

Gjødsel – og substratkunnskap for biogassproduksjon

Råd for prøvetaking, metanpotensial og variasjon i metanpotensial for gjødsel og andre substrater

NORSØK RAPPORT | VOL. 9 | NR. 7 | 2024



Biogassanlegg på Tomb videregående skole. Foto: Øyvind Halvorsen

TITTEL

Gjødsel – og substratkunnskap for biogassproduksjon

FORFATTERE(E)

Kvande, Ingvar; Solli, Linn; Halvorsen, Øyvind

DATO:	RAPPORT NR.		PROSJEKT NR.:
26.06.2024	9/7/24	Åpen	4038, 4040, 4046
ISBN:	ISSN:	ANTALL SIDER:	ANTALL VEDLEGG:
978-82-8202-185-2		40	4

OPPDRAUGSGIVER:

Innovasjon Norge, Trøndelag Fylkeskommune, Viken Fylkeskommune

KONTAKTPERSON NORSØK:

Ingvar Kvande

STIKKORD:

Metanpotensial biogass, gjødsel, prøvetaking, andre biogasssubstrater
Biochemical methane potential (BMP), manure, sampling, agricultural substrates for biogas

FAGOMRÅDE:

Energi, Landbruk, Miljø
Energy, Agriculture, Environment

SAMMENDRAG:

Dersom man skal bygge et biogassanlegg basert på husdyrgjødsel eller samle gjødsel fra flere gårder til et større anlegg bør man foreta en vurdering av egenskapene til gjødsla. Innholdet av organisk materiale per volum som kan omdannes til biogass vil kunne variere betydelig på gården i løpet av året og mellom gårder med ulike gjødselsystem og ulikt driftsopplegg. Dette vil igjen ha betydning for mengde produsert energi og lønnsomheten i slike anlegg. Rapporten beskriver hvordan gjødselprøver bør tas, behandles og sendes. Resultatene fra gjødselprøver tatt fra ca. 50 gårder er vurdert mot tilgjengelig informasjon for type gjødselsystemer, lagringstid og vannforbruk. Egenskapene og praktisk bruk av andre aktuelle substrater for biogassproduksjon er også beskrevet. Data fra 2 etablerte biogassanlegg er innhentet for å vise hvordan og i hvor stor grad det organiske materialet brytes ned i forbindelse med biogassprosessen.

SUMMARY:

If you are going to build a biogas plant based on livestock manure or collect manure from several farms for a larger plant, you should assess the properties of the manure. The content of organic material per volume that can be converted into biogas can vary significantly on the farm during the year and between farms with different fertilizer systems and different operating systems. This in turn will have an impact on the amount of energy produced and the profitability of such plants. The report describes how manure samples should be taken, processed, and sent, and the results from manure samples taken from 50 farms, set against the type of manure systems, storage time and water consumption. The properties and practical use of other relevant substrates for biogas production are also described. Data from 2 established biogas plants has been obtained to show how and to what extent the organic material breaks down in connection with the biogas process.

LAND:

Norge

FYLKE: Viken, Trøndelag, flere
KOMMUNE: Flere

GODKJENT

Turid Strøm

TURID STRØM

PROSJEKTLEDER

Ingvar Kvande

INGVAR KVANDE

Forord

Denne rapporten tar for seg biogasspotensial i husdyrgjødsel, og spesielt storfejødsel, basert på analyser gjort ved Biogasslaboratoriet på Ås (NIBIO). Dette ses i sammenheng med resultater fra litteraturen. Bakgrunnen er behovet for tallgrunnlag i forbindelse med vurdering av lønnsomhet og investering i biogassanlegg.

Prosjektet er gjennomført i samarbeid mellom NORSØK, NIBIO og Øyvind Halvorsen med NORSØK som prosjekteier.

Prosjektet er støttet av Trøndelag og Viken Fylkeskommuner samt Innovasjon Norge gjennom Bionova. Vi takker for midlene vi har fått, og dialogen underveis i prosjektet.

En stor takk rettes også til gårdbrukere i Viken og Trøndelag fylkeskommuner samt fra andre regioner i Norge som har bidratt med gjødselprøvetaking og i diskusjoner. Dette har gitt et tallgrunnlag som kan brukes til å øke kunnskapen om biogass og egenskapene til husdyrgjødsel.

Tingvoll/Ås/Sikkeland, 26.6.2024

Ingvar Kvande

Linn Solli

Øyvind Halvorsen

Innhold

1. Innledning.....	4
2. Biogassanlegg, teknologi og substrater	6
Gasslager	7
Mating av substrater	8
Husdyrgjødselfraksjoner og andre substrat – egenskaper og biogasspotensial.....	9
Halm og planterester.....	10
3. Metanpotensial og biogassprosess	11
Biogassprosess-stabilitet.....	12
4. Gjødselsystemer og gjødselprøvetaking	14
Forberedelser før prøvetaking	16
Uttak av prøver	17
Prøvebehandling og transport	17
5. Analyser og beregninger gjødsel og biorest.....	18
Materialer og metoder.....	18
Resultater metanpotensial.....	18
Sammenligning av gjødsellagerprøver med direkteprøver.....	21
Innhold av tungmetaller i gjødsel.....	23
Resultater fra analyser på gårder med gårdsbiogassanlegg i Viken	24
6. Metanpotensial – betydning for lønnsomhet i prosjekt som ønsker å etablere biogassanlegg.....	34
7. Hva bør undersøkes når en planlegger å bygge biogassanlegg?	37
Referanser	38
Vedlegg.....	40
Vedlegg 1 Material og metoder, analyser gjødsel og substrater	41
Vedlegg 2 Prøvesteder Trøndelag	42
Vedlegg 3 Prøvesteder Viken	52
Vedlegg 4 Prøvetakingsskjema.....	63

Ordliste

ABR – anaerobic baffled reactor, også kalt granulatreaktor

Acetat – eddiksyre

Anaerob – uten oksygen / luft

Batch-mating – En innmating etterfulgt av holdetid og nedbrytning. Tømming etter endt prosess

Biogass-effluent – biorest, flytende organisk rest etter biogassprosess

BMP – Biochemical methane potential, metanpotensial

Bufferkapasitet – Egenskapene et materiale/substrat har til å motstå/forhindre nedgang i pH ved høyere nivå av syre eller base i biogassprosessen.

CH₄ - Metan

CSTR – Continuous stirred tank reaktor, totalomrørt reaktor, den mest tradisjonelle typen reaktor

Fos/Tac – flyktige organiske syrer / kalsiumkarbonat, bestemmes ved titrering med svovelsyre

Inhibering – hemming av biogassprosessen

H₂S – hydrogen sulfid. Giftig brannfarlig gass som lukter råtne egg

Hydrolyse – Første trinn i nedbrytningsprosessen, hvor større molekyler spaltes til mindre molekyler ved hjelp av vann

KOF/COD Kjemisk oksygenforbruk/Chemical oxygen demand

LCFA – Langkjedede fettsyrer

Metanogene arker/mikroorganismer – metanproduserende mikroorganismer

Nedbrytningsgrad - Hvor mye av det opprinnelige materialet gjødsel/substrat som brytes ned i biogassprosessen, typisk oppgitt i %. Nedbrytningsgrad brukt i denne rapporten.

NH₃ – Ammoniakk, en giftig gass med stikkende lukt

NH₄⁺ - Ammonium

N₂O – Lystgass

Oppholdstid – tiden, typisk i dager, for hvor lenge substratet oppholder seg i reaktoren

PFR – Plug flow reactor, horisontal reaktor der substratet presses/skrus fra den ene enden til den andre

Propionat – smørsyre

Semi-batch -Innmating av nytt substrat og uttak av ferdig biorest daglig, men ikke kontinuerlig

Spektrofotometrisk – kvalitativ bestemmelse basert på lysintensitet

Substrat– samlebetegnelse på alle typer «mat» til mikroorganismene i reaktoren, inkludert husdyrgjødsel.

THP behandling – Termisk hydrolyse prosess, nedbrytning ved høy temperatur og høyt trykk som reduseres raskt

TS – Tørrstoffinnholdet i prøven, hvor mye av prøven som ikke er vann, dvs. organisk materiale og aske

VFA – volatile fatty acids, flyktige fettsyrer

VS – Tørrstoff – Aske, dvs. Volatile solids som representerer mengden av organiske faste stoffer

VV - våtvekt

1. Innledning

Stadig flere vurderer etablering av biogassanlegg, både gårdsbiogassanlegg og større anlegg i Norge. Det vil i løpet av 2024 være mellom 20 og 25 gårds- og grendeanlegg i drift i Norge, de fleste etablert de siste 5 årene. Bakteppet er blant annet behovet for å redusere klimagassutslipp fra gjødsel samt økte energi- og mer uforutsigbare kunstgjødsel-kostnader. Ved forprosjektering og vurderinger for etablering av slike anlegg kan man bruke tall for biogasspotensial for gjødsel og andre substrater fra litteraturen. I de fleste tilfeller vil dette kunne avvike en del, og i noen tilfeller betydelig fra potensialet i egen gjødsel. For gjødsel og bruk av gjødsel i et biogassanlegg er det flere ting som påvirker innhold av organisk materiale som kan omsettes til biogass, blant annet, fôr, fôringsregime, lagringstid/gjødselsystem, temperatur ved lagring og vannforbruk.

Biogasspotensialet av substratet har stor betydning for vurdering av lønnsomhet, og som grunnlag for investering. Bestemmelse av biogasspotensial i eget substrat kan gjøres på flere måter. Tradisjonelt er det brukt BMP-målinger, dvs. satsvis nedbrytning av substrat, typisk i flasker ved 37 °C, ved samme temperatur som man har i de fleste biogassreaktorer. Kontinuerlige målinger med tilførsel av nytt substrat og uttak av substrat er også en mulighet, men tar minst 3 måneder og er derfor ofte forbeholdt litt større prosjekter med mer ressurser. Et rimeligere alternativ til disse målingene er å basere estimat på biogasspotensial på analyser av tørrstoff (TS), innhold av organisk materiale i tørrstoffet (VS) og/eller analyser av kjemisk oksygenforbruk (KOF, også kjent som COD). Figur 1 viser prøver som er brutt ned i stadig større grad i en biogassprosess.



