurumi) som henger ned i gjødsestkummen fra en plattform på toppen av kummen. Denne pumpen er plassert inne i en silkasse med en lysåpning på ca. 2 mm, nettopp for å hindre større partikler i å komme inn i reaktoren. Gitteret kan ha en tendens til å tette seg, spesielt ved omrøring i gjødsestanken, og driften bør da «ta en pause» til slammet har setlet seg.

Den silte gjødsla går i rør til reaktoren via Varmeveksler 1 som blir varmet opp av biorest som går fra reaktoren. Gjødsla går videre til Varmeveksler 2 hvor den varmes ytterligere opp ved hjelp av en varmekrets med glykol/vann. Denne varmekretsen holder typisk 40 °C. Det er en Danfoss sirkulasjonspumpe på denne kretsen (ikke tegnet). Begge varmevekslere er utformet slik at de kan åpnes og spyles rene etter behov. Gjødsla går videre inn i bunn av reaktoren. Det er en rustfri stålcoil inne i reaktoren for å bidra til oppvarmingen. En oversiktstegning er vist i figur 4.



Figur 4. Skjematisk tegning av biogassanlegget (J. Hovland, 27.11.2017).

2.2.3 Produsert biorest pumpes tilbake til gjødselkummen

Produsert biorest renner ut av reaktoren, over i Varmeveksler 1 for å varme opp innkommende føde. Overskudd av væske renner ut i pumpekum og pumpes tilbake til Gjødselkum 1, det vil si at produsert biorest blandes med ny gjødsel. På denne måten vil noe gjødsel passere biogassreaktoren en, eller flere ganger mens annen gjødsel forblir ubehandlet. Hos Skoglund er utløpet fra reaktoren plassert på toppen av betongveggen for å lede retur bort fra inntaket i et forsøk på å sikre at mest mulig gjødsel blir behandlet.

Styringssystemet registrerer når det går strøm til returpumpen. Dersom reaktoren hadde vært plassert slik at det var naturlig fall ville denne pumpen ikke vært nødvendig. Returen til gjødselkummen skjer i ca. en kvartsrinkel avstand fra der fødepumpen er plassert (Figur 5).

For å få riktig fordeling av væske i reaktor fødes reaktoren i pulser. Typisk går fødepumpen i 60 - 80 sekunder for å levere ca 70 liter, for deretter å stå stille i 10 - 40 minutter. Det vil si at det kan fødes mellom 150 og 600 liter/time. Pulsfødning bidrar også til å gi god gjennomskylling av rør. (Erfaring er at dersom grisemøkk får stå stille i rør opp mot en uke kan det tette seg og det er viktig med muligheter til å spyle.)



Figur 5
Gjødseltank 1 med fødepumpen og returstrømmen plassert i om lag en kvartsirkel avstand

Bildet i figur 6 viser reaktoren plassert med gjødseltanken i bakkant.



Figur 6.
Biogass reaktorhus med gjødsellager i bakkant og pumpekum for retur i rustfritt stål til høyre.

2.3 Drift og driftsresultater i forsøksperioden (20. november - 1. desember 2017)

2.3.1 Temperaturforhold

Alle temperaturmålinger ble utført daglig i testperioden. Utetemperaturen ble målt på stedet og lå stort sett i området 0 til -8 °C i testperioden. Temperaturen i gjødselkummen lå på mellom 1 og 0 °C, mens overflaten ble dekket med et tynt islag i løpet av perioden. Temperaturen i reaktortanken lå stabilt på 31 °C i forsøksperioden.

Temperaturen i returkummen (Figur 1) var på ca. 17 °C, noe som innebærer at varmeveksler 1 gjenvinner om lag 47% av varmeenergien i bioresten. (Bioresten avkjøles med 14 grader K av en total differans på 30 grader K mellom reaktortank og gjødselkum: $14/30 = 47\%$).

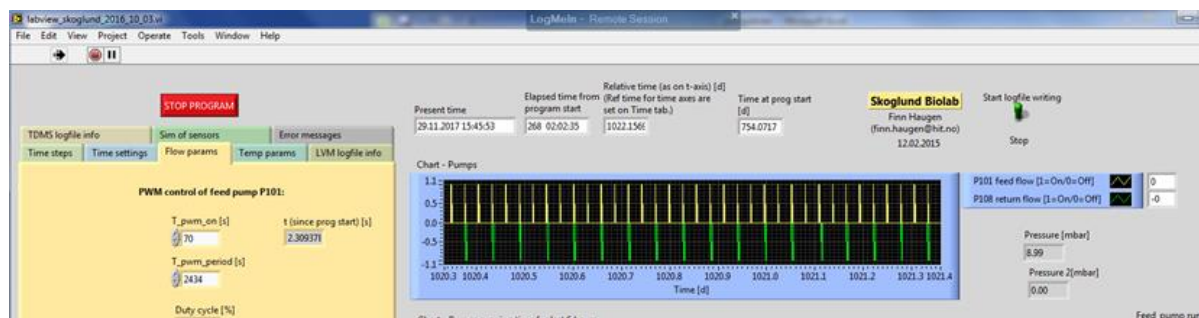
2.3.2 Hydraulisk oppholdstid

Pumpetid og tid mellom hver pumping kan brukes til å styre reaktoren, og dermed gassproduksjon. I forsøksperioden er det kjørt med 70 sekunder (ca 74,7 L) innpumping og 2434 sekunder mellom hver gang pumpen starter. Det vil si innpumping hver 40 minutter i 34 sekunder. Det tilsvarer 35,5 innpumper per døgn = $35,5 \times 74,7 = 2,65 \text{ m}^3/\text{døgn}$. Aktivt reaktorvolum er ikke nøyaktig kjent, men er oppgitt å være ca. 10 m³. Dette vil være avhengig av reaktorens fyllingsgrad som ikke er kjent.

Observasjon av inn- og utpumping ble gjort dagelig, og dette fungerte i hele forsøksperioden. Produsert mengde biorest ble registrert på mandager, onsdager og fredager. HRT (Hydraulisk oppholdstid) i testperioden var $= 10 / 2,65 = 3,77$ døgn eller 90 timer. Det vil si at forsøksperioden strakte seg over mellom 3 og 4 oppholdstider. Det er usikkerhet knyttet til hvor stabil pumpen er over tid. Til sammenligning er det gjort forsøk i liten laboratorieskala med HRT i området fra 42 helt ned til 1.7 timer (Bergland *et al.* 2015) og med stabil drift ved 17 timer.

For å hindre heverteffekt på fødeledning er det satt på en liten slange som lufte på øverste punkt, der hvor føden føres over betongkanten på gjødselkummen. Mens pumpen går renner det ut litt møkk fra denne tynne slangen tilbake i gjødselkummen. Når pumpen stopper suges det litt luft inn i slangen. Det vil si at noe av denne luften følger med inn i reaktoren ved neste innpumping.

Ved innpumping er det noe forsinkelse mellom start og at væske begynner å renne ut av reaktoren. Det vil si at væskevolumet øker inne i reaktoren, og at det dermed presses ut en ekstra mengde gass. I denne forsøksperioden, når det pumpes inn 70 liter hver gang er det observert at det bare presses væske ut av reaktoren for hver annen innpumping - og da renner det ut 140 liter til pumpekummen. Figur 7 viser registrering (skjerm bildedump fra PC) av innpumping (gul topp når pumpe på) og returpumpe (grønn).



Figur 7. Figuren viser registrering (skjerm bildedump fra PC) av innpumping (gul topp når pumpe på) og returpumpe (grønn).

Waterment antar at det er noe motstand i systemet (muligens granuler som trenger noe "kraft" for å bli løftet opp) som gjør at returpumping bare skjer ved hver annen innpumping. Når væsken renner ut av reaktoren, og det skjer litt etter at fødepumpen har stoppet, vil noe luft suges tilbake inn i reaktoren siden gassen nå slippes direkte ut. Det trengs bare én pumpe for å presse væske gjennom varmevekslere og reaktor. Returpumpe er bare nødvendig dersom reaktoren er plassert så lavt at det ikke er fall tilbake til gjødselkum.

2.3.3 Gassmålinger – Gassvolum, gasskvalitet og metanutbytte

Gassvolum ble målt ved bruk av Ritter BG 4 gassmåler av belgtype. Den har bare enveis strømming (måler ikke tilbakesug). Dette ble utført på mandager, onsdager og fredager i testperioden. Måleren ble satt på rett etter en utpumping der det samtidig hadde rent væske ut (og blitt trukket luft inn). Gassproduksjonen ble i snitt målt til 323,7 liter per time eller avrundet til 7,8 m³ per døgn.

Gassens sammensetning ble målt med Biogas 5000 på de samme 3 ukedagene. Denne måleren måler % metan, karbondioksid og oksygen og ppm hydrogensulfid. På grunn av tidvis undertrykk i reaktoren når væske renner ut, får man noe luft inn. Gassmålingene viser at oksygeninnholdet i biogassen er på mellom 2,4 og 3,8 %. Luft inneholder ca 21 % oksygen og 78% nitrogen, noe som skulle tilsi at mellom 5 og 15 % av biogassen er nitrogen.

Den 1. desember ble det gjort et ekstra måleoppsett i det gasskvaliteten ble målet tre ganger over en periode på 1 time 20 minutter. I denne tiden rant det ikke ut væske og oksygen- og nitrogenholdet sank med tiden (tabell 3). Gassens sammensetning er vist i tabell under. Som man ser stiger metanprosenten etterhvert som luft som er blitt suget inn tidligere, blir ført ut av reaktoren med produsert biogass. Siden volummålingene måler totalmengden gass, også nitrogen og oksygen, er første avlesning den som er blitt benyttet i beregningene av metanproduksjonen videre. Dersom de siste målingene skulle legges til grunn, som sannsynligvis er riktigere med hensyn til den egentlige metankonsentrasjonen i den produserte biogassen, måtte man samtidig korrigere det produserte gassvolumet for luftmengden.

Tabell 3 Tabellen viser stigende metan- karbondioksid- og hydrogensulfidkonsentrasjon med tiden mens oksygenet tynnes ut siden luft ikke ble suget inn under måleprosedyren gjort 1. desember.

Tid	08:56	09:50	10:15	enhet
HH:MM	00:00	00:54	01:19	
CH4	62,2	63,9	66,8	%
CO2	19,5	20,9	21,6	%
O2	2,4	2,1	1,3	%
H2S	199	291	469	ppm
Balanse	15,9	13,1	10,3	%

På grunn av tidvis uønsket innsug av luft heftes det nokså stor usikkerhet med hensyn til gassens sammensetning.

- Metankonsentrasjonen ble målt til et snitt på 57% med et spenn fra 53 til 62%.
- Karbondioksidkonsentrasjonen ble målt til et snitt på 18,4% med en variasjon mellom 17,7 og 19,5%.
- Oksygenkonsentrasjonen ble målt til et snitt på 3,3% med en variasjon mellom 2,4 og 3,8%.
- Hydrogensulfidkonsentrasjonen ble målt til et snitt på 420 ppm med en variasjon mellom 199 og 590 ppm.
- Nitrogenkonsentrasjonen utgjør sannsynligvis mye av det resterende, men ble ikke målt.

Den 20. november og 1. desember ble det også samlet prøver på gasstette poser og analysert ved bruk av GC på HSN (Høgskolen i Sørøst-Norge). Disse analysene viste et innhold av metan på 65 og 68% og karbondioksid på henholdsvis 34% og 31 %. Disse verdiene avviker relativt mye fra analysene gjort på anlegget ved bruk av Biogas 5000 og omfatter ikke oksygen og nitrogen.

Med denne vurderingen er 57 % metan i biogassen bedre å bruke enn normaliserte beregninger fra GC der oksygen og nitrogen ikke inngår. Dersom man skulle legge GC-målingene til grunn, ville man måtte trekke fra luftmengden fra biogassproduksjonen før beregning av metanproduksjonen.

Med utgangspunkt i at det ble fødet inn 2,65 m³ per døgn og det ble produsert 7,8 m³ biogass med et metaninnhold på 57% blir det produsert 4,5 m³ metan per døgn og et metanutbytte på 1,7 m³ metan per m³ føde (gjødsel fra Gjødselkum 1).

Det ble gjort enkle målinger av gass-sammensetningen i atmosfæren over gjødselkjelleren, over Gjødselkum 1 og returkummen ved bruk av Biogas 5000 for å se om konsentrasjoner kunne være farlige med hensyn til eksplosjonsfare (metan/luft-blanding) eller giftig H₂S-gass. Observasjonene tilsier ingen eksplosjonsfare, men i møkkakjelleren er H₂S-konsentrasjonen rundt grensen i regelverket. Møkkakjelleren er ikke noe arbeidssted, men det bekrefter at man må utvise forsiktighet ved behandling av gjødsel. Denne enkeltmålingen er gjort i en perioden med kaldt vær og kald gjødsel og det må tas høyde for at det kan være eksplosjonsfarlig gassblandinger tilstede under andre forhold.

2.3.4 Utnyttelse av produsert biogass

Under dokumentasjonsperioden ble den produserte biogassen ikke benyttet og anlegget var heller ikke utstyrt for dette. Anlegget var foreløpig heller ikke utstyrt med fakkell for å forbrenne metan som produseres, det vil si at all produsert metan ble sluppet til atmosfæren i dokumentasjonsperioden, såkalt «kaldfakling».

2.3.5 Energiforbruk

El-forbruk benyttes til fødepumpe, returpumpe, Høiax 4,5 kW el-kassett for oppvarming av vann/glykolkrets, sirkulasjonspumpe for vann/glykol, varmekabler (føderør, returrør biorest, vann til anlegget) og strøm til styringssystem (PC), modem internet og belysning.

Beregnet El-behov til oppvarming av føde inn: Netto oppvarming av føden er ca 16 K (returtemp – gjødselkumtemp). Vi antar varmekapasitet som vann (1,16 kWh/m³*K). Med 2,65 m³/døgn er da oppvarmingsbehovet til føde: $1,16 * 2,65 * 16 = 49 \text{ kWh/døgn}$.

I tillegg kommer varmetilførsel for å kompensere for varmetap fra reaktor. Varmekabel på føderøret bidrar til oppvarming, slik at føden går inn på Varmeveksler 1 med noe høyere temperatur. Volumet av føderøret er imidlertid så lite at dette bidraget er neglisjerbart, men vil fremkomme som en liten del av differensen mellom det målte el-forbruket og det beregnede.

Avlesning av strømmåler ble gjort daglig på et tidspunkt mellom klokken 09:30 og 10:30. Det daglige strømforbruket ble målt til 98 kWh per døgn med relativt små avvik, stor sett mellom 96 og 100 kWh.

Oppvarming av vann/glykol-krets representerer det største forbruket, deretter varmekabler til frostsikring. En mere spesifisert oversikt:

- Varmekabler, PC, modem og annet forbruk (varmekabler er mer enn 90% av dette): 0,7 kW kontinuerlig 24 t/døgn = 16,8 kWh/døgn
- Fødepumpe 0,54 kW, 35,5 ganger per døgn 70 sekunder per gang = 0,37 kWh/døgn
- Returpumpe 0,273 kW 17,75 ganger per døgn 265 sekunder per gang = 0,36 kWh/døgn
- Sirkulasjonspumpe vann/glycol 0,05 kW kontinuerlig = 1,2 kWh/døgn
- Beregnet oppvarmingsbehov føde $1,16 \text{ kWh/m}^3 \cdot \text{K}$ (spesifikk varme for vann) * 2,65 m³/døgn * 16 K (hevet temperatur føde/retur) = 49 kWh/døgn

Sum av dette er om lag 68 kWh/døgn. Varmetap fra reaktor og rørledninger etc. anses å være differansen mellom det målte forbrukt, 98 kWh/døgn, og denne summen, det vil si om lag ~30 kWh/døgn. Varmetapet avhenger selvfølgelig av utetemperatur.

2.3.6 Analyser av råstoffet – Prøver av grisegjødsel i gjødselkum 1

Siden føden som går inn i reaktoren har passert en sil, er det av interesse å analysere innholdet i selve gjødselkummen før det siles.

I forbindelse med utkjøring av gjødsel de siste dagene i oktober ble gjødselkum 1 (kun fra gris) rørt opp og det ble da tatt prøver direkte fra gjødselkummen. Prøven ble tatt ved at det fra fire steder rundt periferien av kummen ble senket ned en 10 liter stålbøtte. Bøtten ble på hvert sted dratt litt bortover bunn før den ble halt opp. Disse 4 prøvene ble slått sammen, rørt godt og prøver tatt i plastflasker. Prøvene ble frosset i påvente av forsendelse. Prøvene ble tatt ca. ett døgn etter opprøring. Da det alltid er mulig at en del partikler sedimenterer raskt er det vanskelig å få en 100% representative prøve.