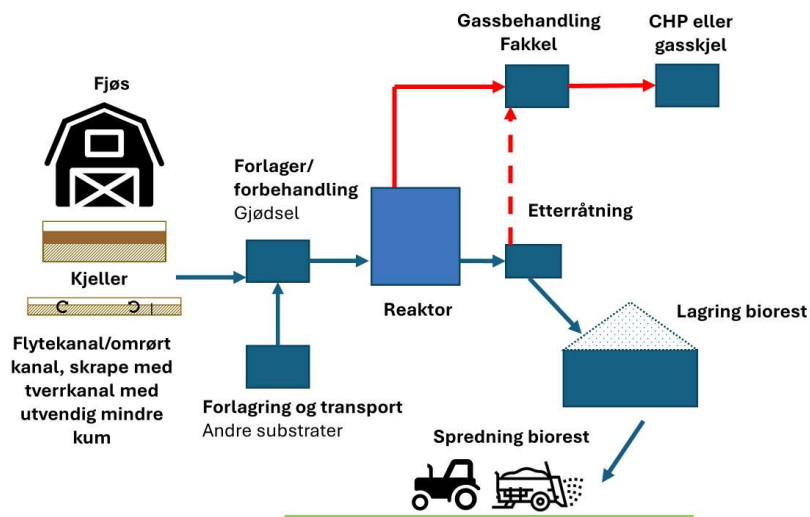
Figur 1. Prøver som viser gjødsel som er brutt ned gjennom en biogassprosess, ikke behandlet gjødsel lengst til venstre og ferdig nedbrutt gjødsel helt til høyre. Foto: Linn Solli

Ved beregning av biogasspotensial i egne prøver er det veldig viktig at man tar ut representative prøver og at disse igjen lagres på egnede flasker, behandles og sendes på en måte som gjør at prøven ikke brytes ned/endres før analyse. Ved innsending av prøver i dette prosjektet er det utarbeidet en beskrivelse og en film for hvordan gjødselprøvetaking bør foretas, inkludert et bestillingsskjema der bestiller fyller ut relevant informasjon for å kunne vurdere prøven.

Det er siden 2019 samlet inn 160 prøver fra ca. 50 gårder, der denne typen analyser er brukt til å bestemme biogasspotensial. Analysetallene er igjen brukt til å vurdere grunnlaget for biogassproduksjon på gårdene. Flere av disse gårdene har nå realisert anlegg. Denne rapporten tar for seg noen målinger i tilknytning til biogassproduksjon hos disse. NORSØK, NIBIO og Øyvind Halvorsen fikk i 2021 og 2022 midler fra henholdsvis Trøndelag Fylkeskommune og Viken Fylkeskommune som er brukt til å finansiere dette arbeidet. På bakgrunn av kunnskapen og å få den bearbeidet og formidlet til aktører som vurderer biogass har Bionova/Innovasjon Norge finansiert utforming av denne rapporten.

Rapporten er skrevet slik at gårdbrukere og andre som vurderer å starte med biogassproduksjon, kan bruke den som oppslag om ulike deler i produksjonsprosessen. Derfor vil rapporten ha forklaringer på ulike metoder og uttrykk som gjentas under de ulike hovedkapitlene i rapporten.

2. Biogassanlegg, teknologi og substrater



Figur 2. Skisse av et gårdsbiogassanlegg. Figur: Ingvar Kvande

Figur 1. viser en skisse av et gårdsbiogassanlegg. Man kan ha ulike gjødselsystemer (beskrevet nærmere i kapittel 3). Pumpekum i eksisterende system kan brukes til å pumpe direkte inn i biogassreaktor eller man anlegger en ny pumpe/blandekum for dette. Det finnes flere ulike reaktortyper som er i drift i Norge per i dag; CSTR, PFR og granulatbasert/ABR. Det mest vanlige er CSTR (continuous stirred tank reactor – kontinuerlig omrørt reaktor) som i prinsippet er en tank hvor både gjødsel og mikroorganismer flyter fritt rundt i volumet, og hvor volumet røres om typisk noen minutter hver time. Oppholdstid i reaktoren, det vil si hvor lenge gjødsel/substrat oppholder seg i reaktoren er avhengig av reaktortype. Lenger oppholdstid gir høyere nedbrytningsgrad, og lavere restgasspotensial. Man må velge/vurdere reaktortype og oppholdstid basert på hvor mye og hva man mater inn som substrat. Det er mengde organisk materiale og hvor raskt eller seint det brytes ned som bestemmer hvor mye man mater inn. For CSTR basert på husdyrgjødsel som hovedsubstrat er oppholdstiden 25-40 dager. Ny gjødsel/substrat pumpes inn i reaktoren 10-20 ganger i døgnet, noe som gjør at denne typen reaktor ofte også kalles semi-batch reaktor. Før innpumping tar man tilsvarende volum substrat/biorest ut fra reaktoren. Reaktoren opereres vanligvis ved mesofile betingelser (35 – 37 °C). Man kan også operere ved termofile betingelser (50-60 °C), men det stiller større krav til oppfølging, og prosessen er mer ømfintlig og mikroorganismene i reaktoren tåler f.eks. dårligere at temperaturen varierer. Lenger oppholdstid i reaktor har konsekvenser for størrelsen på reaktor. Lenger oppholdstid og større reaktor i forhold til substratmengde gir høyere kapitalkostnad for anlegget, men gir lavere restgasspotensial og dermed et bedre klimagassregnskap for anlegget.

I en PFR-reaktor (plug flow reaktor) skyves/skrus gjødsel gjennom fra den ene enden til den andre. Det sitter gjerne en biofilm med mikroorganismer på tilrettelagte overflater inne i reaktoren. Det antas at større tilgjengelig overflate/biofilm for mikroorganismene å feste seg på pr. reaktorvolum, gjør at reaktoren tåler å bli matet mer og oftere, og man kan ha kortere oppholdstid enn i en CSTR. PFR- reaktor krever imidlertid at man trenger en forbehandling i form av kutting og/eller at hydrolysen (første trinn i reaktoren) gjennomføres før substratet mates inn i reaktoren.

I en ABR (anaerobic baffle reactor)/granulreaktor sitter mikroorganismene på små partikler/granulater inne i reaktoren som holdes oppe av at man har en kontinuerlig strøm av nytt eller resirkulert substrat gjennom reaktoren. Dette gir som for PFR en større overflate av mikroorganismer som kan bryte ned det organiske materialet. Denne typen reaktor krever for storfe gjødsel også separasjon og/eller kutting av substratet for at prosessen skal fungere. Svinegjødsel er mer flytende med mindre fiber enn bløt gjødsel fra storfe, og denne typen reaktor har vært kjørt/kjøres med useparert svinegjødsel. Den har også vært kjørt/kjøres på rent fiskeslam.



Figur 3. Ulike typer reaktorer, fra venstre PFR, Antec (105 m³), CSTR, Nordisk Biogass (1150 m³) og ABR, Waterment (10 m³). Foto: Ingvar Kvande (PFR, CSTR) Øyvind Halvorsen (ABR).

Gasslager

På bakgrunn av type reaktor og utforming av denne har man forskjellige typer gasslager for lagring av gassen. CSTR-løsningen i midten av figur 3 har gasslageret som en integrert del av reaktoren, der gasslageret består av flere duker. Den ytterste holdes oppe av en vifte og den innerste hever og senker seg avhengig av gassproduksjon. Både PFR og ABR i figur 3 vil operere med eksterne gasslager, for gårdsanlegg er dette gjerne trykkløse gasslager hvor en pose i en konteiner fylles og tømmes ut fra produksjon og bruk. Det finnes også CSTR-løsninger med fast tak som har eksternt gasslager. En fordel med integrert gasslager er at selve anlegget tar mindre plass i og med at eksternt gasslager må plasseres i en viss avstand fra andre deler av et anlegg. En ulempe kan være at et integrert lager kan gi større utfordringer med varmetap og lavere temperatur i øverste del av reaktor på vinterstid.

I et gårdsanlegg renses gassen fra reaktoren for hydrogensulfid og vann kondenseres og tas ut før gassen anvendes i en gasskjel (varme) eller gassmotor (kombinert varme og strømproduksjon). Bioresten lagres i eget lager til den skal spres. Når et slikt system etableres på en gård, må man tilpasse sine rutiner for å ha en så kontinuerlig gjødsel flyt som mulig hver dag hele året, og at gjødsla så langt det går bør ha samme egenskaper og kvalitet. Dette sikrer stabil og forutsigbar produksjon av gass.

For flere detaljer om prosessen, prosessbetingelser og reaktortyper se biogassveilederen som ble utgitt i 2017/2018 [1].

Mating av substrater.

Vanligvis er substratene som brukes i reaktorer for husdyrgjødsel bløte og kan lett pumpes inn i reaktoren. Dermed har man god kontroll på innmatet mengde. Leverandørene tilbyr ulike typer pumpeløsninger, for eksempel sentrifugalpumper og stempelpumper. De fleste pumpeløsningene er basert på tid, dvs. pumpen går i type 30 – 60 sekunder ved innmating. Dersom tørrstoffinnholdet i gjødsel-, annet substrat, eller blanding endrer seg, så vil mengden som pumpes inn endre seg; et høyere tørrstoffinnhold gir mindre innmatet mengde med disse pumpesystemene.

Dersom en skal brukes tørre substrater, kan dette skje ved blanding av bløte og tørre substrater. Dette kan gjøres ved at substratene blandes i en for-/blandeum i et gitt forhold. En må ha kraftige og effektive omrørere i form av propellomrørere, eller omrøring med pumpe slik at blandingen blir homogen, før innpumping i reaktoren. Ved pumping til reaktoren, vil innmatingspumpen sette begrensninger for hvor høyt tørrstoffinnhold blandingen kan ha. Et slikt system kan passe for ublandede husdyrgjødseltyper som slaktekylling, kalkun- og hønssegjødsel.

For talle, andre gjødseltyper og andre substrater med fraksjoner som ikke er pumpbare, må det ved bruk av for-/blandeum også installeres en kvern/oppmalingsenhet, som kutter opp tilsatt substrat. En annen metode er å ha en oppmalings-/blandeum (f.eks. type forblander) som blander og mater substratet direkte inn i reaktoren, hvor det blander seg ved bruk av reaktorens omrøringssystem. Dette krever at reaktorens omrøringssystem er dimensjonert for å motta tørt substrat.

For begge disse løsningene må leverandører av biogassanlegget gi tilbud på og dimensjonere anlegget ut fra de substratene som skal brukes. Leverandøren ønsker oppgitt mengde, tørrstoffinnhold, metanpotensial samt nitrogeninnhold i gjødsel og andre substrat for å vurdere innblandingsforhold opp mot mulig prosessinhivering (mer om inhivering i kapittel 3).



Figur 4. Forblander/Formikser som mater direkte til reaktor. Foto: Triolet /Ø.Halvorsen.

Figur 4 viser en forblander som mater inn tørt substrat direkte inn i reaktoren. Her i bruk ved biogassanlegg som bruker grassilo som delsubstrat. Denne blanderen/mikseren kan blande både tørt og vått substrat. Utstyret har innbygd vekt. Ferdig mikset substrat føres inn i reaktoren ved hjelp av en skrue.

Husdyrgjødselfraksjoner og andre substrat – egenskaper og biogasspotensial

I forbindelse med prosjektering av biogassanlegg vurderer man gjerne flere ulike typer husdyrgjødsel, og andre substrater som kan være tilgjengelig i nærområdet. Tabell 1 viser en oversikt over de største husdyrgjødsel-fraksjonene med tilhørende egenskaper i en biogassprosess. Tallene er hentet fra en nylig NORSUS-studie av mulighetsrommet for produksjon av biogass i Norge [2].

Ved innblanding av nye substrat bør dette skje gradvis, og med en vurdering av hvilket innblandingsforhold man skal ende opp med, siden mikroorganismene er sensitive for brå endringer.

Tabell 1. Husdyrgjødselfraksjoner og egenskaper som biogass-substrat

Gjødseltype	Hovedegenskaper	Biogasspotensial alt tilgjengelig substrat/år (Norge)
Storfe	Høy bufferkapasitet. Bidrar med mikronæringsstoffer. Bidrar med metanogene mikrobielle samfunn – mikrober som blir/supplerer aktiv kultur i reaktoren. Relativt lavt energiinnhold.	1 142 GWh [2]
Svin	Høyt innhold av nitrogen. Ofte høyt innhold av vann. Ved bruk av flis/spon som strø kan sedimentering i reaktor og sluttlager være et større problem enn for andre gjødseltyper.	
Fjørfe	Høyt tørrstoffinnhold. Høyt innhold av strø – kan gi utfordringer med sedimentering. høyt innhold av nitrogen.	195 GWh [2]
Sau	Tørrstoffinnhold avhengig av gjødselsystem. Lavt eller høyt (talle). Relativt lavt energiinnhold	84 GWh [2]
Geit	Tørrstoffinnhold avhengig av gjødselsystem. Lavt eller høyt (talle). Relativt lavt energiinnhold	
Hest	Høyt tørrstoffinnhold. Relativt lavt energiinnhold.	38 GWh [2]
Halm (se eget avsnitt under)	Høyt tørrstoffinnhold. Høyt karboninnhold, høyt innhold av	647 GWh [2]

	tungt nedbrytbart karbon (lignin).	
Fiskeslam (settefisk)	Høyt innhold av nitrogen. Høyt innhold av energi og fett, hvis fôrspill i produksjonen er høyt.	1 303 GWh [2]
Fiskeslam (matfisk)	Høyt innhold av nitrogen. Høyt innhold av energi og fett, hvis fôrspill fra produksjonen er høyt. Kan ha høyt innhold av salt (NaCl) – avhengig av system for avvanning og spyling.	
Fiskeensilasje (slakteavfall)	Høyt innhold av fett og protein. Lavt innhold av karbon.	224 GWh [2]

Halm og planterester

I tillegg til husdyrgjødsel er det store mengder planterester (halm) i landbruket, som er et aktuelt biogass-substrat. Det produseres et sted mellom ca. 500 og 700 000 tonn halm i Norge / år [3]. Halm har sammenlignet med husdyrgjødsel høyt innhold av karbon, med et karbon/nitrogen forhold \sim 50-150 [4]. Storfegjødsel har et karbon/nitrogen forhold \sim 6-20. Selv om halm har et høyt innhold av karbon, foreligger en relativt stor andel av dette karbonet som lignin, \sim 20% [5]. Lignin er tungt biologisk nedbrytbart, spesielt uten oksygen til stede. Med lang oppholdstid i reaktoren kan ubehandlet karbon i halm bidra til å øke forholdet mellom karbon og nitrogen, noe som vil være fordelaktig for biogassreaktorer med høyt innhold av nitrogen (mer om karbon/nitrogen forhold i kapittel 3).

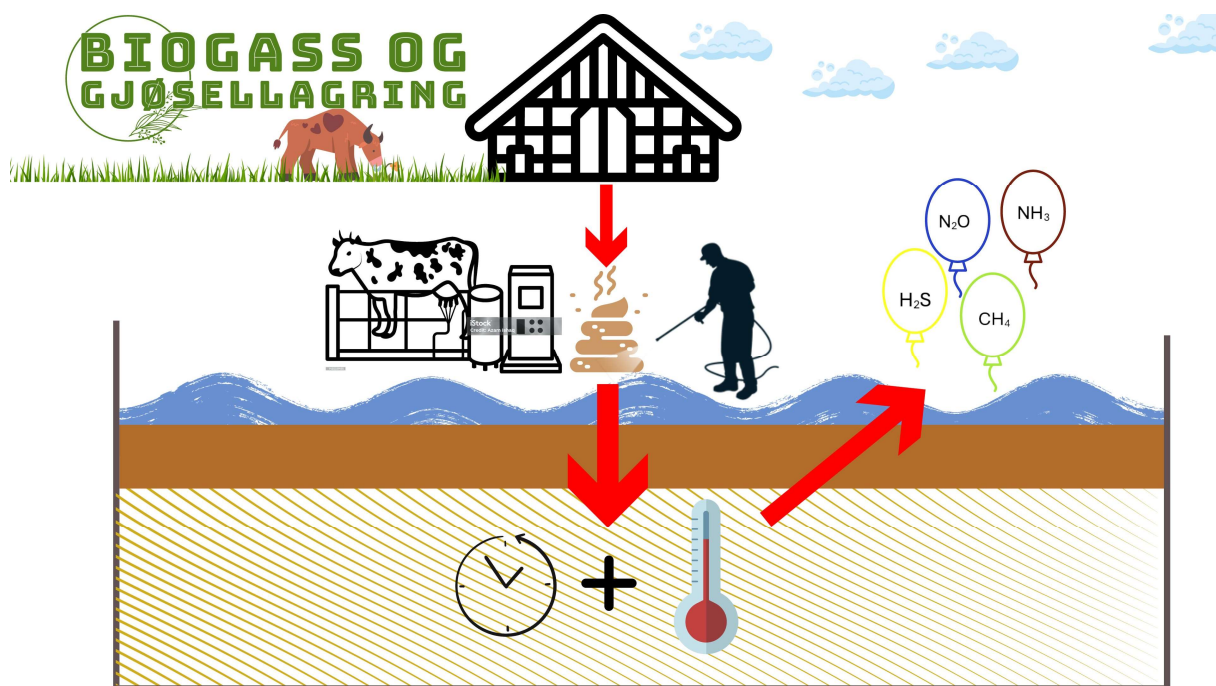
Det er rapportert flere forbehandlingsmetoder for å øke tilgjengeligheten av karbon i halm. Det er undersøkt halm-behandling med tilsetning av lut (NaOH), ammoniakk (NH₃), mekanisk behandling (kule mølle), og termisk hydrolyse. Resultatene fra denne studien viste at metanproduksjon varierte etter de ulike behandlingene, og at forbehandling med NaOH av bygg-halm var spesielt effektiv [6]. Termisk hydrolyse, THP, er en metode hvor trykk og temperatur forhøyes, og senkes hurtig, sånn at cellene eksploderer, og næringsstoffer frigis. THP-behandling er rapportert å være effektiv for plantematerialer, spesielt trevirke [7]. Det er utstrakt bruk av halm som biogass-substrat i flere europeiske land [8], [9]. Reaktorer med halm har mekanisk forbehandling, og lang oppholdstid (\sim 100-150 dager) [10]. En del halm blir også pelletert, noe som forbedrer egenskapen til halm som strø, og påfølgende som biogass-substrat.

3. Metanpotensial og biogassprosess

De viktigste organiske karbonkildene i biogass-substrater er fett, protein og karbohydrater. Fett og protein har metanpotensialer på hhv. 1 og 0,5 m³ / kg organisk tørrstoff (VS). Karbohydrat har metanpotensial på 0,38 m³ / kg VS [4]. I biogassprosessen inngår acetat, propionat og hydrogen i ulike stadier i mikrobiell nedbrytning av organisk materiale [4]. De samme prosessene og reaksjonene finner sted ved lagring av gjødsel og andre substrater. Acetat (eddiksyre) dannes som et mellomprodukt i nedbrytningen, og er hovedforløperen til metanproduksjon. I biogassprosessen konverteres acetat til metan og karbondioksid av metanogene mikrober. Denne reaksjonen er en viktig del av biogassproduksjonen. I tillegg til acetat er også propionat et mellomprodukt i anaerob nedbrytning. Propionat dannes fra komplekse organiske forbindelser, spesielt fra de delene av organiske stoffer som ikke lett kan omdannes direkte til acetat. Som acetat blir også propionat omdannet til metan og karbondioksid gjennom metabolske reaksjoner utført av anaerobe mikrober.

Hydrogen er også en viktig komponent i biogassproduksjonen. Hydrogen dannes som et biprodukt under ulike trinn av anaerob nedbrytning, blant annet under fermentering av organiske materialer. Metanogene mikroorganismer bruker hydrogenet sammen med karbondioksid for å produsere metan.

Biogass-substrater, for eksempel gjødsel, lagres før de går inn i biogassreaktoren. Avhengig av gjødselsystem, bruker gjødsel kortere eller lenger tid å komme gjennom systemet og være tilgjengelig for biogassproduksjon. Figur 5 viser hvilke parametere som i denne sammenheng kan påvirke nedbrytning av gjødsel i/ved fjøset og tap av metanpotensial.