Gjødselkum 1 ble også rørt opp etter forsøksperioden, 7. desember. Det var da noen cm tykk is. Isen brakk delvis opp (islaget sees på foto, Figur 5), og man kunne observere god sirkulasjon i væsken. Prøver ble hentet på tilsvarende måte som over, men på grunn av delvis isdekke var det bare mulig å få tatt prøve rett under plattformen der pumpen henger, og der hvor retur fra reaktoren kommer.

Prøvene ble analysert ved HSN og parallelle prøver sendt NIBIO og Vestfold Lab for analyse (Tabell 4)

2.3.7 Analyser av substratet (råstoff etter siling) og produsert biorest

Prøver av føde til reaktoren (etter silkassen) ble tatt ut fra en ventil på undersiden av røret mellom fødepumpe og reaktor. Prøven ble tatt rett etter en innpumping for i størst mulig grad unngå at det hadde skjedd sedimentering i røret. Ventilen ble først åpnet en kort stund for å tappe ut eventuelle sedimenterte partikler i ventilen. Deretter ble prøveflasken fylt opp. Prøvene ble oppbevart ved – 20 °C før senere analyse.

Det ble tatt ut prøver hver ukedag (mandag til fredag) gjennom hele forsøksperioden. Prøvene ble sendt til NIBIO for analyse av TS, VS, total COD og fettsyrene maursyre, eddiksyre, propionsyre og smørsyre. Resultatene er vist i tabell 5.

Tabell 4. Analyseresultater av prøver hentet fra Gjødsetank 1 før, og ved slutten av dokumentasjonsperioden.

	Gjødsetkum 1 , prøver fra 31. oktober			Gjødsetkum 1 , prøver fra 7. desember		
	HSN	Vestfol Lab	Nibio	HSN	Vestfol Lab	Nibio
pH	7,4	8,0		7,1	8,1	
Tot COD (mg/L)	21080		31300	17400		40550
Løst COD	9000		9450	8430		7680
TS (g/L)	18,4	17	19,0		22	28,3
VS (g/L)	12,0					
VS/TS (%)	65,5	70,7	66,3		68,8	74,2
Total N (mg/L)*		2200			2400	
Total P (mg/L)*		410			770	
Ammonium (mg/L)	1740	1600		1640		
Format (mg/L)			154			148
Acetat (mg/L)	2818		2793			2630
Propionat (mg/L)	1455		1325			1156
Isobutyrate (mg/L)	250		148			154
Butyrat (mg/L)	323		236			103
Isovalerate (mg/L)	338					
n-valerate (mg/L)	54					
Iso-cap. (mg/L)	0					
Caproate (mg/L)	0					
Heptate (mg/L)	0					
Tot VFA	5237					

* Oppgitt som % av TS fra analyselab, og verdien i tabellen er da omregnet ved bruk av måle verdien til TS

Analysene gjort ved VestfoldLAB inneholder også data for svovel, kalsium, magnesium og kalium og AL-løslig fosfor, kalium, kalsium og magnesium, samt standard tungmetaller (kadmium, kvikksølv, bly, nikkel, krom, sink og kobber). Analysedata i Appendix 1.

Gjødsel er i Gjødsetvareforskriftens tungmetallklasse 0 for bly, nikkel og krom, klasse 1 for kadmium og kvikksølv, klasse 2 for kobber og klasse 3 for sink. De høye verdiene for kobber og sink skyldes fôret som benyttes til gris. Gjødset spredd på eget eller eiet areal er imidlertid untatt kvalitetskravene i Gjødsetvareforskriften.

Tabell 5. Tørrstoff, VS, tot COD, løst COD og fettsyrer (mg/L) i gjødseltank 1, føde inn i reaktoren og biorest fra reaktoren. Prøver fra gjødseltanken ble tatt 31. oktober og 7. desember mens analysene av føde og biorest er et resultat av 10 prøver tatt på 10 forskjellige dager (analysert hos NIBIO).

	Gjødseltank 1 Verdier fra tabell 1 (Nibio's data)	Føde (inn i reaktoren)*	Biorest (fra reaktoren)*
TS (g/L)	19,0 / 28,3	12,2 ± 0,9	11,0 ± 0,5
VS (% av TS)	66,3 / 74,2	61,1 ± 2,0	57,1 ± 1,5
Tot COD (g/L)	31,3 / 40,5	18,5 ± 1,1	13,8 ± 1,1
Løst COD (g/L)	9,45 / 7,68		
Formic acid (mg/L)	154 / 148	160 ± 17	179 ± 10
Acetic acid (mg/L)	2793 / 2630	2465 ± 167	833 ± 105
Propionic acid (mg/L)	1325 / 1156	1059 ± 98	492 ± 48
Iso-butyric acid (mg/L)	148 / 154	153 ± 15	nd
Butyric acid (mg/L)	236 / 103	138 ± 14	nd

* TS, VS, COD og innholdet av fettsyrer både i føden og i bioresten var svært stabilt gjennom forsøksperioden og hadde ingen systematisk endring. Resultatene er derfor presentert ved bruk av standardavvik.

2.4 Masse- og COD-balanse

2.4.1 Massebalansen

Reaktoren ble matet med 2,65 m³ gjødsel fra Gjødseltank 1 per døgn, og den hydrauliske oppholdstiden var 3,77 døgn. Standardverdiene for tørrstoffinnholdet i grise gjødsel er i området 7% (Tabell 1). Tørrstoffet i Gjødseltank 1 kan tynnes noe ut ved tilførsel av regnvann og vaskevann fra grisehuset, men de lave verdiene skyldes nok i hovedsak sedimentasjon som ikke lar seg røre opp ved omrøring eller sedimenterer i løpet av det døgnet som går mellom omrøring og prøvetaking. Tørrstoffinnholdet ble ytterligere redusert i føden etter at gjødsla hadde passert silkassen og ligger i området 12,2 g/L i følge tallene i tabell 5 eller målt til 32,3 kg per døgn.

Innholdet av organiske fettsyrer er målt til 4,0 g/L og ammoniuminnholdet er målt til 1,6 g/L. Totalt utgjør disse 2 fraksjonene 14 kg per døgn eller om lag 40% av det målte tørrstoffet. Litt avhengig av pH vil disse fraksjonene dampe av og ikke komme med i det registrerte tørrstoffet. Både VS-verdiene og TS verdiene vil være heftet med denne usikkerheten.

Innholdet av metan ble målt til 57 %. En gassblanding med 60% metan og 40% karbondioksid ved 0°C og 1 atm har en masse på om lag 1,21 kg/m³ eller 9,47 kg per døgn. Variasjoner i trykk og temperatur, samt innhold av vanddamp, nitrogen og oksygen vil gi noe avvik.

Dette innebærer at reaktoren mates med ca. 47 kg/døgn (tørrstoff + fettsyrer og ammonium) og det produseres 37,4 kg/døgn biorest og 9,5 kg biogass. Det er usikkerhet i tallene, men det indikerer en god massebalanse.

2.4.2 COD-balansen

Reaktoren ble tilført 49,0 kg COD per døgn tilsvarende en organisk belastning på 4,9 kg COD per m³ per døgn og 36,6 kg COD per døgn ble ført ut med bioresten. Det kjemiske oksygenforbruk ble således redusert med 12,4 kg per dag, noe som betyr at 25 % av COD ble omsatt til biogass. Teoretisk blir 1 kg COD omsatt til 0,35 m³ metan ved 0 °C og 1 atm trykk. COD balanse bygger på prinsippet om at COD ikke kan dannes eller forsvinne. COD i substrat vil omdannes til COD i effluent (biomasse og uomsatt substrat) og COD i metan. En reduksjon på 12,4 kg vil tilsvare 4,3 m³ metan. 7,8 m³ metan med 57% metaninnhold tilsvarer 4,4 m³ metan, noe som tilsvarer reduksjonen i COD.

Det er altså en god sammenheng mellom målt produsert biogass og målt reduksjon av COD i dokumentasjonsperioden.

Det går med henholdsvis 2, 3 ½ og 5 mol O₂ til fullstendig oksidasjon av henholdsvis ett mol acetat, propionate og butyrate/iso-butyrate. Den målte reduksjonen av disse fettsyrene tilsvarer en COD-reduksjon på 9,4 kg. Hvis valerate og iso-valerate (målt i Gjødsekum 1 av HSN) omsettes like effektivt som butyrate og iso-butyrate vil hele 11,8 kg COD av 12,4 kg målt COD-reduksjon skyldes omsetning av fettsyrer til metan.

Resultatene tyder på at dannet metan i hovedsak skyldes omsetning av lavere fettsyrer. Format ser imidlertid ikke ut til å omsettes i reaktoren.

2.5 Energibalanse

Mye energi vinterstid vil gå til å varme opp føde inn i reaktoren fra ca 1 grad C i Gjødsetank 1 til driftstemperaturen på 31 grader C i reaktoren. Varmeveksleren mellom utgående biorest og innkommende føde varmet føden opp til ca 17 grader C. Videre oppvarming krever tilført energi, beregnet til 49 kWh/døgn. Totalt strømforbruk ble målt til 98 kWh per døgn. Forbruket er nærmere beskrevet i kapittel 2.3.5.

Beregnet energiproduksjon per døgn var 44 kWh (7,8 m³ biogass*57 % metaninnhold* 10 kWh/m³). Dette er en bruttoverdi fordi vi aldri vil kunne utnytte 100% av energien i den produserte biogassen. I forsøksperioden ble ikke energien i den produserte biogassen utnyttet, men metanet sluppet ut til atmosfæren.

Differensen mellom produsert bruttoenergi og forbrukt energi i form av el var -54 kWh/døgn, noe som betyr at anlegget brukte om lag dobbelt så mye energi som det ble produsert. Bildet ville vært bedre sommerstid.

3 Diskusjon

3.1 Utnyttelsen av metanpotensialet

Den totale gjødselproduksjonen fra den angitte besetningen er anslått til 971 m³ (tabell 2). Med et tørrstoffinnhold på 7% tilsvarer dette 68 tonn tørrstoff (tabell 1 og 2). Ved et vanntillegg på 360 m³ per år (i form av regnvann og skyllevann, men fratrukket fordampningen fra gjødseltanken) vil vi eksempelvis få en TS på 5,1%. Gjødseltank 1 har et volum på 1000 m³, og gjødselkjelleren har et volum på 400 m³. Den totale lagerkapasiteten er godt tilpasset produksjonen. Ved spredning av gjødsel to ganger i året har gården god lagerkapasitet. I forsøksperioden pumpes det 2,65 m³ per døgn. Dersom dette ble gjort alle årets dager, ville det bli behandlet om lag 970 m³ gjødsel. Dette innebærer at mesteparten av gjødsla passerer anlegget en gang, noe passerer to eller flere ganger mens noe forblir ubehandlet. Å simulere dette er vanskelig, spesielt fordi blandingen av behandlet og ubehandlet gjødsel er ukjent og fordi volumene i gjødsellageret hele tiden endres. Betragtningene blir således omtrentlige.

Gjødsla siles før den mates inn i anlegget og bare noe mer enn halvparten av målt COD går inn i anlegget. Av COD som går inn i anlegget omsettes ca. 25%, i hovedsak løste fettsyrer.

Reaktoren er ABR-reaktor, men også basert på granul-teknologi. Denne typen reaktorer er tilpasset å behandle oppløst organisk materiale. Resultatene tyder nettopp på at mesteparten av det som omsettes er oppløst organisk materiale, mest i form av fettsyrer. Partikulært materiale krever ofte lenger oppholdstid. Hydrolysen ser ut til å være begrensende faktor og ikke veksthastigheten til metanogene organismer som er begrensende ved omsetning av VFA.

Metanpotensialet fra blautgjødsel fra gris er oppgitt til 268 m³/tonn VS (Carlsson & Uldal 2009). Anslått årlig produksjon av TS er på 68 tonn per år (tabell 1 og 2). VS i % av TS i gjødseltanken er målt til ca. 70% (tabell 4). Med utgangspunkt i typisk mengde gjødselproduksjon fra dyrene på gården til Skoglund, metanpotensialet hentet fra Substrathåndboka og målte verdier for VS i Gjødsellageret, vil det totale maksimale metanpotensialet anslås til 12.800 m³ metan per år (68 tonn x 70% x 268 m³/tonn VS). Den årlige målte metanproduksjonen fra anlegget, dersom produksjonen hadde vært på samme nivå som i dokumentasjonsperioden hver dag hele året og hvor bare om lag 1/6 av det organiske materialet (målt som VS) passerte gjennom anlegget, ville vært 1600 m³ metan. Det vil si at om lag 1/8 av potensialet utnyttes. Siden det målte TS-nivået er så lavt er det overveiende sannsynlig at mesteparten av tørrstoffet og VS er sedimentert i lagertanken samt at mye nedbør i lagertanken forut for forsøksperioden medførte fortykning

Ved prøvetaking av blautgjødsel bør omrøringen gjøres kontinuerlig, også mens prøvetakingen foregår for å få tatt en representativ prøve (Lorimor et al., 2004). I vårt tilfelle ble prøver tatt fra tanken ett døgn etter omrøring og mye vil kunne ha sedimentert i denne perioden.

Det må nevnes at anlegget har blitt kjørt med en lengre HRT og således en lavere organisk belastning enn tilsvarende forsøk utført i liten laboratorieskala (Bergland *et al.* 2015). En langt raskere gjennomstrømning vil imidlertid kreve mye mer energi til oppvarming av vannet. Hvor fort det er mulig å kjøre fullskala-anlegget med fortsatt stabil drift er også usikkert.

Det kan slås fast at anlegget slik det har vært driftet, har en lav utnyttelse av det totale metanpotensialet til grisekjødsel, og at det i hovedsak er de løste fettsyrene som omsettes til metan. Om lag 1/3 av eddiksyren omsettes, halvparten av propionsyren og all smørsyre (butyrate og iso-butyrate) og muligens valerate/iso-valerate. Det ser ikke ut til at maursyre omsettes i dette anlegget.

3.2 Energiforbruket

Granulbaserte anlegg er konstruert slik at man kan behandle organisk materiale løst i store væskevolum som kan passere gjennom anlegget langt raskere en tilveksten av mikroorganismer/slamproduksjonen. Utfordringen er at det krever mye energi å varme opp store mengder vann. Ofte benyttes denne typen prosesser på industriavløp med oppløst organisk materiale i vann som allerede har en høy temperatur eller bedriften har et overskudd av varme, f.eks. i treforedlingsindustrien. Selv om prosessen her drives på en relativt lav temperatur (ca. 30 grader C), må store mengder vann hele tiden varmes opp fra om lag 0 grader (i forsøksperioden). Til tross for god varmeveksling mellom utgående biorest og innkommende føde, må det benyttes store mengder energi for å opprettholde temperaturen i reaktoren.

Av energibalansen fremgår det at de absolutt største mengdene energi går med til denne oppvarmingen. Slik anlegget driftes i dokumentasjonsperioden var energiforbruket langt større enn energiproduksjonen i form av produsert metan.

3.3 Utnyttelse av biogass

I dokumentasjonsperioden ble ikke energien utnyttet og produsert metan ble heller ikke faklet av, men ble sluppet direkte ut i atmosfæren. Driften av anlegget burde ha ventet til dette var på plass for å unngå unødvendig høye utslipp av klimagasser.

4 Konklusjon

Biogassanlegget til Sondre Skoglund, levert og driftet av Waterment AS, behandler blautgjødsl fra gris. Det er basert på teknologi vanligvis tilpasset organiske avfallsstrømmer med et lavt partikkelinnhold, men er i følge leverandøren modifisert for å behandle partikkelrike føder. Partikkelinnholdet i føden i testperioden var lavt, oppnådd ved å sile gjødsla før den går inn i anlegget, samt det at partikler i grisegjødsl sedimenterer ut raskt og føden var fortynnet med nedbør.

Anlegget er et granulbasert kompakt ABR-anlegg med en høy væskegjennomstrømning og kort hydraulisk oppholdstid. Resultatene kan tyde på at anlegget kunne vært egnet til å behandle væskestrømmer med i hovedsak oppløste organiske lett nedbrytbare forurensninger, for eksempel fra perkolasjonsanlegg, og da helst med høyere temperaturer på avløpsvannet som skal behandles.

Resultatene fra dokumentasjonsprosjektet viser at det må stilles spørsmål ved om anlegget, slik det er driftet hos Skoglund, er egnet for behandling av blautgjødsl fra gris, og sannsynligvis også andre gjødsltyper.