Figur 5. Gjødselsystem og parametere som påvirker nedbrytning og biogasspotensial. Figur: Vegard Botterli

Jo lengre lagringstid, desto større sjanse for at det første steget i nedbrytning, hydrolyseprosessen har begynt, med nedbrytning til blant annet acetat og propionat. Lengre lagringstid kan med andre

ord gi betydelig nedbrytning/avgassing og tap av metanpotensial i gjødsla. Generelt sett kan en kortere lagringstid føre til lavere grad av akkumulering av acetat og propionat, da organisk materiale raskere kan gå inn i biogassreaktoren, gjennom anaerob nedbrytning og konverteres til metan og karbondioksid. En lengre lagringstid kan imidlertid gi mer tid for dannelsen av syrer og andre mellomprodukt.

En annen viktig parameter for nedbrytning ved forlagring er temperatur. Høy temperatur i lagringssystemet for gjødsel (f.eks. på grunn av geografisk plassering), isolerte fjøs og/eller ved at varmt vann dumpes i gjødselsystemet, vil gi økt nedbrytning og tap av metanpotensial for biogassproduksjon. I en studie av Browne et al [11], ble det observert nedbrytning av gjødsel ved 9 og 20 °C. Der fant man en nedbrytning på henholdsvis 5 % og 17 % sammenlignet med prøver av fersk gjødsel. Resultatene viser tydelig effekten av temperatur på nedbrytning. I Norge har man gjort noen studier av gjødsellager som viser at metanutslipp er lave dersom temperaturen holdes under 14 °C [12]. Tap av metanpotensial ved forlagring av gjødsel før biogassproduksjon er ikke dokumentert i særlig grad for norske forhold, men i Tyskland, ble det for eksempel i en studie av 4 melkebruk funnet at storfegjødsel tapte 20,5 % av metanpotensialet gjennom lagringssystemet og at grisegjødsel (prøver fra 2 gårder med slaktegris) tapte hele 39,5 % av metanpotensialet [13]. Temperatur ble imidlertid ikke målt i den studien.

Det er viktig å huske på at en ikke bør tilsette vann ut over det som trengs for å pumpe gjødsla inn i reaktoren. Med høyere andel vann i gjødsla, så tilkommer et større behov for oppvarming av substratet i tillegg til at produksjonen/utnyttelse av volumet i reaktoren blir lavere. Bioresten som produseres etter prosessering av gjødsla i reaktoren, har lavere tørrstoffinnhold, og er av meget god kvalitet for spredning med slepeslanger. I tillegg betyr større andel vann som mates inn i reaktoren, at en må kjøre ut større mengder/flere m³ ved spredning av bioresten, som medfører økt arbeidsforbruk og høyere drivstofforbruk. Dersom det er mulig, bør man vurdere å sende forbruksvann i egen linje/eget rør til sluttlager.

Biogassprosess-stabilitet

Selv om fett og protein har et høyt biogasspotensial kan anaerob nedbrytning av den typen substrat forårsake problemer, hovedsakelig som følge av opphopning av fettsyrer og nitrogen [4]. Mye av nitrogenet som omdannes under nedbrytning av protein vil foreligge som ammonium (NH₄⁺), som er en viktig nitrogenkilde for mikroorganismene. En sentral parameter for god biogassprosess er forholdet mellom substratets karbon- og nitrogen-innhold, C/N-forholdet. Lavt C/N-forhold betyr mye nitrogen i forhold til karbon, typisk for substrater med mye protein. Protein brytes ned til nitrogen som mineraliseres til NH₄⁺/NH₃, som kan inhibere biogassprosessen. Typiske konsekvenser av for lavt C/N-forhold er skumdannelse og redusert metanutbytte.

Et høyt C/N- forhold kan overbelaste prosessen med karbon, på grunn av at det foreligger for små mengder nitrogen for proteinsyntese som mikroorganismene er avhengige av for sin metabolisme [14]. NH₄⁺ er en plantetilgjengelig nitrogenkilde, og biorest fra prosess med høyt innhold protein vil kunne være et godt gjødselprodukt. Allikevel kan forhøyede konsentrasjoner NH₄⁺ være toksisk for de metanproduserende mikroorganismene [15]. Ved NH₄⁺-hemming vil biogass- og metanproduksjon stagner, og prosessen kollapse. Biogassproduksjon fra fettrike substrater kan også medføre risiko for opphopning av, og hemming fra langkjeda og kortkjeda fettsyrer (hhv. LCFA og VFA).

Når inhibering av biogassprosess skjer som følger av høy belastning av fett og protein, er det normalt rapportert som en kombinasjon av fettsyre- og NH₄⁺- hemming [16], [17]. Det er fritt ammoniakk

(NH₃) som er den mest toksiske andelen av NH₄⁺, og forhøya pH og temperatur gir økt andel NH₃. En termofil reaktor vil derfor normalt ha større risiko for NH₃-inhibering.

Fett er relativt tungt nedbrytbart for mikroorganismene involvert i metanproduksjonen [17], og fettrike substrater behøver noe lengre oppholdstid i reaktoren enn protein og karbohydrat.

Karbohydrat er den viktigste kilden til karbon, og høy belastning med karbohydrat kan medføre akkumulering og inhibering fra fettsyrer. For en best mulig biogassproduksjonsprosess er det avgjørende med en balansert sammensetning i substratet, derfor trengs det analyser av substratene som skal brukes i biogassanlegget.

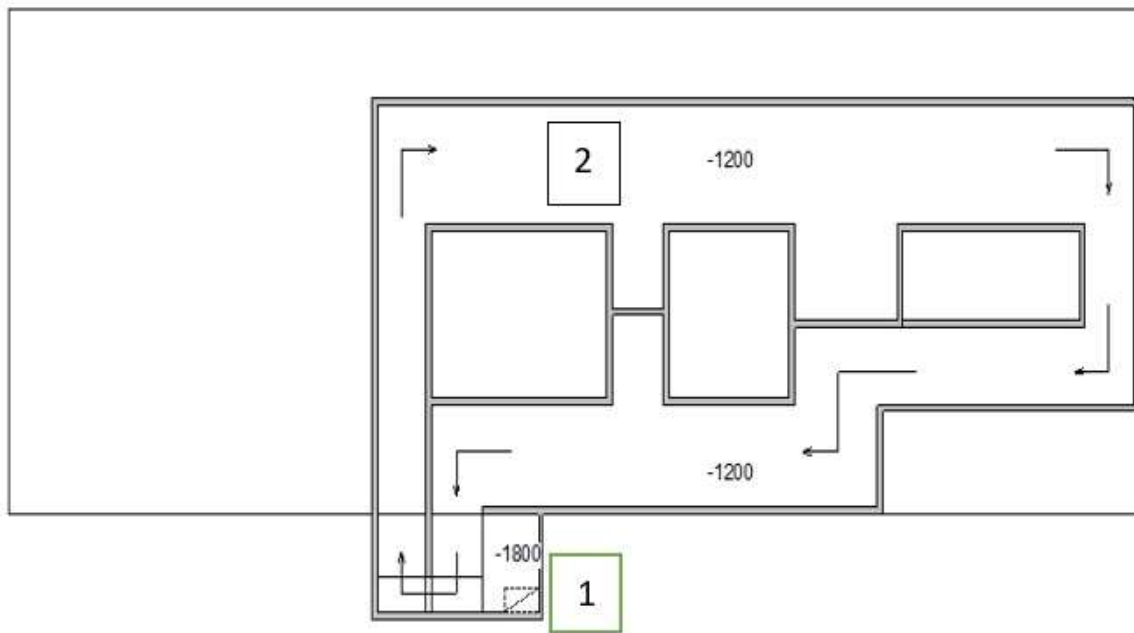
Sambehandlingseffekt er et begrep som brukes om effekten av å blande forskjellige typer substrater i en biogassreaktor. Sambehandling kan gi forbedret prosess-stabilitet og dermed økt metanutbytte [4]. Effekten er spesielt stor når energirike fraksjoner som for eksempel slakteavfall, fiskeavfall eller matavfall blandes med lav-energiholdige husdyrgjødseltyper som storfegjødsel.

Ved hurtige endringer i driftsparametere vil en biogassreaktor bli ustabil, som følger av forstyrrelser av det tilpassede mikrobielle samfunnet i reaktoren. En ustabil prosess kan føre til prosess-kollaps, og dette kan være svært ressurskrevende å reversere, eller reparere. Typiske forhold som gir kollaps, er plutselig tilsetning av store mengder ny type substrat (spilt melk for eksempel). Ved den typen feil-mating av reaktor er symptomer redusert gassproduksjon, redusert metan-konsentrasjon (og økt konsentrasjon av CO₂), nedgang i pH, skumdannelse og vond lukt fra biorest. Denne formen for feil-mating og tilhørende symptomer er som oftest relatert til opphopning av fettsyrer, og en strategi for reparering er å stoppe innmating av reaktoren i noen tid (typisk 1-3 uker). Det er viktig å overvåke de nevnte hovedparametere (pH, gassproduksjon etc.) den tiden reaktoren ikke mates, slik at det kan antas med noe sikkerhet at reaktoren er friskmeldt før mating startes opp igjen. Det er en fordel hvis det er mulighet for å gradvis økning i innmating i 2-3 uker etter en slik produksjonspause. En annen typisk situasjon, om det er tilsatt for mye protein og nitrogen (fjørfe gjødsel, fiskeslam og annet), er opphopning av ammoniakk. Symptomene vil være lignende forrige beskrevne scenario, men pH vil normalt forhøyes, som igjen gir enda mer ammoniakk. Feil-mating med konsentrerte protein-fraksjoner kan også gi skumdannelse, og gassen vil lukte sterkt ammoniakk. Ustabilitet og kollaps som følger av for mye ammoniakk krever som oftest fortykning av reaktoren med ferskvann, og veldig forsiktig og gradvis oppstart med mating, når ammoniakkkonsentrasjonen er på et akseptabelt nivå. Det er usikkert hvilket terskelnivå av fettsyrer og ammoniakk som gjelder for de ulike biogassreaktorer, men for eksempel en reaktor som er gradvis tilvendt et proteinrikt substrat, vil tåle mer ammoniakk enn en prosess som blir feil-matet med mye protein. I tillegg til type substrat og matingsregime, er biogassprosessen også sensitiv for andre hurtige endringer, for eksempel av temperatur, organisk belastning, omrøring etc.