Litteraturreferanser

- Bergland, W.H., Dinamarca, D., Toradzadegan, M., Nordgård, A.S.R., Bakke, I og Bakke, R. 2015. High rate manure supernatant digestion. *Water Research* 76.
- Carlsson, M., & Uldal, M. 2009. Substrathandbok för biogasproduktion. Rapport Svenskt Gastekniskt Center 200. 1102 – 7371, ISRN SGC-R-200-SE.
- Lorimor, J., Powers, W. and Sutton, A. 2004. Manure characteristics. *Manure Management Systems Series, MWPS – MidWest Plan Service, Iowa State University, Iowa.*
- Morken, J., Briseid, T., Hovland, J., Lyng, K-A. og Kvande, K. 2017. Veileder for biogassanlegg – mulighetsstudie, planlegging og drift. *Realtek Rapport 56, Norges miljø- og biovitenskapelige universitet – NMBU. ISSN: 1503-9196.*
- Nesheim, L. & Sikkeland E., H. 2013. Mengd utskilt husdyrgjødsel – nye standardtal. *Bioforsk Rapport 109/2013, ISBN 978-82-17-01131-6.*
- Svensson, K., Kjølraug, O., Horn, S.J. og Agger, J.W. 2017. Comparison of approaches for organic matter determination in relation to expression of bio-methane potentials. *Biomass and Bioenergy* 100. S. 31-38.

Norsk institutt for bioøkonomi (NIBIO) ble opprettet 1. juli 2015 som en fusjon av Bioforsk, Norsk institutt for landbruksøkonomisk forskning (NILF) og Norsk institutt for skog og landskap.

Bioøkonomi baserer seg på utnyttelse og forvaltning av biologiske ressurser fra jord og hav, fremfor en fossil økonomi som er basert på kull, olje og gass. NIBIO skal være nasjonalt ledende for utvikling av kunnskap om bioøkonomi.

Gjennom forskning og kunnskapsproduksjon skal instituttet bidra til matsikkerhet, bærekraftig ressursforvaltning, innovasjon og verdiskaping innenfor verdikjedene for mat, skog og andre biobaserte næringer. Instituttet skal levere forskning, forvaltningsstøtte og kunnskap til anvendelse i nasjonal beredskap, forvaltning, næringsliv og samfunnet for øvrig.

NIBIO er eid av Landbruks- og matdepartementet som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter og eget styre. Hovedkontoret er på Ås. Instituttet har flere regionale enheter og et avdelingskontor i Oslo.

Rapport

SUSTAINABLE INNOVATION

Forfattere: Simon Alexander Saxegård, Aina Elstad Stensgård og Kari-Anne Lyng

Rapportnr.: OR.03.18

ISBN: 978-82-7520-772-0

ISSN: 0803-6659

Følgeforskning: Telemarksreaktoren Skoglund Miljø- og økonomianalyse

Rapportnr.: OR.03.18 **ISBN nr.:** 978-82-7520-772-0 **Rapporttype:**
ISSN nr.: 0803-6659 Oppdragsrapport

Rapporttittel:

Følgforskning Telemarksreaktoren Skoglund

Miljø- og økonomianalyse

Forfattere: Simon Alexander Saxegård, Aina Elstad Stensgård og Kari-Anne Lyng

Prosjektnummer: 182504 **Prosjekttittel:** Følgforskning Skoglund

Oppdragsgivere: **Oppdragsgivers referanse:**

Innovasjon Norge

Guri Bjønnes Hotvedt

Emneord: **Tilgjengelighet:** **Antall sider inkl. bilag:**

- Biogass
- Økonomi
- Miljø
- Klimanytte
- Sambehandling

Åpen

36

Godkjent:

Dato: 20.12.2019



Ole Jørgen Hanssen
Prosjektleder (Østfoldforskning)



Hanne Lerche Raadal
Forskningsleder

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	1
1 Innledning	5
1.1 Bakgrunn	5
1.2 Forutsetninger og avgrensninger	6
2 Datagrunnlag og metodikk	8
2.1 Metodikk	8
2.1.1 Metodikk miljøanalyse	8
2.1.2 Metodikk økonomianalyse	10
2.2 Datagrunnlag	11
2.2.1 Datainnhenting og -kilder	11
2.2.2 Substratmengder og -egenskaper	11
2.2.3 Biogass- og biogjødselproduksjon	12
2.2.4 Energibruk	13
2.2.5 Direkte utslipp fra lagring av biogjødsel	13
3 Miljøanalyse	17
3.1 Resultater klimagassutslipp	17
3.2 Resultater primærenergi	20
3.3 Resultater fosfor og nitrogen	22
4 Resultater økonomi	23
4.1 Investeringskostnader og -støtte	23
4.2 Årlig resultat	24
4.3 Dekningsgrad (Scenario 3)	28
4.4 Nåverdi og internrente	29
5 Diskusjon og oppsummering	31
5.1 Diskusjon	31
5.2 Konklusjon	32
5.3 Videre forskning	32
6 Referanser	33
Vedlegg 1	35
Vedlegg 2	36

Sammendrag

Husdyrbonde Sondre Skoglund har mottatt midler fra Innovasjon Norge for investering i et biogassanlegg, Telemarksreaktoren. Formålet med støtten er å tilrettelegge for testing av teknologi for biogass basert på andre råstoff enn våtorganisk avfall fra husholdninger, i dette tilfellet svinegjødsel, og dermed bidra til fremtidige teknologiske forbedringer og kostnadsreduksjoner for produksjon av biogass. En del av betingelsene for støtten er at anlegget stilles til disposisjon for følgeforskning.

Denne rapporten er en del av følgeforskningen av biogassanlegget hos Skoglund, og dokumenterer anleggets økonomi og klimanytte. Målet med følgeforskningen er å evaluere om anlegget gir netto energiutbytte og klimanytte som forutsatt ved planlegging, samt evaluere økonomien i anlegget og bidra til kompetanseoverføring til aktører i bransjen. Anlegget er i dag brukt til forskning og videreutvikling av teknologien, og det skal etter den måleperioden denne rapporten bygger på gjøres omfattende endringer. Innovasjon Norge ønsket måleperioden utført selv om anlegget ikke hadde full kapasitetsutnyttelse og gassen ikke ble brukt.

Telemarksreaktoren hos Sondre Skoglund er levert av Waterment som et anlegg spesielt designet for mellomstore og store gårdsanlegg i Norge. Biogassanlegget behandler i dag silt bløtgjødsel fra svin (hovedsakelig avlspurker og spegris) på gården, og som i fremtiden skal sambehandles med storfegjødsel. Denne behandlingen erstatter alternativ behandling i form av direkte spredning av ubehandlet gjødsel hos Skoglund.

Det medfører at det under målingene ikke var noen utnyttelse av produsert gass, og anlegget gikk heller ikke med full kapasitet i forhold til design, ca. 32%. Biogass ble i den undersøkte perioden sluppet direkte ut i atmosfæren. I en fremtidig situasjon når anlegget er ferdigstilt forventes det lokal utnyttelse av biogassen i form av produksjon av varme.

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 relevante aktører i bransjen. Som nevnt over er anlegget et test- og utviklingsanlegg som ikke var i full drift med utnyttelse av gassen. Dette gjør vurdering av resultatene mer komplekst. Scenario 3 (se nedenfor) beskriver anlegget som det er tenkt skal bli, mens de to første beskriver anlegget som det var under måleperioden (scenario 1) og et scenario med redusert mengde behandlet gjødsel (scenario 2) og bruk av gassen til varme. Scenario 3 er med full utnyttelse av anlegget og produksjon av varme.

Det er gjennomført miljø- og økonomianalyser for følgende 3 scenarier for å få frem hvordan resultatene varierer avhengig av driftsforhold og substratsammensetning:

1. Scenario 1: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg, ingen utnyttelse av produsert biogass (slippes ut i atmosfæren), 32,4% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (970 tonn våtvekt bløtgjødsel).
2. Scenario 2: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg med produksjon av varmeproduksjon for lokal utnyttelse, 32,3% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (970 tonn våtvektbløtgjødsel).

3. Scenario 3: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg med produksjon av varme for lokal utnyttelse samt sikkerhetsfakkel (2,6%), 80% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (2400 tonn våtvekt bløtgjødsel).

Netto klimagassutslipp per tonn tørrstoff (TS) behandlet bløtgjødsel fra svin er beregnet til **47 kg CO₂-ekv. og 4,3 kg CO₂-ekv. per tonn TS** for henholdsvis 2 og 3. Med tilhørende årlige behandlingsmengder medfører disse scenariene årlige netto klimagassutslipp på henholdsvis **0,6 tonn og 0,7 tonn CO₂ – ekv./ år.**

Scenario 3 med investerings-, utviklings- og driftsstøtte medfører positiv nåverdi (1,36 Mill NOK) med en internrente på hele 23 %, hvilket skyldes effekten av energiøkonomiserende tiltak og økt tilskudd som følge av bedre kapasitetsutnyttelse og høyere TS-innhold.

I Scenario 1 med direkte utslipp av biogass uten varmereproduksjon oppnås et netto klimagassutslipp på **3067 kg CO₂-ekv. per tonn TS** og tilsvarende et netto utslipp av klimagasser i løpet av ett år på **36,3 tonn CO₂-ekv**, dersom en tar utgangspunkt i situasjonen under den 12 dager lange prøveperioden da målingene ble utført.

Hovedårsaken til at Scenario 2 og 3 gir vesentlig bedre resultater for netto klimagassutslipp enn Scenario 1 er at biogassen her forbrennes og utnyttes, noe som medfører at metan omdannes til biogent CO₂. Selv om biogassen utnyttes, medfører scenariene netto klimagassutslipp, og årsaken til dette er at varmeenergi fra norsk elektrisitet forutsettes erstattet. . Siden norsk elektrisitet er vannkraftbasert har den svært liten klimapåvirkning. Erstatning av fossile energikilder slik som bruk av propan eller olje, vil medføre betydelig større klimanytte.

Relevante forbedringstiltak er identifisert for å øke klimanytten i anlegget. Anaerob etterbehandling og langtidslagring av bioresten er en mulig løsning for vesentlig økt biogassutbytte fordi mer av biogassen fanges opp, noe som medfører reduserte direkte klimagassutslipp.

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

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

Gårdbruker Sondre Skoglund i Porsgrunn har mottatt utviklingsstøtte fra Innovasjon Norge, og er et av biogassanleggene som har status som nasjonalt pilotanlegg. Denne rapporten er en del av følgeforskningen av anlegget, og dokumenterer anleggets økonomi og klimanytte.

Telemarksreaktoren hos Skoglund er levert av Waterment AS, som er et anlegg spesielt designet for mellomstore og store gårdsanlegg. Biogassanlegget behandler i dag silt bløtgjødsel fra svin som er produsert på gården, og som i fremtiden skal sambehandles med storfegjødsel. Denne behandlingen erstatter normal bruk av husdyrgjødsel, med lagring og spredning på gården uten videre behandling. Under målingene som ble utført i 2017 i følgeforskningsperioden produserte anlegget biogass som ikke ble utnyttet, men som ble sluppet direkte ut i atmosfæren. I en fremtidig situasjon forventes det lokal utnyttelse av biogassen til produksjon av varme.

Målet med følgeforskningen er å evaluere om anlegget kan gi netto energiutbytte og klimanytte som forutsatt ved planlegging, samt evaluere økonomien i anlegget og bidra til kompetanseoverføring til relevante aktører i bransjen. Denne rapporten er en av to detaljrapporter om Telemarksreaktoren hos Sondre Skoglund. Den andre er en energi- og massebalanserapport (Briseid & Morken, 2018).

1.2 Forutsetninger og avgrensninger

Økonomi- og miljøanalysene av biogassanlegget, Telemarksreaktoren, hos Skoglund tar utgangspunkt i tre scenarier som beskrevet nedenfor. Merk at scenario 1 representerer anlegget under måleperioden, og at det ikke representerer et anlegg i normal drift. Det ble diskutert med oppdragsgiver, Innovasjon Norge, om det var riktig å gjennomføre følgeforskning når det ikke var bruk av gassen. Da bruk av gass er en relativt kjent teknologi ble det ansett at det var viktigere å få målt på anlegget og dokumentert biogassreaktoren, enn å vente til brenner for gass og utnyttelse av varme var tatt i bruk.

Scenariene er som følger:

1. Scenario 1: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg, ingen utnyttelse av produsert biogass (slippes ut i atmosfæren), 32,3% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (970 tonn våtvekt bløtgjødsel).
2. Scenario 2: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg med produksjon av varmereproduksjon for lokal utnyttelse, 32,3% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (970 tonn våtvekt bløtgjødsel).
3. Scenario 3: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg med produksjon av varme for lokal utnyttelse samt sikkerhetsfakkel (2,6%), 80% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (2400 tonn våtvekt bløtgjødsel).

Anlegget behandler i dag bløtgjødsel fra svin, men det er også mulig å sambehandle svinegjødsel med andre gjødseltyper. De tre scenariene bygger på målte verdier og beregninger rapportert i Briseid & Morken (2018), samt supplerende litteraturredata. Telemarksreaktoren er en småskala ABR reaktor (Anaerobic Baffle Reactor), en reaktortype som ofte benyttes av industri med organisk materiale hovedsakelig oppløst i vannfase, og derav lavt partikkelinnhold i føden.

Installasjonen hos Skoglund har vært et pilotanlegg for denne typen substrat og anleggsstørrelse, og fungerer derfor både som et forskningsanlegg og som et behandlingsanlegg for bløtgjødsel. Ved å sile ut partikler i bløtgjødsel, får man et substrat som egner seg for ABR, men til gjengjeld behandler kun en andel av omsettelige flyktige stoffer (VS). Driften av et pilot- og forskningsanlegg har høyere driftskostnader enn et kommersielt anlegg grunnet hyppigere utskiftninger av komponenter, eksperimentering med ulike teknologiske løsninger, samt høyere andel aktive arbeidstimer knyttet til forsøk og målinger. Dette kommer i tillegg til vanlig drift, og det er derfor i denne analysen, som i tidligere følgeforskningsrapporter, forsøkt å analysere såkalt «normal drift» som innebærer at timer, kostnader og utslipp knyttet til selve forskningsprosessen ikke inngår i datagrunnlaget.

I Scenario 3 antas at den totale kapasiteten på anlegget (3 000 tonn våtvekt per år) utnyttes i større grad (80%) enn det som er tilfellet i Scenario 1 og 2 (32,3%). I tillegg forutsettes det at gjødsel pumpes direkte fra gjødselkjeller under grisehuset i stedet for via frittstående gjødselkum, hvilket bidrar til økt TS-innhold ved at man unngår regnvann i substratet. Dette øker biogassutbyttet per tonn våtvekt substrat behandlet. Gjødselen i kjelleren har dessuten høyere temperatur enn innholdet i gjødselkummen, noe som reduserer behovet for oppvarming av substratet og gir høyere netto energi. I tillegg antas det i Scenario 3 at rørstrekkene mellom reaktor og gjødselkjeller legges parallelt, i stedet for adskilt, slik at restvarmen fra returrøret kan utnyttes. Dette medfører høyere temperatur (ca

6 grader) på substratet. Totalt sett er det antatt at dette bidrar til halvering av energibruket knyttet til oppvarming av reaktor og frostsikring av rør, hvilket antas å være et konservativt anslag.

Tabell 1-1 viser de viktigste forutsetningene for miljø- og økonomianalysen for de tre scenariene. Produsert varme er beregnet ut fra oppgitt substratmengde, energibruk, oppholdstid, andel biogass som fakles, samt beregnede biogassmengder fra Briseid & Morken (2018).

Tabell 1-1 Forutsetninger for scenarioanalysene av miljø- og økonomi for Telemarksreaktoren hos Skoglund.