4. Gjødelsystemer og gjødselprøvetaking

Uttak av representative gjødselprøver på gårdsbruk er utfordrende, siden det finnes mange forskjellige lagertyper, som gir ulike forutsetninger for prøvetaking. For bløtgjødsel er det gjødselkjellere under husdyrrom med tett og åpen (spaltegulv) forbindelse. Nedenfor følger en beskrivelse av disse systemene.

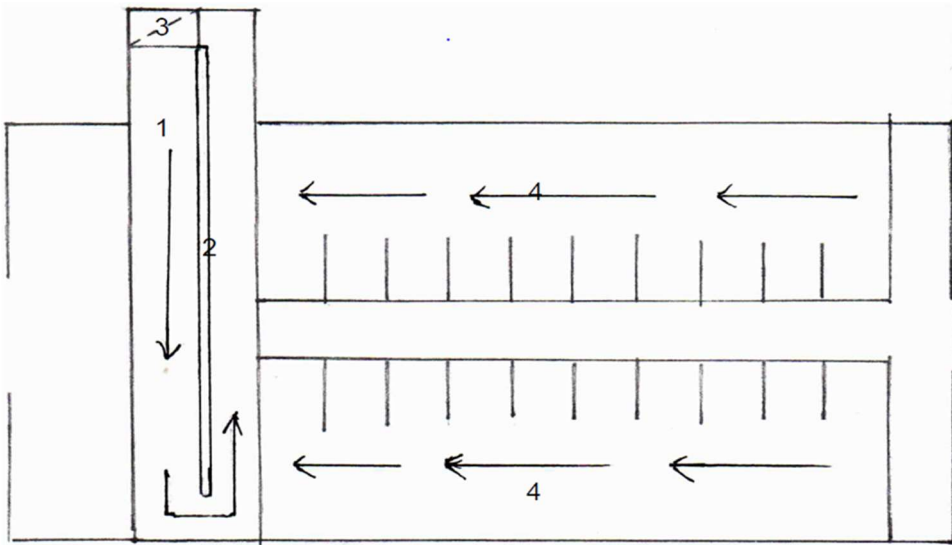
Kanalomrøring



Figur 1 Kanalomrøring. Tegning: K. Berg, NLR

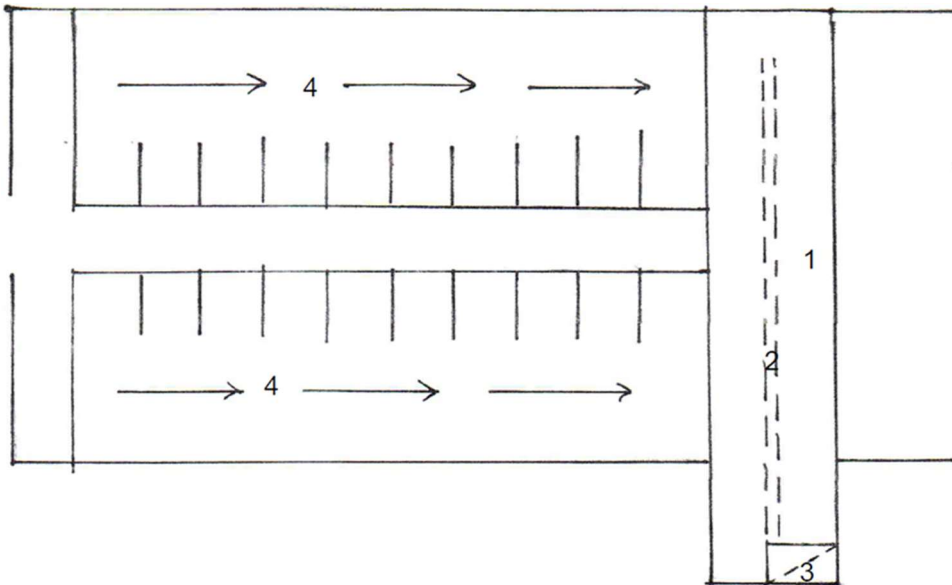
Pumpe plassert i utvendig kum (1) Pumpe brukes til både å røre om kanalen (2) og til å pumpe til eksternt lager. Omrøring vil gi god blanding av gjødsel, og med kort oppholdstid vil prøveuttak gi fersk gjødsel.

Skraper med tverrkanal



Figur 7. Tverrkanal med delevegg. Tegning: Ø. Halvorsen.

Tverrkanal (1) med delevegg (2), pumpe (3) for tilbakespyling og pumping til eksternt lager. Gjødsla føres med skraper (4) til tverrkanal. Kort oppholdstid. Tilbakespyling gir omrøring, men med lite volum i tverrkanalen kan uttak av prøve, lett bli påvirket av bruk av mye vann i fjøset.



Figur 8. Tverrkanal (1) med skraper (4), rør for tilbakespyling (2), pumpe (3) for tilbakespyling og pumping til eksternt lager. Tegning: Ø. Halvorsen.

Denne løsningen gir kort oppholdstid for gjødsla i systemet. Tilbakespyling gir omrøring, men med lite volum i tverrkanalen kan uttak av prøve, lett bli påvirket av bruk av mye vann i fjøset rett før prøvetaking.

Andre gjødselsystemer

Tverrkanal med trykksystem. De er utformet som fjøs med skraper til tverrkanal og gjødsle trykkes ut i et grovt rør (for eksempel D=400 mm). Lite omrøring og er mest brukt der gjødsle er forholdsvis tørr.

Spaltegolv i fjøs med direkte nedslipp i gjødselkjeller eller gjødselrobot med skraping av spaltegolv. Gjødselkjeller blir påvirket av varme i fjøset. Ufullstendig tømning og lang lagringstid gir økt risiko for at mikroorganismer kan formere seg og bryte ned gjødsle. Underliggende årsak for flere gjødselgassulykker.

Gjødselrobot med oppsamler. Fjøset har tett gulv, og robot samler opp gjødsle og transporter den til en innvendig pumpekum. Herfra pumpes gjødsle til eksternt lager.

Luftomrøring/miksing av gjødsel i gjødselkjeller. Gjødsle røres om ved bruk av en kompressor som pumper luft inn i et rørsystem som ligger på gulvet i gjødsellageret. Røra har hull som lufta går ut igjennom og inn i gjødsle som blir omrørt/mikset. På større lager, deles lageret inn i seksjoner som omrøres/mikses etter tur.

Utvendige lager kan være betong, stålkummer eller gjødselbasseng/lagune. På en del utvendige lager kan det være montert tak eller flytedekke.

Tørr gjødsel/talle lagres som hovedregel ute, med eller uten tak.

Forberedelser før prøvetaking

God omrøring er avgjørende for å få tatt en representativ prøve av gjødsle. Lageret der prøven skal hentes fra skal røres om rett før prøvetaking og omrøringen bør ha pågått så lenge at en har fått en homogen/godt blanda masse. En vurdering av metanpotensial innebærer å vurdere gjødsle ut fra hvordan tilstanden vil være ved bruk i eget anlegg eller dersom den skal sendes til et større anlegg. Tenk derfor representativ prøve. For eksempel vil høyt vannforbruk i fjøset rett før prøvetaking påvirke resultatet betydelig og gi en prøve som ikke vil være representativ for hvordan tilstanden på gjødsle vil være det meste av året.

En bør være obs på at spesielt grisegjødsel har lett for å bunnfelle og at det er viktig å røre svært godt også under prøvetaking i forbindelse med at gjødsel overføres til prøveflaske.

Husk god utlufting under omrøring og prøveuttak med hensyn på utvikling av gjødselgasser.

Ved uttak av prøve skal et prøvetakingskjema fylles ut som viser kundeinformasjon, prøvenummer, prøvedato, prøvested, dyreslag/gjødsel, eller informasjon om eventuelt annet substrat. Skjema legges ved prøvene ved forsendelse til laboratorium, Skjemaet sendes og til kontaktperson på laboratoriet. Biogasslaboratoriet på Ås har eget skjema for innsending av prøver.

Uttak av prøver

Følgende ble kommunisert til prøveinnsendere i prosjektet →

Utstyr for prøveuttak

2 bøtter og prøveflasker med vid åpning til å fylle prøvene på. 1 liters flasker kan bestilles ved henvendelse til laboratorium eller skaffes hos forhandlere av landbruksvarer/gjødselleverandører. Skriv navn og nummer på flaskene med vannfast tusj, før du fyller gjødsel i flaskene.

Ved uttak av prøver tas det flere prøver med bøtte nr.1 som blandes i bøtte nr. 2. Rør godt rundt og fyll på flaske. Når prøvetakingen er over fryses prøvene umiddelbart. Husk å ikke fyll flaskene helt fulle (95%), da de kan sprekke når de fryses.

Det er i forbindelse med prosjektet laget en film om prøvetaking som man også kan se på:

<https://bit.ly/gjodselprove>

Prøvebehandling og transport

Prøvene sendes til laboratoriet på hurtigste måte som postsending. De skal sendes i frossen tilstand, pakkes godt og sendes tidlig i uka (mandag eller tirsdag, slik at de ikke blir liggende hos posten over en helg). Prøvetakingsskjemaet legges ved sendingen og en elektronisk versjon av søknaden sendes også på e-post til kontaktperson.

Eksempel på prøvetakingsskjema er lagt ved som eksempel i vedlegg 4.

5. Analyser og beregninger gjødsel og biorest

I dette prosjektet ble det samlet inn husdyrgjødselprøver fra norske gårder, med hensikt å karakterisere prøvene for kjemisk sammensetning, og vurdere potensial for biogass (metan)- og energiproduksjon under anaerob nedbrytning, biogassproduksjon. Energiberegninger er basert på prøvenes TS- og VS-innhold, og oppgis både som m³ metan / tonn gjødsel, og kWh / tonn gjødsel. Prøver ble sendt til biogasslaboratoriet på Ås, hvor de ble analysert for pH, innhold tørrstoff (TS), organisk tørrstoff (VS), kjemisk oksygen forbruk (COD), og flyktige fettsyrer. Enkelte prøver ble også analysert for innhold ammonium (NH₄⁺) og tungmetaller (TM). Resultatene er presentert i tabeller og figurer, med tilhørende diskusjon.