Skoglund, Telemarksreaktoren	Scenario 1: Dagens situasjon, 32,3% utnyttelse av reaktor	Scenario 2: 32,3% utnyttelse av reaktor, og energiutnyttelse	Scenario 3: 80% utnyttelse av reaktor og energiutnyttelse	Enhet
Bløtgjødsel, svin	970	970	2 400	Tonn
Biogass produsert	1640	1640	8 967	Nm3
Varme produsert	0	14 210	45 529	kWh
Biogjødsel	967	967	2389	Tonn
Andel faklet	0%	0%	2,6%	Andel

2 Datagrunnlag og metodikk

2.1 Metodikk

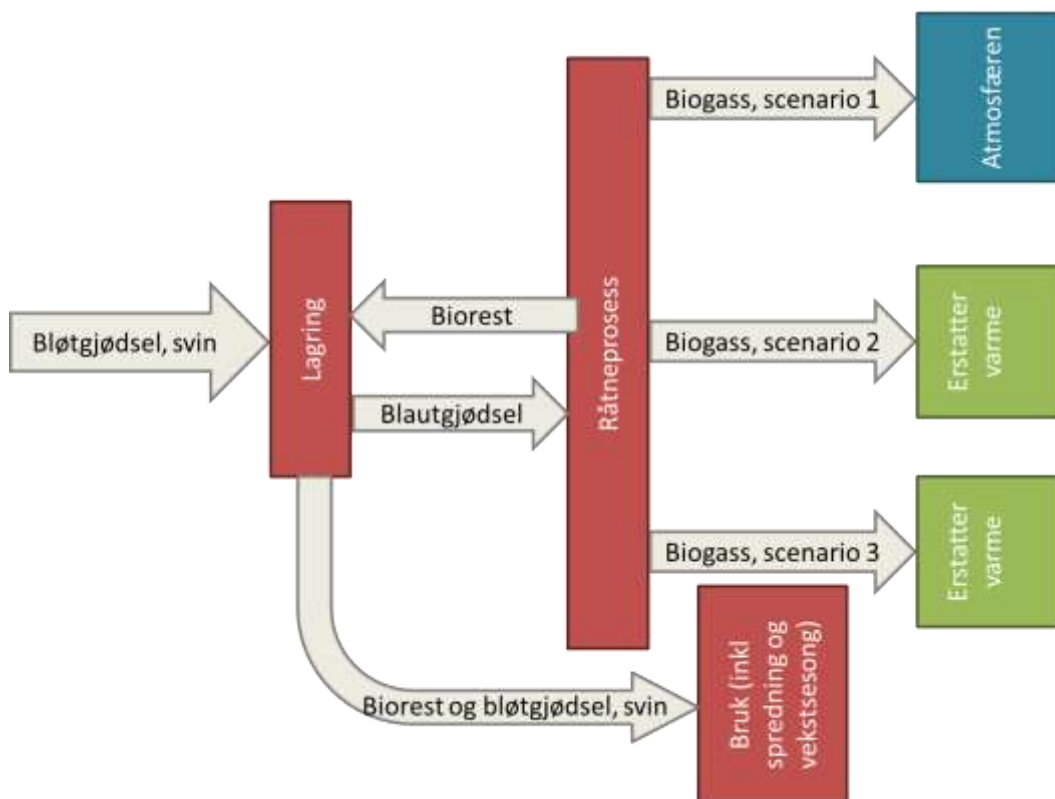
2.1.1 Metodikk miljøanalyse

Miljøanalysen av biogassanlegget hos Skoglund analyserer de tre ovennevnte scenariene:

1. Scenario 1: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg, ingen utnyttelse av produsert biogass (slippes ut i atmosfæren), 32,3% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (970 tonn v.v. bløtgjødsel).
2. Scenario 2: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg med produksjon av varmereproduksjon for lokal utnyttelse, 32,3% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (970 tonn v.v. bløtgjødsel).
3. Scenario 3: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg med produksjon av varme for lokal utnyttelse samt sikkerhetsfakkøl (2,6%), 80% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (2400 tonn våtvekt bløtgjødsel).

Miljøanalysen omfatter klimagasser, primærenergibruk, gjenvinningsgrad av næringsstoffene nitrogen og fosfor, samt et overordnet energiregnskap.

Miljøanalysen bygger på livsløpsanalyse (LCA), og er gjennomført i henhold til ISO 14044: 2006. Analysen tar for seg klimabelastningen knyttet til behandling av de ulike substratene, samt foredling og levering av varme og biogjødsel. Direkte utslipp i form av metanlekkasjer fra livsløpsfasene *reaktor* og *bioestlager* er inkludert. De ulike livsløpsfasene er illustrert i Figur 2-1, der pilene illustrerer massestrømmene, røde bokser indikerer livsløpsfaser som bidrar til utslipp, mens grønne bokser representerer livsløpsfaser som bidrar til utslippsreduksjoner (substitusjonseffekter).



Figur 2-1 Livsløpsfaser for miljøanalysen av Telemarksreaktoren hos Skoglund. Røde bokser indikerer utslipp, grønne bokser indikerer sparte utslipp.

Direkte og indirekte utslipp knyttet til bygging og vedlikehold av selve anlegget er ikke inkludert. Substitusjonseffekter (sparte klimagassutslipp, primærenergiforbruk osv.) knyttet til bruk av biogass er inkludert i Scenario 2 og 3 ved at utnyttet biogass forutsettes å erstatte varme (fra elektrisitet). Biogjødsel fra svinegjødsel forutsettes å erstatte bruk av ubehandlet gjødning. Resultatene oppgis i netto klimagass utslipp som sammenligner påførte miljøpåvirkninger sammen med unngåtte miljøpåvirkninger, hvor da et positivt uttrykk vil indikere økt miljøbelastning.

Beregninger av masse- og energistrømmer er gjennomført i verktøyet OWSTT (Organic Waste Substrate Treatment Tool), utviklet ved NTNU og beskrevet i Saxegård & Baxter (2016). OWSTT er tilpasset LCA-modellen BioValueChain (BVC) som er utviklet av Østfoldforskning i samarbeid med Tel-Tek, NIBIO og NMBU, og beskrevet i Modahl et al. (2016). De to modellene er brukt i samtlige følgeforskningsarbeider, noe som sikrer like systemgrenser og omkringliggende (generiske) forutsetninger uavhengig av anlegg. Modellene sikrer vektet biogassproduksjon, næringsgjenvinning potensial samt anleggets energivirkningsgrad basert på behandlet substrat, anleggets energiforbruk og tap av metan, næring og energi igjennom hele prosessen.

2.1.2 Metodikk økonomianalyse

Økonomianalysen analyserer Telemarksreaktoren hos Skoglund der kostnader knyttet til forsknings-, utviklings- og testaktivitetene er ekskludert. Dette er gjort for å belyse det økonomiske potensialet for et biogassanlegg slik Telemarksreaktoren er i nåværende fase.

Økonomianalysen analyserer de samme 3 scenarioene som miljøanalysen, som beskrevet i kapittel 1.2.

Analysen vurderer anleggets bedriftsøkonomi for de tre scenariene, både med- og uten støtteordninger. Støtteordningene som inngår er investeringsstøtte, utviklingsstøtte fra Innovasjon Norge, samt tilskudd for levering av svinegjødse til biogassanlegg. Andre støtteordninger som juridiske virkemidler o.l. er ikke vurdert.

Det presiseres at økonomianalysen kun ser på økonomien for biogassanlegget Telemarksreaktoren Skoglund. Eventuelle kostnader oppstrøms- eller nedstrøms for anlegget er ikke vurdert.

2.2 Datagrunnlag

2.2.1 Datainnhenting og -kilder

Datagrunnlaget for analysen er basert på spesifikke målinger for anlegget i perioden 31.10.2017 – 07.12.2017, utført av SINTEF Tel-Tek som partner i følgeforskningsprosjektet, samt data fra Briseid & Morken (2018). I tillegg er det benyttet litteraturdata for å komplementere hull i datagrunnlaget, og/eller som kvalitetssikring og begrunnelse for hvorfor gitte situasjoner kan eller har oppstått. Med bakgrunn i dette, ansees det endelige datagrunnlaget som representativt for anlegget. Det presiseres likevel at det kan være utfordrende å bruke rådata og litteraturdata sammen på denne måten, og det har vært nødvendig å balansere og korrigere målte verdier og variasjoner i disse for å kunne forklare avvik i målingene. Slike avvik kan for eksempel være at det er målt høyere TS ut av reaktor sammenlignet med det som er målt inn. Dette er ikke unormalt og kan forklares ved at utråtingen er en prosess der mengden inn- og utstrømmer ikke er konstante. For å balansere og korrigere innsatsverdiene slik at dette stemmer på et overordnet nivå, er det viktig å kvalitetssikre dette med masse- og energibalanserte strømmer inn og ut av anlegget for å redusere stokastisk usikkerhet (Clavreul et al. 2012).

2.2.2 Substratmengder og -egenskaper

I forsøksperioden ble det behandlet 2,65m³ bløtgjødsel per døgn. Dette var silt bløtgjødsel med et tørrstoffinnhold på 1,22% (Briseid & Morken 2018). Regnes det om fra forsøksperioden til et helt år tilsvarer det at reaktoren behandler 970 m³ per år og 11,83 tonn tørrstoff (TS).

Basert på standardtall for mengde gjødsel per dyr og besetningsstørrelse hos Skogland estimerer Briseid & Morken (2018) årsproduksjon av gjødsel til å være 970 tonn våtvekt med 69 tonn tørrstoff. Dette er mengde møkk direkte fra grisene, i tillegg kommer vaskevann fra daglig renhold, søl av drikkevann, renhold ved skifte, og regnvann som treffer gjødselkummen. Beregnet behandlet andel av tørrstoffet på årsbasis basert på forsøksperiode er da 11,83 / 69 = 17,4%. Følgelig er det 82,6% TS som forblir ubehandlet.

Anlegget gikk på redusert belastning i forsøksperioden. Waterment har designet reaktoren for at den skal kunne behandle rundt 3000 m³ per år tilsvarende 8,2m³ per døgn, det vil si at i forsøksperioden gikk den på 32,3% kapasitet. Grunnlaget for Scenario 1 og 2 er denne kapasitetsutnyttelsen. I et tenkt Scenario 3 med 80% kapasitetsutnyttelse uten innblanding og fortynning på grunn av regnvann, sedimentering eller silkasse er det mulig å behandle rundt 168 tonn TS bløtgjødsel fra svin. Mottatt og behandlet mengde våtvekt (tonn) samt andel tørrstoff i substrat i scenariene er vist i Tabell 2 1.

Tabell 2-1 Mottatte og behandlede årlige mengder (tonn) avfall i våtvekt (v.v), tonn TS, samt TS%.

Substrat Monobehandling	Mottatte årlige mengder (tonn v.v)	Behandlede årlige mengder (tonn TS)	TS (%)
Svinegjødsel, scenario 1 og 2	970	11,83	1,22 %
Svinegjødsel, scenario 3	2400	168,3	7,11%

2.2.3 Biogass- og biogjødselproduksjon

Som beskrevet innledningsvis, har situasjonen frem til i dag vært at biogassen ikke har blitt brukt til energiproduksjon, men slippes direkte ut til atmosfæren, noe som medfører betydelige klimagassutslipp. Utover dette, er det ingen målt næringsnytte assosiert med at biogjødsel erstatter ubehandlet gjødsel. Likevel er det sannsynlig at biogjødselens næringsstoffer er noe mer plantetilgjengelig sammenlignet med ubehandlet gjødsel (Luostarinen et al. 2011).

Oppholdstiden til bløtgjødsel i reaktoren i måleperioden er 3,77 dager, som basert på behandlet mengde v.v gir en kapasitet på 970 tonn våtvekt til behandling. Grunnet sedimentering, utsling og kort oppholdstid (hydraulic retention time eller HRT), brytes kun en liten andel av tørrstoffinnholdet ned. Det forventes imidlertid at mesteparten av tilgjengelig VFA (Volatile fatty acids) blir nedbrutt. Innhold av VFA introduserer en mulighet for at biogassen kan ha en større masse enn målt vekt på VS, noe som tidligere har blitt tolket som inkonsistent massebalanse. Det er imidlertid stor variasjon i VFA innholdet og store deler av VFA vil ikke bidra til metan eller CO₂ produksjon. Basert på målinger fra måleperioden (utført av SINTEF Tel-Tek) og beregninger fra NIBIO, kan det antas at 23% av behandlet TS og 34,4% av VS brytes ned under utråtningen. Beregnet biogassutbytte for den lett nedbrytbare og partikkelfattige bløtgjødselen er 139L CH₄ / kg TS eller 209L CH₄ / kg VS.

Målt gjennomsnittlig sammensetning av biogassen er oppgitt til 57% CH₄, 18,4% CO₂, 3,3% O₂ og 21% annet (antatt å være N₂, H₂O m.m) inklusivt 303,7 ppm¹ HS. Oksygen og nitrogen tilføres ved at luft suges inn i tilførselsrør for å unngå hevertvirkning og utgjør 5 – 15% av biogassen (Briseid & Morken 2018). En effekt av dette er at oksygenet reagerer med H₂S og som blir til elementært svovel (S₀) eller sulfat (SO₄²⁻), en velkjent reaksjon for H₂S. Dette kan gi en forstyrrelse i datasettene fra målingene. Ser en bort i fra andre gasser enn CO₂ (slik som tilført luft), utgjør metanet omtrent 68% av gassinnholdet i biogassen. Det er i denne analysen tatt utgangspunkt i produsert mengde biogass uten tilsetning av luft ettersom mengden metan og derav energiinnholdet er det samme.

Tabell 2-2 viser beregnede verdier for biogjødsel i de tre analyserte scenariene.

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

Mengder ut biogjødsel	Scenario 1: Dagens situasjon, 32,3% utnyttelse av reaktor	Scenario 2: 32,3% utnyttelse av reaktor, og energiutnyttelse	Scenario 3: 80% utnyttelse av reaktor og energiutnyttelse	Enhet
Biogjødsel levert ut (tonn)	970	970	2 389	Tonn
Biogjødsel TS (%)	0,95 %	0,95 %	6,7%	Andel
Biogjødsel TS (Behandlet)	9,1	9,1	15,9	Tonn
Nitrogen (% av TS)	10,25%	10,25%	8,5%	Andel
Nitrogen levert ut	937	937	9 022	kg
Fosfor (% av TS)	0,9 %	0,9 %	0,9%	Andel
Fosfor levert ut	96	96	1 383	kg

En nærmere utredning om direkte utslipp fra lagring av biogjødsel er beskrevet i kapittel 2.2.5.

¹ Parts per million eller andeler pr. million

2.2.4 Energibruk

Waterment oppgir et energibruk på 98 kWh/ døgn, hvor behandlet mengde utgjør 2651 L med 1,22% TS (tilsvarer 32,3 kg TS pr døgn) (Briseid & Morken 2018). For 970 tonn våt vekt behandlet substrat er energiforbruket estimert til 3031 kWh/tonn TS eller 35 875 kWh per år, noe som tilsvarer 365 driftsdøgn per år. Hvis en hadde forventet omtrent 330 driftsdøgn per år ville reaktoren ha behandlet 875 tonn v.v og 10,7t TS med en total energiproduksjon på 12 818 kWh varme.

Dersom biogassen utnyttes, er det beregnet et energiutbytte på omtrent 14 210 kWh. Det er antatt et metanslipp fra reaktoren på 0,1% samt en varmekjel med netto virkningsgrad på 87% hvor 90% utnyttes igjennom hele året. Det er ikke antatt økt energibehov ved introduksjon av varmekjel. Årlig energiforbruk i biogassanlegget hos Skoglund er 35 905 kWh varme. Energiregnskapet tilsier at rund 40% av anleggets eget energiforbruk kan teoretisk dekkes fra biogassproduksjonen, som betyr at anlegget er energinegativt når bare en del av gjødsla behandles (Scenario 2). Ved 80% utnyttelse vil anlegget kunne produsere mer energi enn det bruker (Scenario 3).

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

Tabell 2-3 Energiregnskap for de tre analyserte scenariene.

	Scenario 1: Dagens situasjon, 32,3% utnyttelse av reaktor	Scenario 2: 32,3% utnyttelse av reaktor, og energiutnyttelse	Scenario 3: 80% utnyttelse av reaktor og energiutnyttelse	Enhet
Energiforbruk, kun biogassanlegg	35 905	35 905	35 766	kWh
Energiforbruk, hele verdikjeden	36 679	36 679	37 674	kWh
Energiproduksjon biogass	0	14 200	45 529	kWh

2.2.5 Direkte utslipp fra lagring av biogjødsel

Biogjødsla fra biogassanlegget føres i dag tilbake til samme gjødselkum som den hentes fra. Direkte utslipp fra biogjødsel under lagring kan være utfordrende både å estimere og måle, og tilgjengelig kunnskap og forutsetninger for analysen er beskrevet nedenfor.

I Amon et al. (2006) er det oppgitt målinger på 1344 g CH₄/ tonn våtvekt anaerobt behandlet storfegjødsel forutsatt en oppholdstid (HRT) på 30 – 40 dager i reaktor opp mot 4046 g CH₄/ tonn våtvekt storfegjødsel. Reduksjonen i direkte metanutslipp fra biogjødsel relativt til gjødsel målt i Amon et al. (2006) er ca. ¼. I Telemarksreaktoren er oppholdstiden angitt til 3,77 dager og det er hovedsakelig oppløste fettsyrer som behandles. Den lave nedbrytningsgraden og filtrering gjør at det er vesentlig større andel nedbrytbart materiale tilgjengelig i lagringstanken. I Amon et al. (2006) er det gjort forsøk ved å legge stråtak/halm over gjødselkjellere som resulterte i en økning på 21% i metanproduksjon grunnet økt andel karbon introdusert fra selve stråtalet. Samme prinsipp kan forventes å gjelde for tilføring av biorest med høyere temperatur til svinogjødsel-lageret, selv om det også betyr at noe av biogasspotensialet vil brukes opp før ubehandlet gjødsel behandles. VS i svinogjødsel er lettere nedbrytbart og har høyere biogasspotensial enn VS i halm (Carlsson & Uldal, 2009), som sannsynliggjør en eventuell samutråning i gjødsellageret for ubehandlet og behandlet

bløtgjødsel fra svin. I studien Luostarinen et al. (2011) tas det utgangspunkt i at alle biogassanlegg har en etterlagringstank for biorest hvor en kan forvente at ca. 10-30% av biogasspotensialet produseres. Dette gjelder for anaerob behandling i reaktor med oppholdstid på 20-30 dager. Det er ifølge studien spesielt viktig for gårdsbaserte biogassanlegg å ha en etterbehandlingstank for å øke biogassproduksjon og redusere metanutslipp og derav klimapåvirkningene.