Totalt ble det analysert prøver fra ca. 50 gårdsbruk. To av gårdene har allerede etablert biogassanlegg (gårdsanlegg), og fra disse gårdene ble det analysert prøveserier. Prøvekategorier:

- Direkteprøve = prøve hentet direkte i fjøs
- Blandekum = prøve hentet fra gjødsellager (substrat)
- Reaktor = prøve hentet fra biogassreaktor
- Etterlager = prøve hentet fra etterlagertank (biorest)

Materialer og metoder

Det ble beregnet biologisk metanpotensial (BMP) i ulike gjødselprøver, basert på prøvenes innhold av organisk tørrstoff (glødetap, VS og kjemisk oksygenforbruk, COD). Gjødselprøvene ble analysert for pH, innhold av tørrstoff (TS), VS, COD, kortkjeda flyktige fettsyrer (VFA). VFA bestemt med kromatografi eller FOS/TAC-titrering. I biogjødsel-prøvene ble det i tillegg målt total-ammonium-nitrogen (NH₄⁺-N). 10 utvalgte prøver (storfe og svin) ble analysert for innhold av tungmetall (Eurofins). Se nærmere beskrivelse av material og metoder i vedlegg 1.

FOS/TAC-ratio er en forenkla måte å måle fettsyrer (kortkjeda, VFA) på. TAC-verdien er et estimat på bufferkapasitet, og FOS-verdien er et estimat på VFA-konsentrasjon. FOS/TAC beregnes etter Nordmann-metoden.

VS og COD. Organisk tørrstoff, VS og kjemisk oksygenforbruk, COD er begge mål for innhold av organisk materiale, næringsinnhold. Næringsinnhold er en viktig parameter for metanpotensial – høyere næringsinnhold = høyere metanpotensial. Teoretisk sett er COD-måling mer presist enn VS-måling og fanger opp en større andel av næringsinnholdet, men – for en del prøvetyper er det nesten umulig å måle COD riktig (heterogene prøver). Når COD/VS-forhold er mellom 1 og 3 kan man anta at begge er riktig. Et COD/VS forhold på 1 betyr at tallet for innhold VS og innhold av COD er det samme. Metanpotensial er beregnet ut ifra mengde COD og / eller VS, og normalt vil metanpotensial basert på VS gi et høyere estimat enn om potensialet er basert på COD. Dette fordi VS ofte er underestimert og COD motsatt.

Resultater metanpotensial

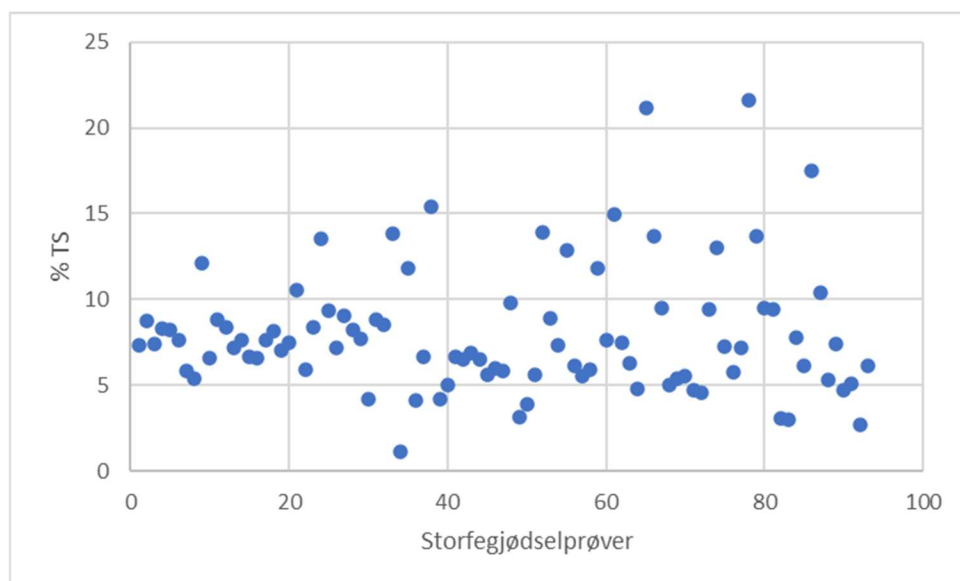
Totalt 160 gjødselprøver ble analysert gjennom prosjektperioden. Antall av de ulike gjødseltypene er vist i tabell 2. Anonymiserte beskrivelser av gårdene som har vært med i prosjektene støttet av Trøndelag og Viken Fylkeskommuner finnes i Vedlegg 2 og 3. Resultatene diskuteres i diskusjonsdelen (s.30).

Gjødselstype	Antall	Kommentar
Storfe	93	Gjødsel fra melkekyr, ammekyr, okser og ungdyr. Høy variasjon i vanninnhold.
Svin	21	Høy variasjon i vanninnhold.
Fjørfe	8	Generelt lavt vanninnhold
Sau/geit	2	Bløt. Varierende innhold tørrstoff
Sau/geit talle	4	Høyt tørrstoffinnhold
Forrester	3	Høyt tørrstoffinnhold, mye lignin
Fiskeslam (settefisk)	4	Varierende innhold av fett og protein
Meieri/myse	2	Høyt vanninnhold før tørking

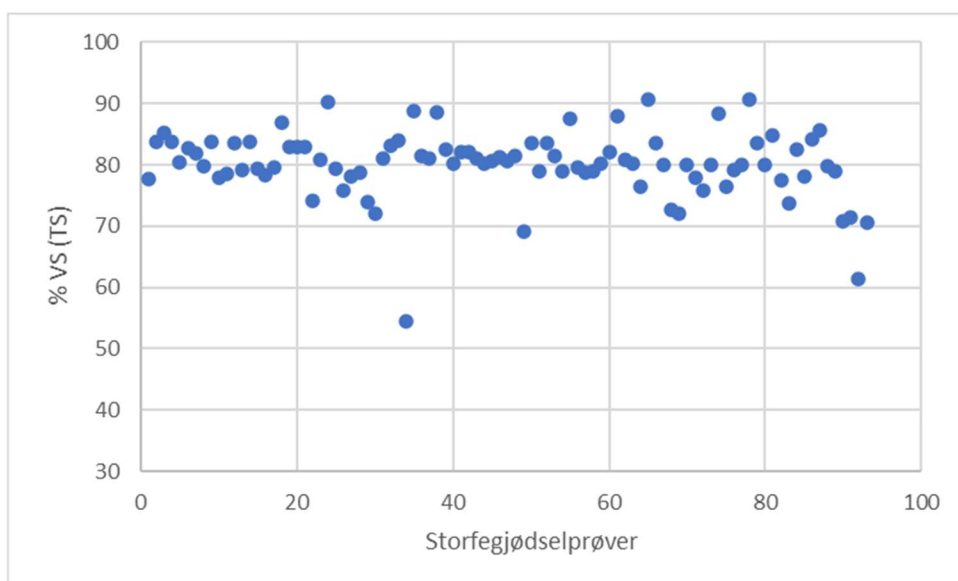
Gjennomsnittresultater for innhold metan og kWh, TS, VS, pH, VFA for de ulike gjødseltypene er vist i tabell 3. Resultater for innhold TS og VS i storfegjødselprøver er vist i figur 8 og 9. Resultater for sammenligning av direkte-prøver med gjødsellager-prøver er vist i figur 10 og 11. Resultater for utvalgte gårder med allerede etablerte gårdsbiogassreaktorer er vist i figurer 12-17 og tabeller 6-11. Innhold av tungmetaller i utvalgte prøver er vist i tabell 5.

Tabell 3. Gjennomsnittsverdier for pH, innhold CH₄, kWh, TS, VS, og Fos/Tac-ratio i gjødselprøver (min. 3 prøver)

Substrat (#)	TS %	+/-	VS (TS) %	+/-	pH	+/-	FOS/TAC	+/-	m ³ CH ₄ / tonn vv	kWh / tonn vv
Storfe (93)	7,99	2,62	80,14	3,68	7,52	0,37	0,88	0,33	15,70	153,41
Svin (21)	7,51	2,82	76,88	12,04	7,21	0,05	1,11	0,00	22,58	220,59
Fjørfe (8)	37,80	28,40	73,89	8,96	7,42	0,36	1,04	0,74	66,20	646,76
Sau/geit talle (4)	24,90	3,09	85,15	4,79	8,79	0,31	1,19	0,61	29,73	290,44
Forrester (3)	26,28	3,24	85,98	2,14	7,77	2,07	0,45	0,00	13,43	131,22
Settefisk (4)	13,61	13,35	76,29	8,52	5,82	0,54	3,96	2,42	80,12	782,77
Biorest (9)	4,62	0,94	69,31	3,59	7,91	0,13	0,22	0,04	7,53	73,53



Figur 8. Innhold av TS i gjødselprøver fra storfe.

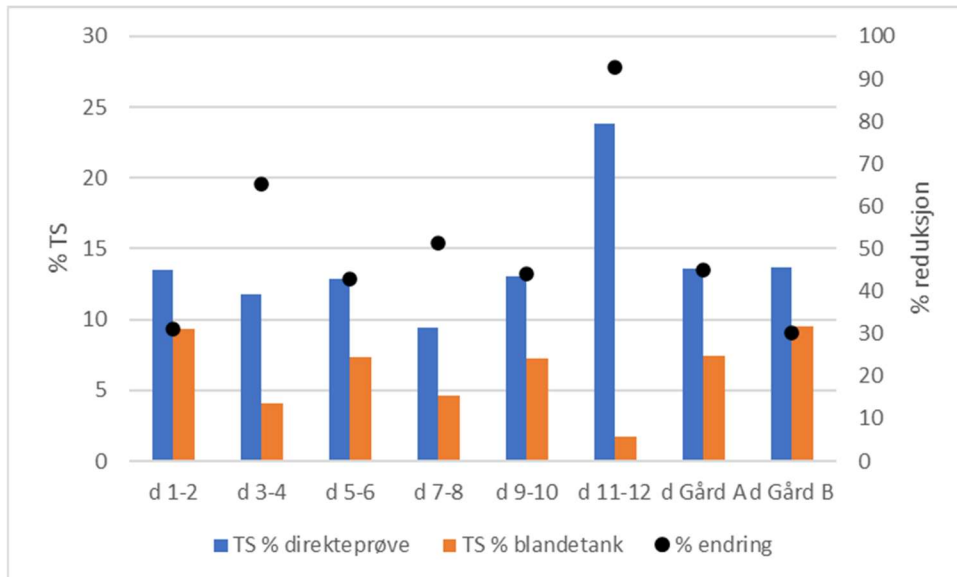


Figur 9. Innhold av VS (TS) i gjødselprøver fra storfe.