Forsøkene til Amon et al. (2006) er utført med bløtgjødsel med gjennomsnittlig temperatur 17°C, mens Luostarinen et al. (2011) skriver følgende om etter-råtningstanker:

"The post-digestion tank is not heated as the digester, but the temperature may change depending on the tank design and weather conditions. When situated mostly underground and insulated, the digester temperature can almost be maintained (digester 37 °C, post-digestion tank 29-35 °C) despite no heating and very cold winters."

Gjødselkummen hos Skoglund er ikke isolert, og står over grunnen på over halvparten av omkretsen.

En kan anta at metanpotensialet fra et biorestlager tilsvarer maksimalt metanutbytte (L CH₄ / kg VS) for gitte substrat(er) minus metan produsert igjennom hele den anaerobe behandlingsprosessen (fra forbehandling til biorest ut fra reaktor). For bløtgjødsel fra svin er biogassutbyttet oppgitt til 180 – 490 L CH₄ / kg VS (Luostarinen et al., 2011), hvor nedre verdi antas å representere kort oppholdstid og øvre verdi lang oppholdstid på mellom 60 – 90 dager (Carlsson & Uldal 2009). Nå er det imidlertid slik at 100% av maksimalt metanpotensiale ikke vil bli brutt ned på denne måten. For bløtgjødsel fra svin har vi estimert at maksimalt 98% VS svinegjødsel vil la seg nedbrytes (OWSTT, Saxegård & Baxter 2016). Metanutbytte opp mot 100% er vanskelig å oppnå selv under optimale anaerobe forhold over lang tid. Det er likevel å forvente at betydelig andel metan vil oppstå fra biorestlageret basert på observasjonene nevnt over. Årsaken til dette er i hovedsak:

- Tilført lett nedbrytbar VS i form av ubehandlet svinegjødsel
- Lang oppholdstid i gjødselkjeller og -kum
- Stort gjenværende biogasspotensial i bioresten.
- Liten andel av TS og VS som faktisk blir behandlet
- Det kan følge med granuler fra reaktor selv om anlegget er designet for at dette ikke skal skje
- Det kan følge med delvis nedbrutt organisk materiale fra reaktor tilbake gjødselkjeller
- Temperaturen vil variere og være høyere om sommeren enn om vinteren.

Basert på resonnetet over, kan en ikke med sikkerhet si at utslippene fra lagring av biogjødsel er lavere enn utslipp fra lagring av ubehandlet gjødsel. Det kan faktisk heller være motsatt. Dette til tross for at konsentrasjonsmålinger tatt i gjødselkjeller i forbindelse med følgeforskningsprosjektet viser 0% for metan og rundt 0,3% karbondioksid. Konsentrasjonsmålinger er vanskelig å gjøre om til fluksmålinger (mengde over tid) slik at den kan kobles til massebalansen, spesielt med tanke på at målingene er gjort i perioden 31. oktober til 7 desember ved omtrentlig 0 grader i gjødseltank når den psykrofile nedbrytningsraten er på sitt laveste. I perioder hvor temperaturen i gjødselkjelleren og kum er høyere, forventes det en høyere metanproduksjon i gjødsellageret.

I forbindelse med store usikkerheter knyttet til direkteutslipp fra kombinert gjødsel- og biorestlager er tre matematiske tester utarbeidet for å se på mulige utslippsprofiler med og uten biogassproduksjon fra bløtgjødsel. Testene tar utgangspunkt i scenario 1 (Test A) og 2 (Test B) samt uten behandling (ingen biogassproduksjon) (Test C) og baseres på mengden TS (68 tonn) per 970 tonn v.v fra

gjødselkjeller hvor det i test A og B behandles 11,83 tonn TS (970 tonn v.v med 1,22% TS) anaerobt med biogassproduksjon. Resultatene er presentert i Tabell 2-4.

I denne studien er det antatt et metanutslipp på 12% av gjenværende biogass potensiale fra bioresten beregnet ut i fra tallgrunnlag fra Amon et al., (2006) ved å ta målt metanutslipp ($CH_{4,utslipp}$) fra etterlagring delt på maksimalt metan utbytte ($CH_{4,max}$) minus faktisk metanutbytte ($CH_{4,utbytte}$): $CH_{4,utslipp} / (CH_{4,max} - CH_{4,utbytte}) = CH_{4, utslipp\%}$. Selv om det i Amon et al., 2006 er storfe gjødsel det dreier seg om antas det at samme matematiske formel er gjeldende andre substrater. 12% metanutslipp av gjenværende metan potensiale tilsvarer ca. 3,35% av produsert biogass som er veldig lavt anslag sammenliknet med verdier fra Luostarinen et al. 2011 som beskriver 10 - 30% av biogassutbyttet kan oppstå i etterlagringstanken. Dog vil en etterlagringstank som beskrevet vanligvis ha høyere temperatur enn gjødselkummen hos Skoglund. Lavere temperatur vil medføre lavere metanutslipp. Metanutslippet fra ubehandlet gjødsel er satt til 4,83kg CH_4 / tonn TS (Modahl et al. 2016).

Tabell 2-4: Beregnede direkteutslipp med og uten biogassbehandling av bløtgjødsel sett i et utvidet perspektiv

Mengder ut biogjødsel	Test A: Anaerob behandling 11,83 tonn av 68 tonn med direkte utslipp til atmosfæren (Scenario 1)	Test B: Anaerob behandling 11,83 tonn av 68 tonn med direkte utslipp til atmosfæren (Scenario 2)	Test C: Ingen behandling av 68 tonn TS (gjødseellager)	Enhet
Metanutslipp ubehandla gjødsel	380	380	460	Nm3
Metanutslipp biogassprosessen	1 642	2		Nm3
Metanutslipp biorest	55	55		Nm3
Totalt metanslipp	2 077	437	460	Nm3

I Skoglunds biogasspilot slippes produsert biogass direkte ut i atmosfæren som vist i Test A. Til tross for 17,4% reduksjon i metanslipp fra gjødseellager medfører ikke Test A redusert metan til atmosfæren, men en 4,5 ganger netto økning. Hadde biogassen blitt faklet eller benyttet til oppvarming, som presentert i Test B, ville mesteparten av metanet fra biogassreaktor vært eliminert ettersom metan omgjøres til biogent karbondioksid (CO_2) som har nøytral klimavirkning. Noe utslipp fra reaktor vil være sannsynlig fra overtrykksventiler samt inn og pumping av bløtgjødsel. Fra bioresten forventes et metanutslipp på 55 Nm³ / 11,83 tonn TS behandlet, som tilsvarer 3,33 kg CH_4 / tonn TS behandlet substrat. Reduksjonen i metanutslippet fra behandlet bløtgjødsel er 31%, men som en kan beregne ut i fra Tabell 2-4 utgjør netto reduksjonen i Test B kun 5% i forhold til 68 tonn TS ubehandla bløtgjødsel (Test C).

Resultatene i Tabell 2-4 viser at biogassproduksjon hos Skoglund kan bidra til en liten reduksjon i direkte metanutslipp fra gjødseellageret, men at det med dagens praksis slippes ut betydelig mer metan til atmosfæren enn det som ville vært tilfelle uten biogassproduksjon. Det skal likevel understrekes at resultatene og diskusjon knyttet til Tabell 2-4 er en matematisk øvelse med utgangspunkt i spesifikke verdier for biogass utbytte og behandlet TS samtidig som det er benyttet generiske verdier for metanutslipp fra gjødsel- og biogjødsel lager. Det kan derfor være at Skoglunds gjødsel- og biogjødsellager avviker fra de eksakte verdiene over, men at trenden er den samme. Resultatene i Tabell 2-4 tar også utgangspunkt i en utvidet forståelse av systemgrensene hvor det

sees på 68 tonn TS tilknyttet 970 tonn v.v med 7% TS. Videre i denne analysen er resultatene med hensyn til behandlet mengde (11,83 tonn TS for 970 tonn v.v med 1,22% TS) og direkteutslipp fra gjødsellager tilknyttet de øvrige mengdene TS utover 11,83 tonn vil derfor ikke inkluderes i studiens resultatkapitler for miljø og økonomi.

3 Miljøanalyse

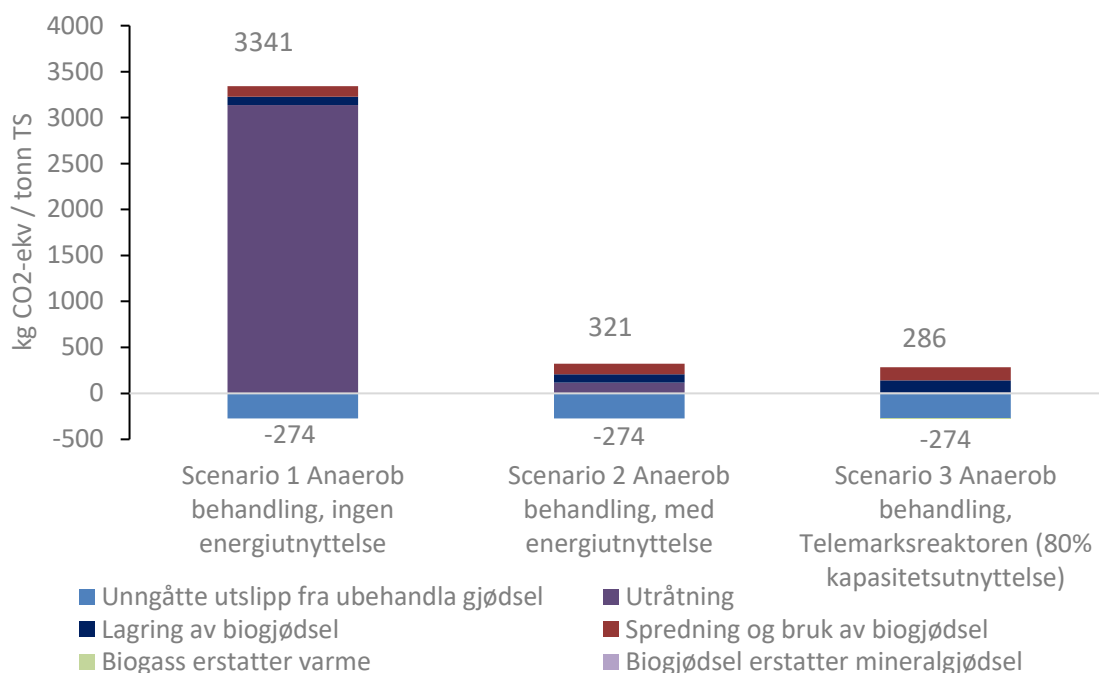
3.1 Resultater klimagassutslipp

Klimanytten beregnet for følgende tre scenarier og presenteres som kg CO₂-ekvivalenter per tonn TS behandlet substrat (silt bløtgjødsel fra svin).

1. Scenario 1: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg, ingen utnyttelse av produsert biogass, slippes ut i atmosfæren, 32,3% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (970 tonn v.v. bløtgjødsel)
2. Scenario 2: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg med produksjon av varme for lokal utnyttelse, 32,3% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (970 tonn v.v. bløtgjødsel).
3. Scenario 3: Behandling av svinegjødsel i biogassanlegg med produksjon av varme for lokal utnyttelse samt sikkerhetsfakkell (2,6%), 80% utnyttelse av kapasiteten til reaktoren (2400 tonn v.v. bløtgjødsel).

Figur 3-1 viser klimaeffekten knyttet til de tre scenariene. Scenario 1 har kun substitusjonseffekt² knyttet til biogjødsel (erstatte ubehandlet lagring av husdyrgjødsel), mens Scenario 2 har i tillegg en substitusjonseffekt knyttet til utnyttelse av produsert biogass (erstatte varme fra annen energibærer). I Scenario 3 presenteres resultatene for behandling av 2400 tonn våtvekt med en høyere TS (7,1%), optimalisert energibruk og redusert varmetap. Ettersom biogassen forutsettes å erstatte varmeenergi fra norsk elektrisitet er potensialet for sparte klimagassutslipp relativt lav. Dette skyldes at klimabelastningen knyttet til norsk elektrisitetsproduksjon er lav («ren» energibærer). Potensialet for sparte utslipp er vesentlig større dersom fossile energibærere som oljefyring, naturgass, kull eller fossile drivstoff erstattes (Modahl et al. 2016; Saxegård & Baxter 2016; Hamelin et al. 2014, m.fl.).

² Substitusjonseffekt er unngåtte miljøpåvirkninger ved å unngå forbruk av et produkt eller en tjeneste som kan erstattes av gjeldende produkt eller tjeneste.

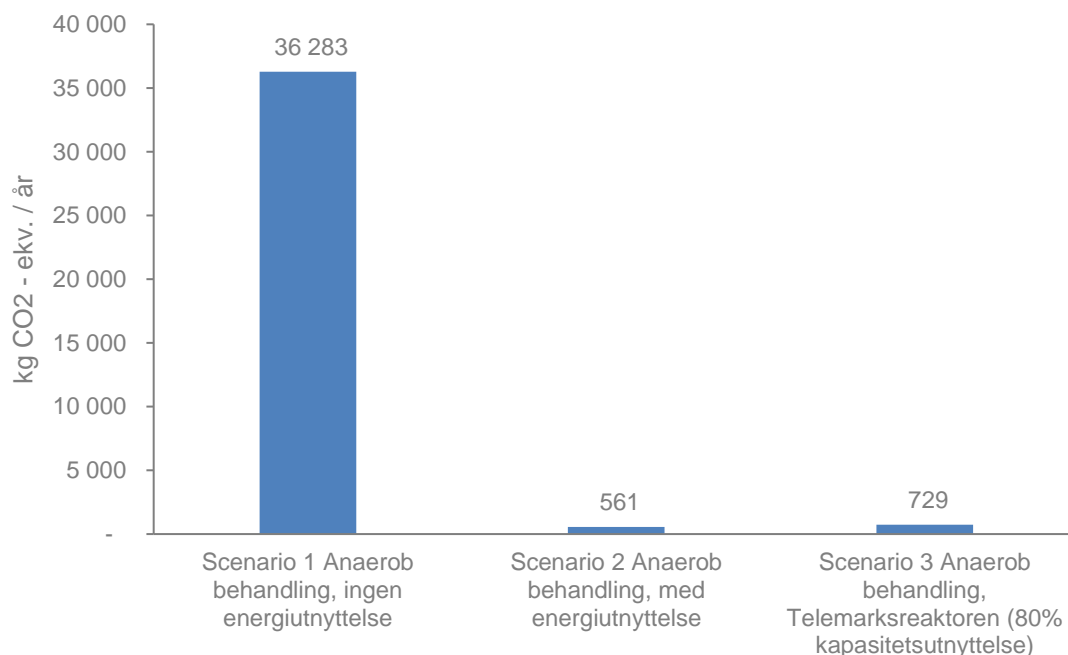


Figur 3-1 Klimavirkninger av Telemarksreaktoren hos Skoglund inkl. sparte klimagassutslipp knyttet til substituert energi og sparte utslipp fra lagring

Fra figuren over sees at de største utslippene oppstår når biogassen ikke utnyttes, men slippes direkte ut i atmosfæren (lilla del av søylen Scenario 1). Utslippene knyttet til lagring og spredning av biogjødsel (rød og mørkeblå del av søylen) er litt mindre (205 kg CO₂-ekv / tonn TS) enn sparte utslipp knyttet til ubehandla gjødsel (blå del av søylen) som skyldes kort oppholdstid (HRT) og fordi kun våtfasen av bløtgjødsel behandles. Dersom produsert biogass blir utnyttet ved at den forbrennes (Scenario 2 og 3), vil tilnærmet all metan (med unntak av mindre lekkasjer igjennom anlegget på ca. 0,14 % av produsert biogass) omdannes til biogent karbondioksid og vanndamp som begge er klimanøytrale klimagasser innen en 100 års referanseperiode. I tillegg vil man få en substitusjonseffekt ved at gassen utnyttes. I Scenario 2 og 3 er det forutsatt at biogassen unyttes til produksjon av varme som erstatning for varme generert fra norsk elektrisitet. Som følge av at norsk elektrisitet er en «ren» energibærer, gir dette en relativt liten substitusjonseffekt, som vist med grønn del av søylen i Scenario 2 og 3.

Netto klimagassutslipp per tonn behandlet bløtgjødsel fra svin er beregnet til **3067 kg CO₂-ekv, 47 kg CO₂-ekv og 4,3 kg CO₂-ekv per tonn TS** for henholdsvis Scenario 1, 2 og 3.

Figur 3-2 viser netto klimanytte per år for de analyserte scenariene.



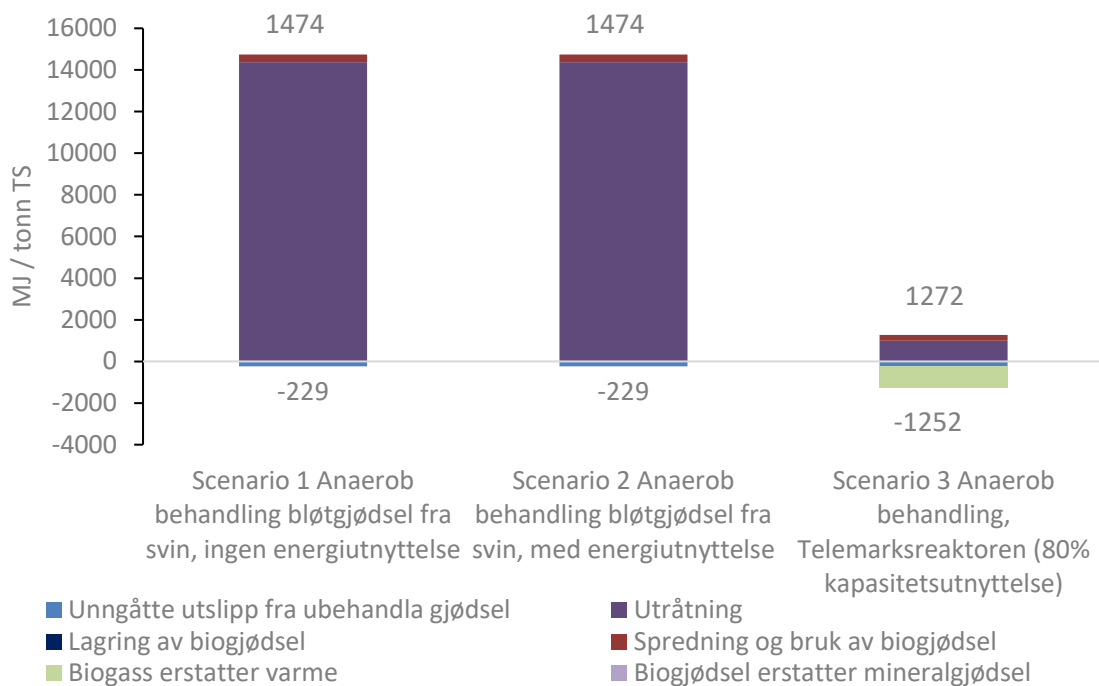
Figur 3-2 Netto klimanytte per år for de analyserte scenariene.

Figuren over viser at alle de analyserte scenariene bidrar til netto klimagassutslipp. Forskjellen er størst mellom Scenario 1 og de andre scenariene, og forbedringen i Scenario 2 og 3 sammenlignet med Scenario 1 er et resultat av at biogassen blir forbrent fremfor å bli sluppet direkte ut i atmosfæren.

Utnyttelse av biogassen (Scenario 2 og 3) gir stor reduksjon i netto klimagassutslipp som følge av at metan omdannes til biogent CO₂, men anlegget vil fremdeles medføre netto utslipp. Hovedårsaken til dette er at energien erstatter norsk strøm, som er en «ren» energibærer. I tillegg er det viktig å presisere at biogjødsel har tilnærmet samme utslipp ved lagring som ubehandlet gjødsel, hovedsakelig som følge av at det er lite nedbrutt i reaktoren på grunn av den korte oppholdstiden. Dermed bidrar biogjødsel med en minimal klimanytte.

3.2 Resultater primærenergi

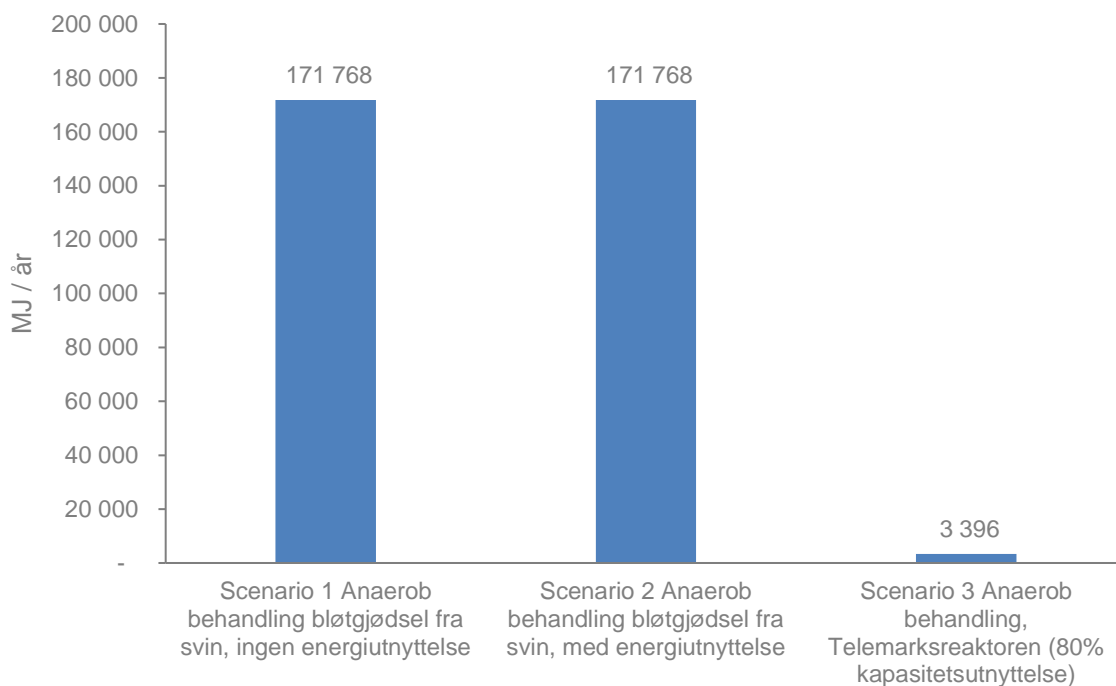
Primærenergi er en utvidet benevnelse for energibruk og spart energibruk akkumulert gjennom hele verdikjeden. Figur 3-3 viser primærenergi for de to scenariene. Merk at det er 32,3% kapasitetsutnyttelse av anlegget i Scenario 1 og 2, og 80% kapasitetsutnyttelse i Scenario 3.



Figur 3-3 Primærenergi for de tre scenariene hos Skoglund

Primærenergibruken er lik i Scenario 1 og 2 fordi det ikke er inkludert ekstra energiforbruk knyttet til eventuelle renseprosesser knyttet til utnyttelse av gass i Scenario 2. Scenario 3 har vesentlig lavere primærenergibruk som følge av optimert energibruk og redusert varmetap i substrat og biogjødsel. Erstattet primærenergi for lagring og spredning av ubehandlet gjødsel er likt i Scenario 1, 2 og 3, mens Scenario 2 og 3 erstatter også energi.

Figur 3-4 viser netto primærenergi igjennom et år for Telemarksreaktoren hos Skoglund.



Figur 3-4 Netto primærenergi på Skoglund biogassanlegg

Figuren viser at årlig netto primærenergi bruk er klart størst i Scenario 1 og klart lavest i Scenario 3. Grunnen til at Scenario 3 gir vesentlig bedre resultat enn Scenario 2, til tross for at scenariene produserer like mye energi per tonn TS, er at Scenario 3 har lavest netto energibruk per tonn TS behandlet (mer energieffektiv løsning), samt at det behandler en større mengde TS per år. Økt netto primærenergiforbruk betyr at det for anaerob behandling i disse scenariene fører til økt energi konsum igjennom hele verdikjeden.

Ingen av scenariene gir negativt netto primærenergi bruk.

3.3 Resultater fosfor og nitrogen

Resultatene for gjenvinning av næringsstoffene nitrogen og fosfor antas å være de samme uavhengig om biogassen utnyttes eller ikke. I Tabell 2-3 tas det utgangspunkt i at det ikke forsvinner noe nitrogen i selve behandlingsprosessen, selv om dette er en mulig kilde til tap i form av ammoniakk gass.

Tabell 3-1: Gjenvinningsgrad av næringsstoffer hos Skoglund

Næringsgjenvinning	Nitrogen, fra råtnetank	Nitrogen, gjenværende etter spredning	Nitrogen, plante-tilgjengelig etter spredning	Fosfor
Behandling av bløtgjødsel fra svin	99,6 %	78,2 %	66,5 %	90 %

Gjenvinningsgraden for nitrogen er avtagende fra det kommer ut av reaktor til det er spredt på jorden fordi det forventes nitrogenavgassing fra biorestlager og fra spredning. Data for avgassing er basert på litterære kilder for nitrogen avgassing fra Amon et al. (2006) og Bernstad & Jansen (2011). I tillegg tapes omtrentlig 10% av fosfor under behandling. Årsaken til tapet er usikkert og baserer seg på litteraturverdier fra studiene Möller & Müller (2012) og Hospido et al. 2005 (kloakkslam). Deres argumentasjon er at fosforet kan binde seg til veggene i reaktoren, samt tas opp av mikroorganismer som ikke følger med i bioresten.

4 Resultater økonomi

4.1 Investeringskostnader og -støtte

Som nevnt i metodekapittelet tar økonomianalysen ikke utgangspunkt i reelle påløpte investeringskostnader for biogassanlegget, men bygger i stedet på estimerte kostnader basert på en kommersiell versjon av anlegget. Dette skyldes at biogassanlegget i dag fungerer som et anlegg for forskning, utvikling og testing av substrat og biogassteknologi.

Økonomianalysene gir en sammenlikning av anleggets økonomi basert på dagens løsning der biogassen ikke utnyttes, antatt fremtidig løsning der biogassen utnyttes lokalt til varmeproduksjon. I tillegg analyseres et tredje scenario, som representerer Telemarksreaktoren slik den kan fungere, dersom det gjøres større justeringer knyttet til kapasitetsutnyttelse, energibruk og TS-innhold i substratet.

Deretter vurderes anleggets bedriftsøkonomi for de tre scenariene, både med- og uten støtteordninger. Støtteordningene som er vurdert er investeringsstøtte og tilskudd for levering av svinestjalsel til biogassanlegg. Andre støtteordninger som juridiske virkemidler o.l. er ikke vurdert, da det er usikkert hvordan fravær av disse virkemidlene vil påvirke økonomien til anlegget.

Waterment har oppgitt at total investeringskostnad for Telemarksreaktoren tilsvarer 1 million NOK. Dette inkluderer grunnarbeider, rør, pumper, strøm- og vanntilførsel og anlegg for utnyttelse av gassen til varme.

Tabell 4-1 viser investeringskostnadene med og uten investeringsstøtte.

Tabell 4-1 Investeringskostnader med og uten investeringsstøtte for Telemarksreaktoren

Kostnadskomponent	Uten støtte	Inkl. støtte
Investeringsstøtte	1 000 000	600 000

Det antas at Telemarksreaktoren kan oppnå 40 % investeringsstøtte (maks nivå er 50 %), basert på gjeldende rammeverk for støtteordningen.

Ett av vurderingskriteriene som ofte brukes ved tildeling av investeringsstøtte er spesifikke investeringskostnader (investeringskostnad per energienhet (NOK/kWh)).

Tabell 4-2 viser summen av investeringskostnader og energiproduksjon, samt spesifikke investeringskostnader (NOK/kWh) for scenariene.

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

	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 3	Enhet
Investering	1	1	1	Mill NOK
Energiproduksjon	0	14 210	45 529	kWh/år
Spesifikk investeringskostnad	N/A	70	22	NOK/kWh

Spesifikk investeringskostnad er ikke relevant for Scenario 1, dagens løsning, da anlegget ikke produserer energi. For Scenario 2 og 3 utgjør spesifikk investeringskostnad henholdsvis 70 NOK/kWh og 22 NOK/kWh. Enovas hovedportefølje av store, industrielle biogassanlegg har ligget mellom 1,4 til 4,5 NOK/kWh, noe som kan indikere at Telemarksreaktoren har en relativt høy spesifikk investeringskostnad, men i og med at Telemarksreaktoren er et gårdsanlegg og ikke et industrielt anlegg er ikke verdiene direkte sammenliknbare.

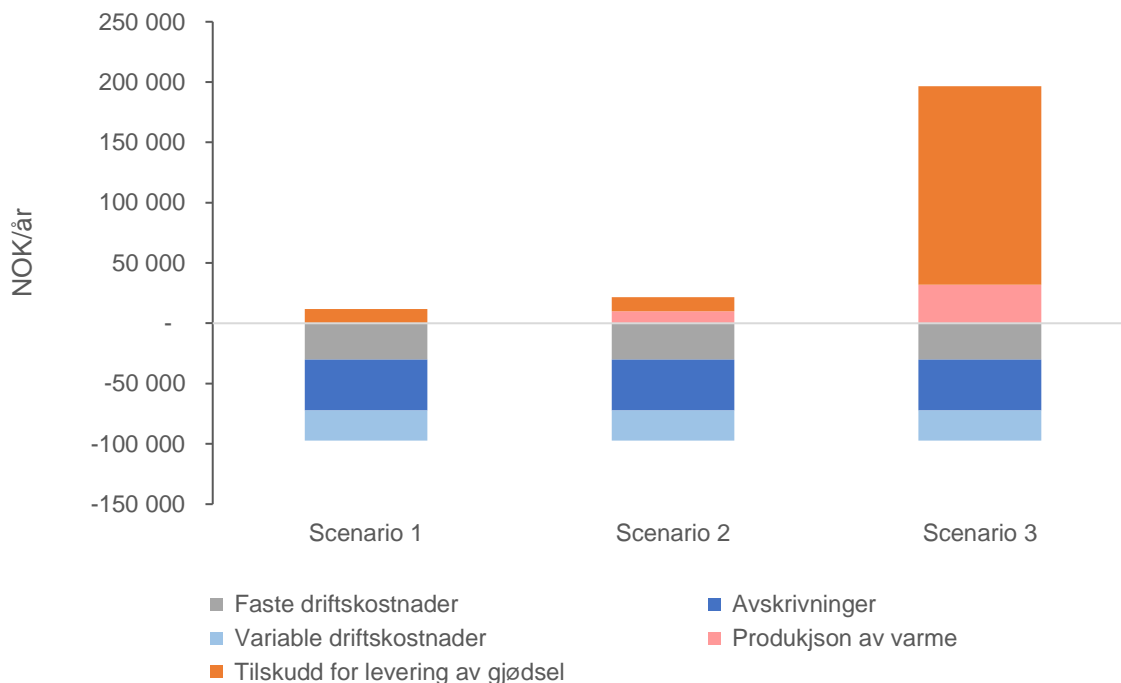
Den spesifikke investeringskostnaden er nyttig for å sammenlikne prosjekter med like inntekter og utgifter, men forteller oss lite noe om lønnsomheten i et prosjekt. I tillegg til investeringskostnadene, er lønnsomheten avhengig av driftskostnader og driftsinntekter, som til sammen utgjør årsresultatet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

4.2 Årlig resultat

Figur 4-1 er en forenklet illustrasjon av driftskostnadene og driftsinntektene fordelt ulike kostnads- og inntektskomponenter for de tre scenariene. Positive verdier er inntekter og negative verdier er kostnader.

For produksjon av varme er det antatt en alternativkostnad tilsvarende 70 øre/kWh. Faste driftskostnader er antatt å tilsvare 30 000 NOK/år. Tilskudd for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegget er beregnet på grunnlag av målt leveranse inn til anlegget (mengde gjødsel inn, multiplisert med vektingsfaktor basert på TS-innhold og støttesats tilsvarende 500 NOK/tonn). Merk at TS-innholdet er betydelig lavere i scenario 1 og 2 grunnet regnvann. Tilskuddet går uavkortet til drift av anlegget. Avskrivningene er beregnet ut fra levetid på 20 år og rentesats på 3,5 %, og forutsetter 40 % investeringsstøtte.

Verdiene er beregnet ved å multiplisere enhetskostnader/-inntekter med målt/beregnet produksjon og innsatsfaktorer, og forutsetter like enhetspriser (se Tabell 1-1 Tabell 1-1).