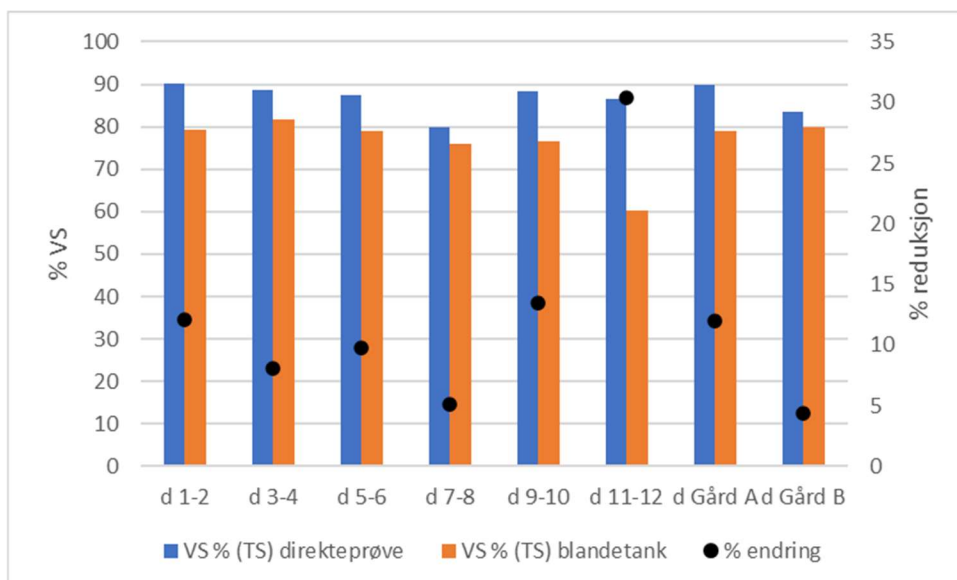
Resultatet for innhold TS og VS viser for mange av storfegjødselprøvene at vanninnhold er høyere enn forventet. Gjennomsnitt for alle prøver viser TS og VS % på hhv. 8,0 og 80,1 (figur 8 og 9). Gjennomsnittsavvik for TS-resultater er på ca. 30%, og for VS ca. 4%. Det høye avviket for TS målinger kommer av at direkteprøvene har markant høyere TS-innhold enn prøver fra kum/ gjødsellager. De fleste storfegjødselprøvene er hentet fra utvendig kum tilstøtende til fjøs og gjødselsystem, og resultatene viser at TS-innhold i mange kum/gjødsellager-prøver er på 4-5 %. Avvik mellom verdier for de andre fraksjonene skyldes i hovedsak lavt prøveantall, i kombinasjon med enkelte ikke-representative prøver, for eksempel for fjørfe. Kjemisk karakteristikk (tabell 3) viser verdier for pH og FOS/TAC som forventet i de ulike gjødseltypene. Lavest pH og høyest FOS/TAC ble målt i settefiskslam. TS-variasjonen for fiskeslam skyldes i hovedsak hvor prøvene er tatt i avvanningssystemet på oppdrettsanlegget. Høyest pH ble målt i talle (8,79), og lavest FOS/TAC i biorest (0,22), hhv. 5,82 og 3,96. Lav FOS/TAC i biorest er som forventet, det meste av organiske syrer er omdannet til biogass.

Sammenligning av gjødsellagerprøver med direkteprøver

Det ble fra noen gårdsbruk sammenlignet innhold TS og VS i direkteprøver og- prøver fra utvendig kum/blandekum. Resultatene er vist i figur 10 og 11.



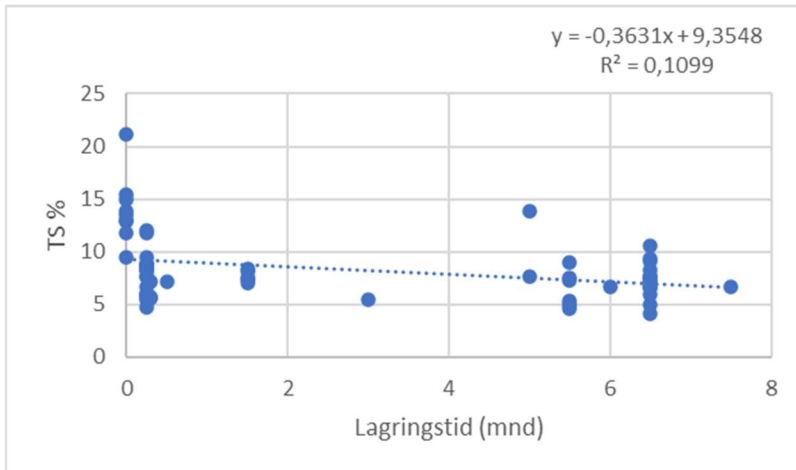
Figur 10. Sammenligning av TS-innhold i direkteprøver (d) og prøver fra blandetank



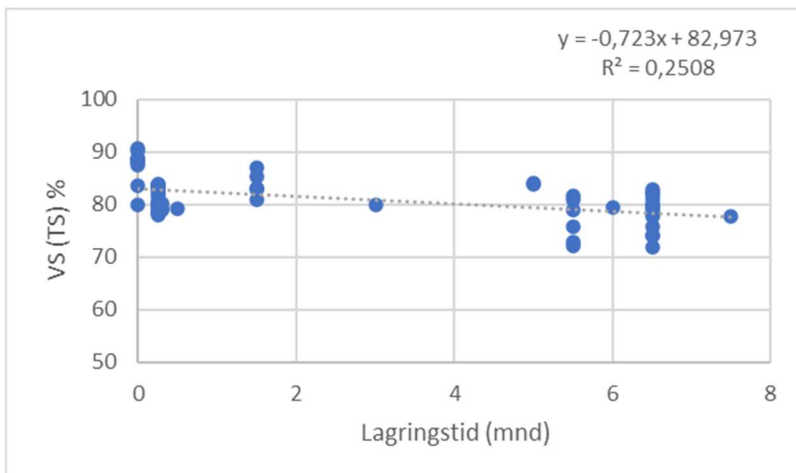
Figur 11. Sammenligning av VS – innhold i direkteprøver (d) og prøver fra blandetank.

Sammenligning av innhold TS og VS i direkte- og blandetankprøver viser at for alle prøvene er TS reduksjon relativt høy, fra ca. 30 til ca. 95% (figur 10). VS reduksjon er for de fleste prøvene noe lavere, fra ca. 5 til ca. 30% (figur 11).

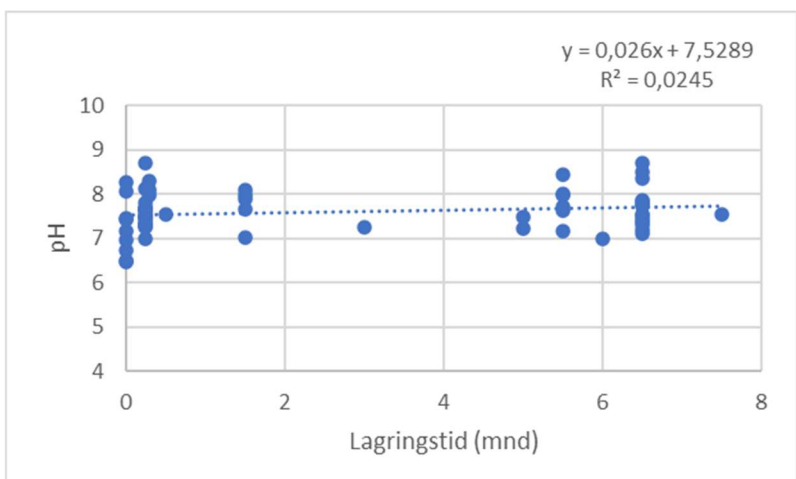
For 62 av storfe gjødselprøvene har vi estimert lagringstid, prøvene er lagret fra ca. 1 uke til 6,5 mnd. Korrelasjon mellom innhold TS, VS og pH, og lagringstid er vist i figur 13 - 15. Resultatet viser en svak nedgang i TS og VS, og økning i pH, med økt lagringstid.



Figur 12. Endring i TS-innhold som følger av økt lagringstid av storfe gjødsel



Figur 13. Endring i VS-innhold som følger av økt lagringstid av storfe gjødsel



Figur 14. Endring i pH som følger av økt lagringstid av storfe gjødsel

Innhold av tungmetaller i gjødsel

Reguleringen av mengde tungmetall i ulike gjødselfraksjoner er basert på og relatert til fraksjonens TS-konsentrasjon. For eksempel er det grense for sink i gjødselklasse 0 på 150 mg sink /kg tørrstoff. Fraksjoner med likt innhold total-sink og ulikt innhold TS vil derfor havne i forskjellige klasser.

Dersom man skal benytte biorest fra et biogassanlegg som gjødsel, vil gjødselvareforskriften og tungmetallgrensene være bestemmende for hvor store mengder biorest man kan gjødsle med. Tabell 4 viser grenseverdiene satt i gjødselvareforskriften slik den foreligger per dags dato. Nytt gjødselvare- og bruksregelverk er ute på høring våren 2024. I denne er det blant annet forslag til grenseverdier for Arsen og strengere håndheving sett opp mot innhold av tungmetaller i jord i forbindelse med bruk av gjødselvarer som f.eks. biorest.

Det settes krav til tungmetallinnhold i råvarene som går inn i gjødselproduktet, det vil si innhold i substratene som brukes i biogassproduksjonen. For et produkt i klasse 0, I eller II, må tungmetallinnholdet i råvarene ikke være høyere enn klasse II. For et produkt i klasse III, må tungmetallinnholdet i råvarene ikke være høyere enn klasse III [18]

Tabell 4. Tungmetallgrenser ihht, gjødselvareforskriften [19]

Kvalitetsklasser:	0	I	II	III
	mg/kg tørrstoff			
Kadmium (Cd)	0,4	0,8	2	5
Bly (Pb)	40	60	80	200
Kvikksølv (Hg)	0,2	0,6	3	5
Nikkel (Ni)	20	30	50	80
Sink (Zn)	150	400	800	1500
Kobber (Cu)	50	150	650	1000
Krom (Cr)	50	60	100	150

Bruk av biorest i Kvalitetsklasse 0 på jordbruksareal begrenses av at mengde som tilføres ikke må overstige plantenes behov for næringsstoffer. Bruk av biorest i klasse I og Klasse II på jordbruksareal begrenses til inntil 4 tonn tørrstoff og 2 tonn tørrstoff pr.dekar i løpet av ti år. Klasse III kan ikke brukes på jordbruksareal der det dyrkes mat eller fôrvekster (§ 27, Forskrift om gjødselvarer mv. av organisk opphav [19]).