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

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

Av figuren ser vi at driftskostnadene er høyere enn driftsinntektene for de to første scenariene, hvilket betyr at anlegget ikke er bedriftsøkonomisk lønnsomt for disse scenariene, gitt forutsetningene og datagrunnlaget beskrevet i kapittel 2. For Scenario 3 er derimot tilskuddet for levering av husdyrgjødsel nesten femdoblet i tillegg til at verdien av produsert varme er betydelig større, hvilket gjør at anlegget er bedriftsøkonomisk lønnsomt.

Den største inntektskomponenten i scenario 1 og 3 er tilskuddet for levering av husdyrgjødsel til biogassanlegg. Denne inntektskomponenten er lik for Scenario 1 og 2, da mengde gjødsel og TS-innholdet i gjødsla er lik for de to scenariene, men i scenario 2 produserer også anlegget varme, noe som nesten doubler inntektene. For Scenario 3 er tilskuddet knyttet til behandling av husdyrgjødsel betydelig større, hvilket skyldes at både TS-innholdet i gjødsla og mengde behandlet gjødsel høyere, ettersom gjødsla i dette scenariet hentes direkte fra gjødsekkjelleren i stedet for gjødsekkummen (unngår at gjødsla utvannes av regnvann) og kapasiteten på anlegget er bedre utnyttet.

Verdien av produsert varme er fraværende i scenario 1 (da det ikke produseres energi), men utgjør en betydelig andel av inntektene Scenario 2 (46 %). I Scenario 3 utgjør verdien av produsert varme en betydelig større sum, da anlegget produserer mer energi. Samtidig er driftskostnadene tilnærmet lik for de tre scenariene. Dette, sett i sammenheng med at avskrivninger er den største kostnadskomponenten og at tilskuddet øker ved økt mengde gjødsel behandlet og økt TS-innhold i gjødsla, viser at økonomien i anlegget er avhengig av at kapasiteten utnyttes og at gjødsla ikke

vannes ut. Anlegget bør med andre ord ikke bygges ved mindre gårder der det ikke er tilstrekkelige gjødselmengder til å mate inn i reaktoren.

I Scenario 3 er som nevnt de variable driftskostnadene nesten identisk med scenario 1 og 2, til tross for betydelig økt kapasitetsutnyttelse. Dette skyldes forutsetningene knyttet til utformingen av anlegget i Scenario 3, der gjødsla pumpes direkte fra gjødselkjeller i stedet for via gjødselkum (scenario 1 og 2) og at rørstrekkene mellom reaktor og gjødselkjeller legges parallelt, i stedet for adskilt (scenario 1 og 2). Dette er to viktige energisparende tiltak da temperaturen på substratet øker med ca. 6 grader og spillvarmen fra returrøret utnyttes av inntaksrøret, hvilket er antatt å bidra til en halvering av energiforbruket knyttet til oppvarming av reaktor og frostsikring av rør, to store energiposter.

Som nevnt innledningsvis har antas det at Telemarksreaktoren kan motta investeringsstøtte tilsvarende ca. 40 % av investeringskostnadene (Innovasjon Norge). I tillegg til denne støtten mottar anlegget tilskudd for levering av husdyrgjødsel til anlegget, som bidrar til å dekke driftskostnadene. I det følgende er økonomien til Telemarksreaktoren analysert med- og uten de to støtteordningene, for de tre scenariene.

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

Tabell 4-3 Årlige kapitalkostnader, driftsresultat og årsresultat for Telemarksreaktoren med- og uten investerings, utviklings- og driftsstøtte for de tre scenariene.

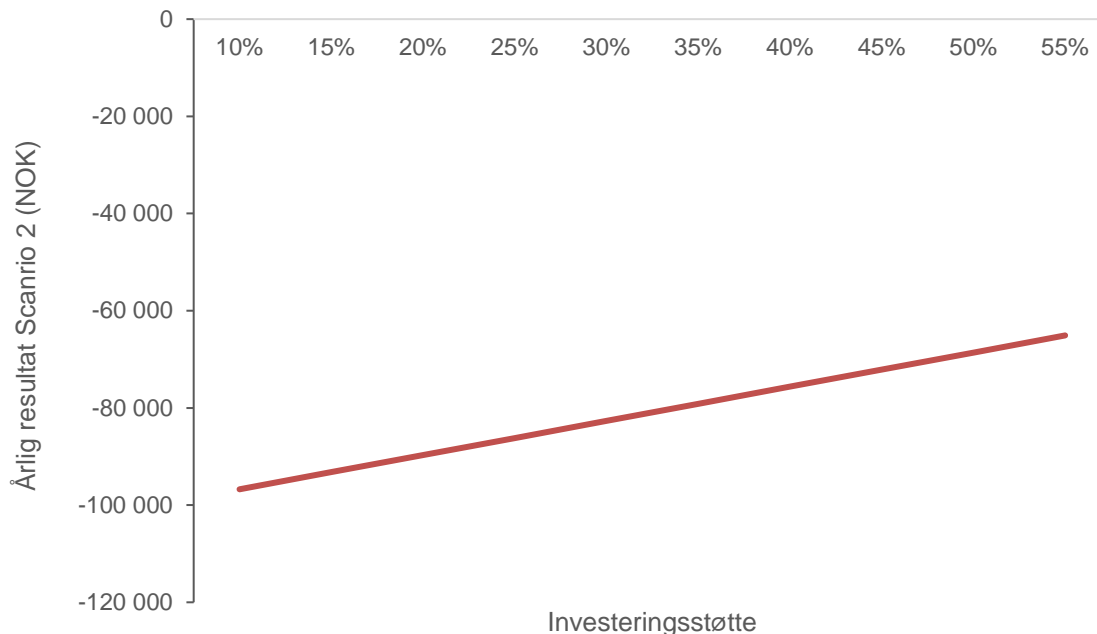
	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	Inkludert støtte	Uten støtte	Inkludert støtte	Uten støtte	Inkludert støtte	Uten støtte
Kapitalkostnader	-42 217	-70 361	-42 217	-70 361	-42 217	-70 361
Driftsresultat	-43 372	-55 134	-33 425	-45 187	141 408	-23 166
Årlig resultat	-85 588	-125 495	-75 641	-115 548	99 191	-93 527

Tabellen viser at anlegget ikke oppnår positivt årsresultat i de to første scenariene, verken med eller uten støtte. For scenario 3 oppnår anlegget derimot positivt årsresultat så lenge anlegget mottar støtte. Investeringsstøtten bidrar til ca. 28 000 NOK/år, mens driftsstøtte bidro med er beregnet til å bidra med ca. 11 800 NOK per år for Scenario 1 og 2, og hele 164 000 NOK per år for Scenario 3.

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 Telemarksreaktoren, med flere inntektskomponenter, er det interessant å se på dekningsbidraget eller dekningsgraden (dekningsbidraget i %) knyttet til de ulike produktene/tjenestene. Neste kapittel omhandler dekningsgraden og nullpunktsomsetningen for Scenario 3 ved Telemarksreaktoren.

Det er flere usikkerheter knyttet til beregningene av årlig resultat og driftsresultat, som pris for elektrisitet, alternativkostnad for varme, rentesats, avskrivningsperiode og investeringsstøtte. Det er som nevnt antatt at investeringsstøtten tilsvarende 40 %. Makssatsen er 50 %, hvilket betyr at anlegget

kan oppnå høyere investeringsstøtte. Det er kjørt en liten sensitivetsanalyse på dette i og med at kapitalkostnadene er den største kostnadskomponenten for anlegget, og Figur 4-2 årlig resultat for Telemarksreaktoren ved investeringsstøtte fra 10 % til 55 % for scenario 2.



Figur 4-2 Årlig resultat for Scenario 2 ved ulike investeringsstøtte.

Figuren viser at med forutsetningene knyttet til scenario 2, vil anlegget ikke oppnå positivt årlig resultat ved 50 % investeringsstøtte. Årlig resultat vil være -68 600 NOK ved 50 % investeringsstøtte (alt annet likt), hvilket betyr at anlegget er avhengig av de energibesparende tiltakene definert for scenario 3. Dette viser viktigheten av planleggingsfasen for et biogassanlegg, der riktig utforming fra starten kan være helt avgjørende for anleggets økonomi. Alternativt kan også økning i alternativkostnaden for varme, økt TS-innhold i gjødsla eller økt kapasitetsutnyttelse bidra til et positivt resultat ved 50 % investeringsstøtte (scenario 2).

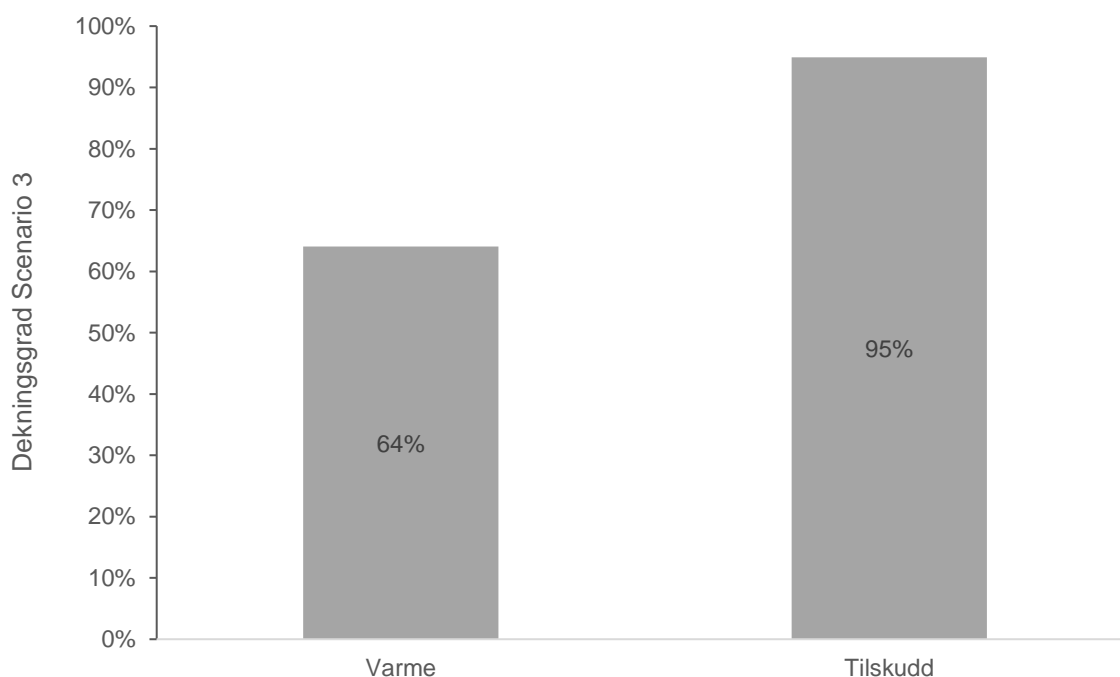
Årsresultatet forteller oss om den totale lønnsomheten i et prosjekt, men forteller oss ikke om økonomien knyttet til de ulike produktene og/eller tjenestene en bedrift selger. For et anlegg som Telemarksreaktoren, som produserer flere ulike tjenester og produkter, er det interessant å se på dekningsbidraget eller dekningsgraden (dekningsbidraget i %) knyttet til de ulike produktene/tjenestene. Neste kapittel omhandler dekningsgraden for scenario 3 ved Telemarksreaktoren.

4.3 Dekningsgrad (Scenario 3)

Dekningsbidrag er salgsprisen knyttet til et produkt minus variable kostnader, og sier noe om hvor stor del av inntekten som er igjen til å dekke faste kostnader etter at de variable kostnadene er trukket fra. Dersom dekningsbidraget er større enn faste kostnader går bedriften i overskudd (før faste driftskostnader og kapitalkostnader er trukket fra). Dekningsgraden er andelen dekningsbidraget utgjør av salgsprisen, og sier noe om hvor stor andel av salgsprisen som er igjen til å dekke faste kostnader. Telemarksreaktoren har to ulike inntektskomponenter; salg av varme og tilskudd for gjødsel.

Figur 4-3 viser dekningsgraden for inntektskomponentene ved Telemarksreaktoren. Merk at denne analysen bygger på datagrunnlaget og forutsetningene i scenario 3 der kapasiteten på anlegget er utnyttet i større grad og energisparende tiltak er gjennomført. For allokering av variable kostnader er utgifter knyttet til bruk energi fordelt likt mellom de ulike inntektskomponentene (1/3).

Merk at inntektskomponenten for biogassanlegget i stor grad henger sammen og er avhengige av hverandre. Det er derfor stor usikkerhet knyttet til fordelingen av de variable kostnadene, og derfor også stor usikkerhet knyttet til beregnet dekningsgrad.



Figur 4-3 Dekningsgrad for varme og tilskudd for Telemarksreaktoren, Scenario 3.

Figuren viser at de to produktene har positiv dekningsgrad, hvilket betyr at de variable kostnadene dekkes av inntektene/verdien knyttet de ulike komponentene. De variable kostnadene utgjør ca 36 % til 5 % av inntektene, slik at det gjenstår ca. 64 til 95 % av verdien til å dekke opp om faste kostnader. Varme har lavest dekningsgrad, mens tilskuddet har høyest.

Merk at ettersom dekningsgraden angis i prosent, sier figuren ingenting om hvorvidt varme eller tilskudd er mer eller mindre lønnsomt sammenliknet med det andre produktet, da verdien/inntektsgrunnlaget (nevneren) varierer.

4.4 Nåverdi og internrente

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

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

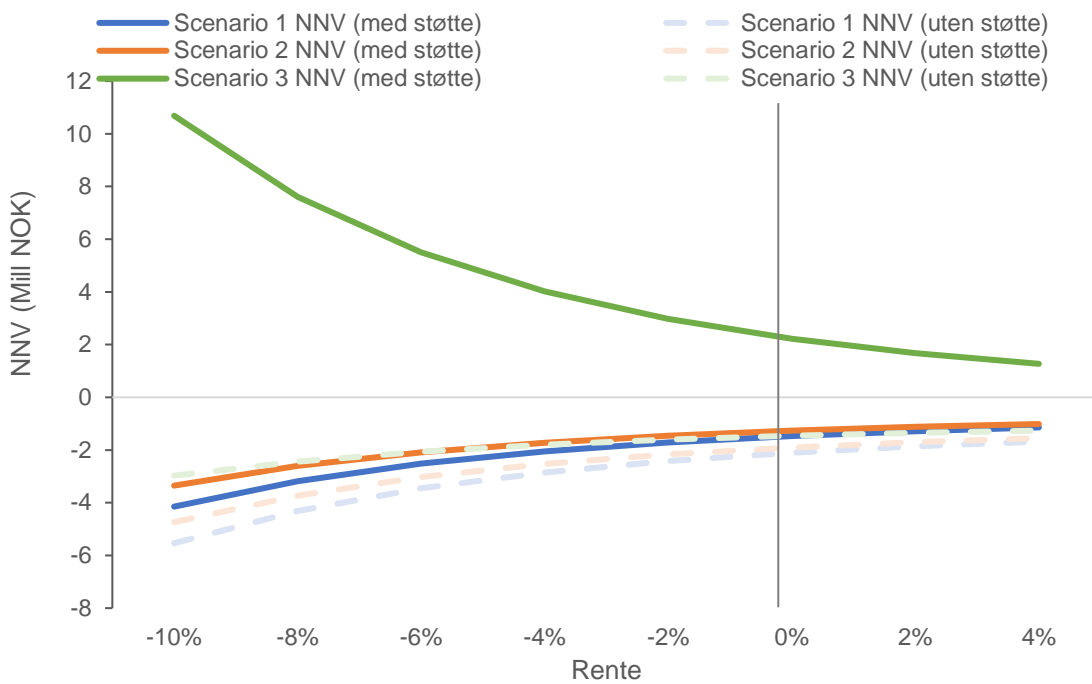
Tabell 4-4 viser netto nåverdi og internrenten for de tre scenariene ved Telemarksreaktoren, med- og uten investerings-, utviklings- og driftsstøtte. Netto nåverdi er beregnet ut fra 3,5 % rente og 20 års avskrivning.

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

	Scenario 1		Scenario 2		Scenario 3	
	Ink. støtte	Uten støtte	Ink. støtte	Uten støtte	Ink. støtte	Uten støtte
NNV (3,5 % rente)	-1 755 281	-1 723 265	- 1 038 691	-1 586 675	1 362 073	- 1 284 293
Internrente	n/a	n/a	n/a	n/a	23 %	n/a

Tabellen viser at anleggets netto nåverdi er negativ for de tre scenariene uten støtte og for scenario 1 og 2 med støtte. Ettersom driftsresultatet før avskrivninger er negativ for disse scenariene, er det heller ikke mulig å beregne internrenten (den er uendelig negativ). Scenario 3 med støtte er derimot veldig positiv, med NNV tilsvarende 1,36 Mill NOK og med en internrente på hele 23 %. Dette skyldes effekten av energiltakene samt det tilskuddet som oppnås ved økt TS-innhold og mengde gjødsel behandlet. Anlegget kan med andre ord oppnå svært positivt økonomisk resultat under de riktige forutsetningene.

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



Figur 4-4 Netto nåverdi-profil (Mill NOK) ved de tre scenariene for Telemarksreaktoren biogassanlegg ved ulike avkastningskrav, med- og uten støtte.

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

5 Diskusjon og oppsummering

5.1 Diskusjon

Resultatene for Telemarksreaktoren hos Skoglund anses å være basert på godt dokumenterte empiriske data, kombinert komplimenterende litteratur. Resultatene er likevel, på samme måte som tidligere gjennomførte følgeforskningsstudier, preget av en del usikkerhet som følge av variasjon i input-data. Dette har blitt justert ved å balansere og korrigere målte verdier og variasjoner ved massebalansering, kvalitetssikret med litteraturdata. Dette utjevner usikkerheten ved at resultatene direkte knyttes til innsattsverdiene slik at stokastiske variasjoner redusertes. Det er likevel innslag av epistemisk usikkerhet for blant annet årlige direkte utslipp fra samlagring av bløtgjødsel og biorest fra behandlet silt bløtgjødsel. Dette skyldes at det er vanskelig å direkte knytte punktmålinger for konsentrasjon mot årlig fluks (reelt utslipp over tid) av metan, spesielt når målingene er tatt i en kjølig periode av året og det samtidig forventes vesentlig større uønsket metanproduksjon i de varmere månedene av året. Basert på informasjon fra litteraturen er det tydelig dokumentert at lagring av biorest er en betydelig utslippskilde for metan som bør forhindres.

Den viktigste motivasjonen nasjonalt for å øke mengden gjødsel som behandles i biogassanlegg er å redusere klimagassutslipp. Dette oppnås både ved at en unngår utslipp fra lagring av ubehandlet gjødsel og ved at biogassen kan erstatte fossile energibærere. Det er derfor nødvendig å sørge for at behandlingen foregår på en måte som bidrar til begge disse aspektene.

Anaerob etterbehandling og langtidslagring av bioresten er en mulig løsning for vesentlig økt biogassutbytte som følge av at mer av biogassen fanges opp, noe som medfører reduserte direkte klimagassutslipp. Det trekkes frem i litteraturen at etterbehandling av biorest er spesielt hensiktsmessig for gårdsbaserte biogassanlegg sett i et miljø- og energiperspektiv. Etterbehandling er desto viktigere jo kortere oppholdstid anlegget opererer under, fordi store deler (82,6%) av TS ikke utnyttes/behandles. Det er vanskelig å oppnå 100% nedbrytning av VS ettersom det krever en oppholdstid på opp mot 60-90 dager, noe som ikke vil være økonomisk forsvarlig. Men i et gårdsbasert biogassanlegg lagres i gjennomsnitt ubehandlet gjødsel eller biogjødsel i opp mot 8 måneder, noe som åpner opp muligheter for en etterbehandlingsperiode. Selv uten å tilføre ny energi, kan et godt isolert etterbehandlingssannlegg opprettholde en viss temperatur (10 – 14 grader) igjennom året ved kontinuerlig innmating av biogjødsel. Lang oppholdstid er desto viktigere ved lav temperatur fordi bakteriene vil bryte ned organisk materiale saktere.

Klimaerstatningspotensialet ved å erstatte varmeenergi fra norsk elektrisitet vil være lavt fordi norsk elektrisitet har lav klimabelastning. Det er ikke kjent om anlegget vil gi netto klimanytte hvis energiproduksjonen erstatter 100% fossile energikilder. Det er også et viktig poeng at behandling av gjødsel i biogassanlegg ikke erstatter en næringskilde fordi den samme næringsverdien vil være representert i ubehandlet gjødsel. I følge Luostarinen et al. (2011), kan det riktignok argumenteres for at biogjødsel har mer plantetilgjengelig nitrogen enn ubehandlet gjødsel, men samtidig er det svært usikkert hvorvidt biorest har større eller mindre nitrogenavgassing enn ubehandlet gjødsel, og dermed er det vanskelig å argumentere en slik antagelse i en studie som denne.

Totalt er behandlet mengde bløtgjødsel vesentlig mindre enn potensielt behandlet gjødsel fordi kun frasilt våtfase behandles. Det betyr at det ligger store mengder ubehandlet gjødsel i gjødsellageret. Samtidig blandes ubehandlet og behandlet bløtgjødsel, noe som gjør at det er usikkert om alt ubehandlet bløtgjødsel faktisk behandles eller om behandlet bløtgjødsel inngår på ny inn i biogassprosessen. I prosjektet er det antatt at det må tilføres behandlet materiale i felles lagringstank slik at ubehandlet gjødsel effektivt brytes ned i reaktoren. Det betyr at det samtidig er stort potensiale for at behandlet bløtgjødsel også fører til økt uønsket metanproduksjon fra gjødsellager.

5.2 Konklusjon

I dette prosjektet er det blitt kartlagt at ingen av de analyserte scenarioene gir netto energi - eller klimanytte. Det er svært viktig at biogassen enten fakles eller energiutnyttelse for å begrense de store direkteutslippene av metan selv i et pilotanlegg.

Netto klimagassutslipp per tonn TS behandlet bløtgjødsel fra svin er beregnet til **3067 kg CO₂-ekv, 47 kg CO₂-ekv og 4,3 kg CO₂-ekv per tonn TS** for henholdsvis Scenario 1, 2 og 3. Med tilhørende årlige behandlingsmengder medfører disse scenariene årlige netto klimagassutslipp på henholdsvis **36,3 tonn, 0,56 tonn og 0,73 tonn CO₂ – ekv./ år.**

Scenario 3 med investerings-, utviklings- og driftsstøtte er løsningen som medfører positiv nåverdi (1,36 Mill NOK) med en internrente på 23 %. Dette skyldes effekten av energiøkonomiserende tiltak og økt tilskudd som følge av bedre kapasitetsutnyttelse og høyere TS-innhold.

5.3 Videre forskning

I dette studiet er det identifisert en rekke tiltak som kan forbedre miljø- og økonomieresultatene for anlegget. Noen av disse teknologiene kan være etterbehandling, økt oppholdstid i reaktor ved en mulig seriekobling av reaktorer, behandling av partikulær bløtgjødsel for å øke andelen behandlet grisegjødsel eller psykrofil etterbehandling og utnyttelse av biogass.

6 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.
- Briseid, T. & Morken, M., 2018. Biogassanlegget hos Søndre Skoglund – Følgforskningen – Dokumentasjon av drift. Revidert rapport.
- Carlsson, M. & Uldal, M., 2009. Substrathandbok för biogasproduktion.
- Clavreul, J., Guyonnet, D. & Christensen, T.H., 2012. Quantifying uncertainty in LCA-modelling of waste management systems. *Waste management (New York, N. Y.)*, 32(12), pp.2482–95. Available at: <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/22863069> [Accessed September 7, 2014].
- Hamelin, L., Naroznova, I. & Wenzel, H., 2014. Environmental consequences of different carbon alternatives for increased manure-based biogas. *Applied Energy*, 114, pp.774–782. Available at: <http://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S0306261913007800> [Accessed October 14, 2014].
- Karlengen, I.J. et al., (2012). Storfegjødsel ; oppdatering av mengder gjødsel og utskillelse av nitrogen, fosfor og kalium.
- Luostarinen, B.S. et al., 2011. Overview of Biogas Technology Baltic MANURE WP6 Energy potentials. , (December).
- Modahl, I.S., Lyng, K.-A., Møller, H., Stensgård, A., Arnøy, S., Morken, J., Briseid, T., Hanssen, O.J. og Sørby, I. (2015): Biogassproduksjon fra matavfall og møkk fra ku, gris og fjørfe. Status 2014 (fase III) for miljønytte og verdikjedeøkonomi for den norske biogassmodellen BioValueChain. Østfoldforskning AS, OR 34.14, januar 2015.
- Modahl, I.S. et al., (2016). Biogassproduksjon fra matavfall og møkk fra ku, gris og fjørfe Status 2016 (fase IV) for miljønytte for den norske biogassmodellen BioValueChain, Østfoldforskning AS, Fredrikstad. OR.34.14
- Morken, J., (2017). Personlig korrespondanse.
- Pettersen, I. et al., 2017. *Klimatiltak i jordbruk og matsektoren Kostnadsanalyse av fire tiltak*, Ward, A.J., 2012. Biogas potential of soapstock and bleaching earth Biogas potential of soapstock and bleaching earth. , (4).
- Poeschl, M., Ward, S. & Owende, P., 2012. Environmental impacts of biogas deployment – Part II: life cycle assessment of multiple production and utilization pathways. *Journal of Cleaner Production*, 24, pp.184–201.
- Smith, J. et al., 2014. What is the potential for biogas digesters to improve soil carbon sequestration in Sub-Saharan Africa Comparison with other uses of organic residues. *Biomass and*

Bioenergy, 70, pp.73–86.

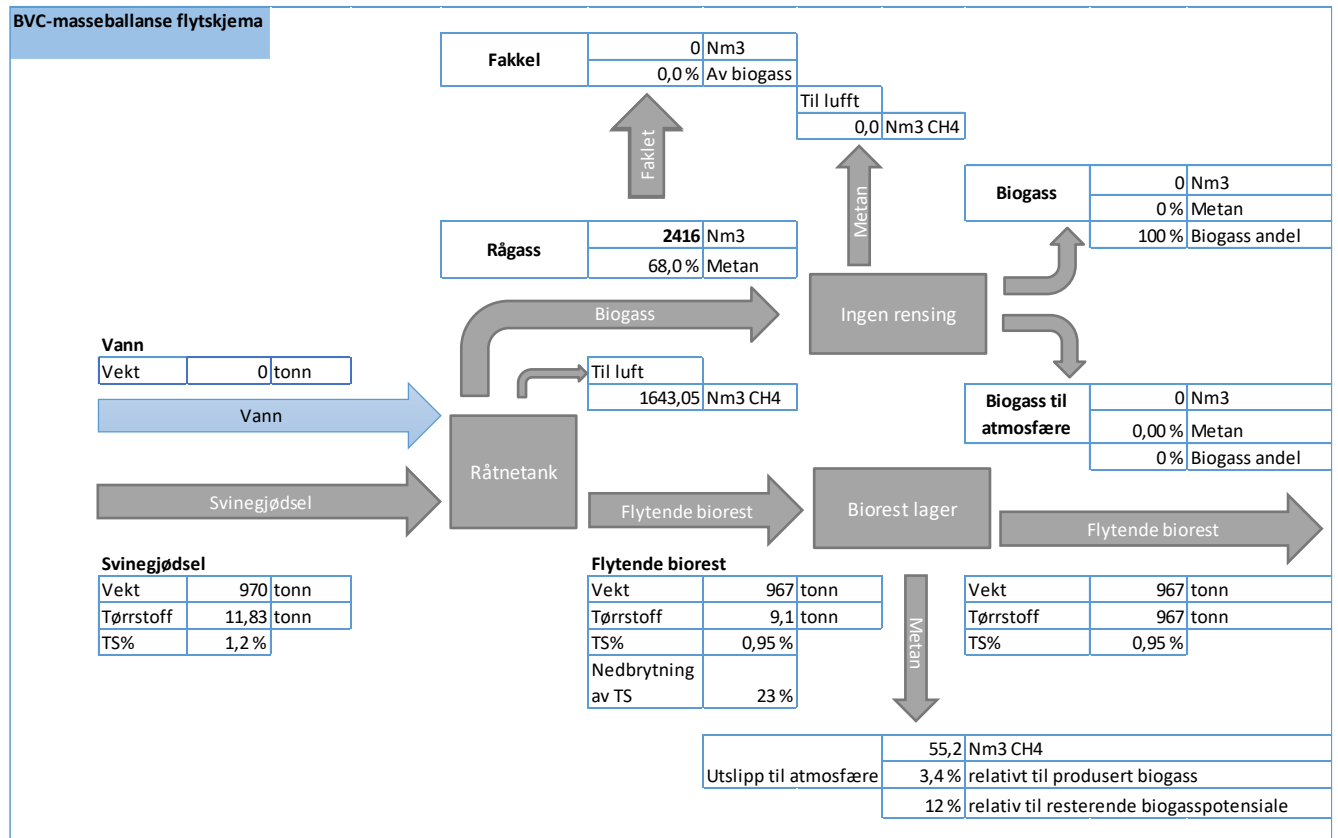
Saxegård, S.A. & Baxter, J., 2016. Resource recovery and life cycle assessment in co-treatment of organic waste substrates for biogas versus incineration value chains in Poland and Norway, Østfoldforskning, Fredrikstad.

Saxegård, S.A., Stensgård, A.E. & Raadal, H.L., 2018. *Følgforskning : Tingvoll Miljø- og økonomianalyse*, Østfoldforskning, Fredrikstad.

Vedlegg 1

Målte massestrømmer for Skoglund pr år for scenario 1.

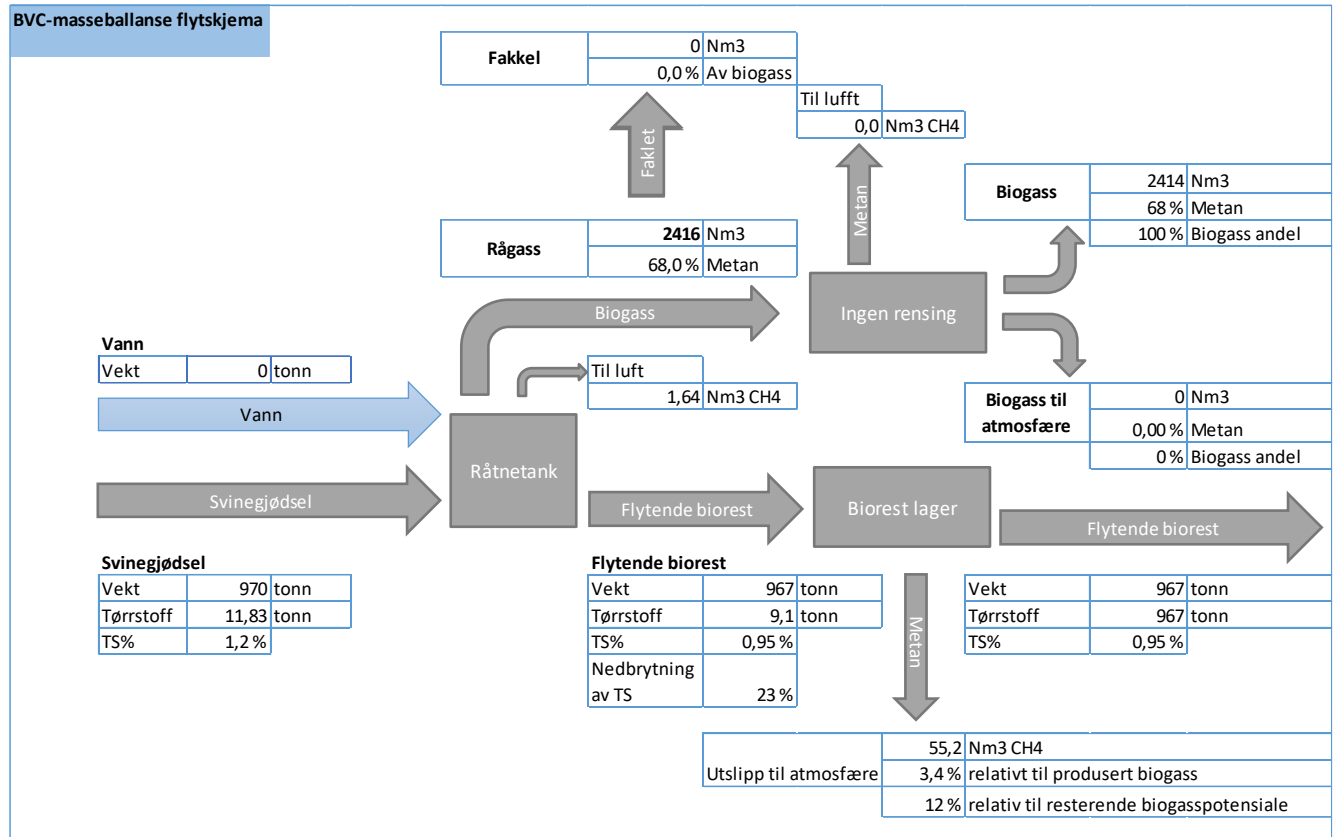
Case: FF_Skoglund_Telemarksreaktoren



Vedlegg 2

Målte massestrømmer for Skoglund pr år for scenario 2.

Case: FF_Skoglund_Telemarksreaktoren





Stadion 4
N-1671 Kråkerøy
Telephone: +47 69 35 11 00
Fax: +47 69 34 24 94
firmapost@ostfoldforskning.no
www.ostfoldforskning.no