I tillegg reguleres bruk av biorest ift. innhold av tungmetaller i jord. Jord som tilføres biorest i klasse I eller klasse II kan ikke ha innhold av tungmetaller høyere enn verdiene i tabell 5 fra § 26 i forskrift om gjødselvarer [19], for eksempel 150 mg/kg TS for sink og 50 mg/kg TS for kobber. I forslag til nytt gjødselregelverk (ute på høring våren 2024) er det foreslått at dette punktet skal håndheves i større grad, blant annet på bakgrunn av jordprøveanalyser hvert 4.år. Ytterligere detaljer for dette punktet er foreløpig ikke beskrevet.

For 10 av gjødselprøvene ble det gjort analyser for tungmetallinnhold hos Eurofins. Resultatene er vist i tabell 5.

Tabell 5. Innhold (mg/kg TS) av tungmetaller i 10 gjødselprøver.

nr	type	mg/kg TS									
		As	Pb	Cd	Cu	Cr	Hg	Ni	Zn	TS %	klasse
157	svin	0,041	0,015	0,013	6,6	0,091	0,0005	1	35	10	0
146	storfe	< 3,7	< 3,7	0,15	18	< 3,7	< 0,073	< 3,7	120	9,53	0
101	storfe	< 4,2	< 4,2	0,17	34	< 4,2	< 0,083	< 4,2	140	7,62	0
133	storfe	< 5,6	< 5,6	0,12	31	< 5,6	< 0,12	< 5,6	150	7,46	0
124	storfe	< 5,4	< 5,4	< 0,11	22	< 5,4	< 0,11	< 5,4	110	4,6	0
123	svin	0,980	0,150	0,072	45,752	0,523	0,003	4,118	196,078	1,530	1
38	svin	0,086	0,013	0,006	2,679	0,157	0,001	0,786	19,643	5,600	0
130	storfe	< 5,0	< 5,0	0,14	18	< 5,0	< 0,100	5,1	93	7,21	0
121	storfe	0,018	0,022	0,009	1,802	0,110	0,003	1,315	10,991	5,55	0
27	storfe	0,030	0,036	0,014	5,220	0,151	0,004	1,085	21,978	7,28	0

*

**

Eurofins' målemetoder involverer en viss grad av måleusikkerhet. Mer info om måleusikkerhet på Eurofins hjemmesider <https://www.eurofins.no/om-oss/kvalitet/maaleusikkerhet/>.

Resultater fra analyser på gårder med gårdsbiogassanlegg i Viken

I dette prosjektet ble to gårder med gårdsbiogassanlegg fulgt opp med prøveserieuttak. Uttak av direkteprøver, gjødsellagerprøver, biorestprøver og sluttlagerprøver ble gjort to ganger, med ca. 2 mnd. Mellomrom, på begge gårdene. I dette avsnittet vises resultater fra prøvene fra de to gårdene (gård A og gård B). Energiberegninger er basert på prøvenes TS- og VS-innhold, og oppgis både som m³ metan / tonn gjødsel, og kWh / tonn gjødsel.

De ulike prøvekategoriene definerer hvor i gjødsel / biogass-systemet det er hentet ut:

- Direkteprøve = prøve hentet direkte i fjøs
- Blandekum = prøve hentet fra gjødsellager (substrat)
- Reaktor = prøve hentet fra biogassreaktor
- Etterlager = prøve hentet fra etterlagertank (biorest)

Gård A: Resultat fra gårdsanlegg med substrat storfe- og svinegjødsel

Kjemiske analyser av substrat og effluent fra gårdsreaktor

Kjemiske analyser av inngående substrat og sluttprodukt (biorest/effluent) etter anaerob nedbrytning i biogassreaktor er utført med hensikt å vurdere substratenes - og prosessens stabilitet. Det ble gjort to uttak av ulike prøver effluent/biorest, og totalt 3 uttak av ulike substrat-prøver (kun siste uttak av substrat-prøver er vist i denne rapporten). En oversikt over prøver og uttakspunkt er vist i tabell 6.

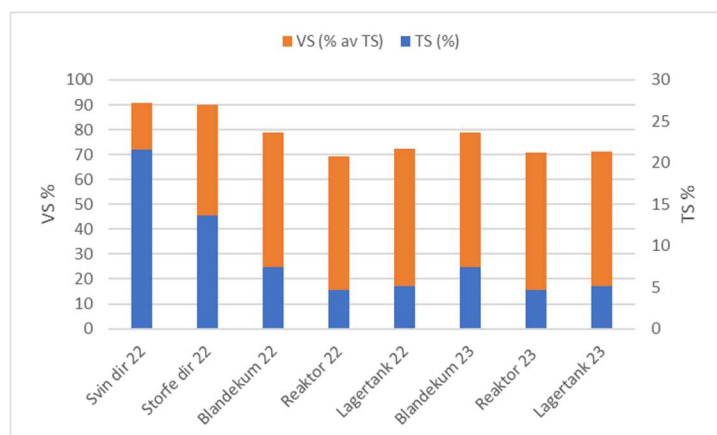
Prøvene ble analysert for pH, FOS/TAC, innhold av flyktige fettsyrer (VFA), total ammonium (NH₄⁺-N) tørrstoff (TS), organisk tørrstoff (VS) og kjemisk oksygenforbruk (COD).

Tabell 6. Oversikt prøver hentet på gård A.

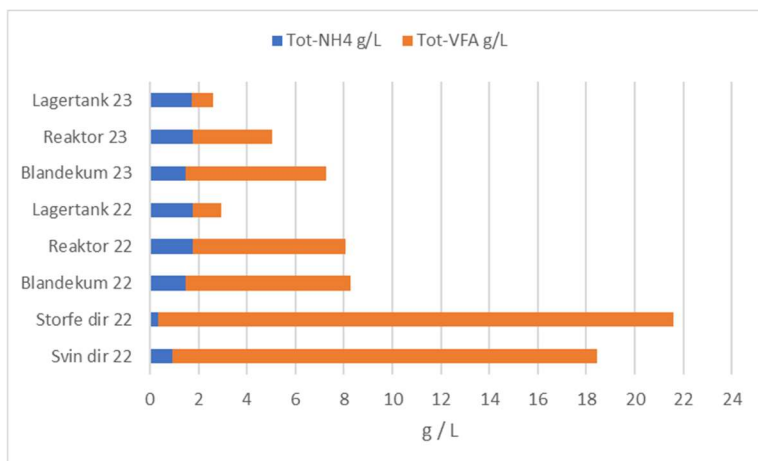
Prøvenummer	Leverandør	Prøvetype	Uttakspunkt	Dato for prøveinnsamling	Analyser
1	Gårdbruker Viken	Dir.prøve, svin	Hentet i fjøset	Desember 22	pH, FOS/TAC, VFA, NH ₄ ⁺ , TS, VS, COD
2		Dir.prøve, storfe	Hentet i fjøset	Desember 22	
3-4		Blandekum	Blandekum	Desember 22, februar 23	
5-6		Reaktor	Reaktor	Desember 22, februar 23	
7-8		Sluttlager	Sluttlager	Desember 22, februar 23	

Analysar og resultatlar

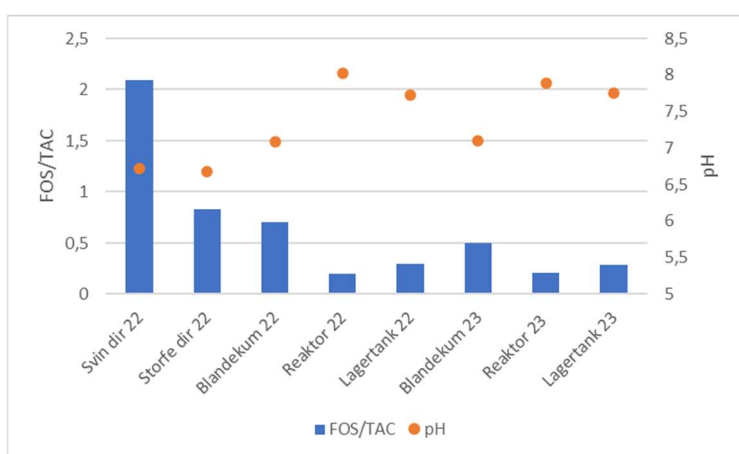
Innholdet av TS og VS er vist i figur 12. Innhold av NH₄⁺ og VFA er vist i figur 13. pH, og forholdet mellom VFA (FOS) og bufferkapasitet, kalsiumkarbonat (TAC) er vist i figur 14. Rapporterte verdier for metanpotensial og metaninnhold i tilsvarende husdyrgjødselprøver er vist i tabell 7. Estimert metanpotensial i analyserte substrat-prøver er vist i tabell 8. Energipotensial oppgis både som m³ metan / tonn substrat, og som kWh / tonn substrat. Verdiene i tabell 8 er beregna ut ifra tidlegare rapporterte målte metanpotensialverdier (fra mer inngående metanpotensialtester) (tabell 7) på substrater tilsvarende prøvene analysert for i denne rapporten.



Figur 12 15. Innhold av TS og VS (TS) i prøveserie fra gård A



Figur 13.16. Innhold av ammonium (NH₄⁺) og kortkjeda organiske syrer (VFA) i prøveserie fra gård A.



Figur 14.17. pH og forholdet mellom organiske syrer (Fos) og bufferkapasitet, kalsiumkarbonat (Tac) i prøveserie fra gård A.

Tabell 7. Rapporterte verdier for metanpotensial fra organiske fraksjoner

gjødseltype	rapportert metanutbytte, m ³ CH ₄ / tonn VS	antall studier	referanse
Storfe	213	6	[20]
Svin	268	6	
Middelverdi*	~ 240		

*faktor for blandekum

Tabell 8. Beregna verdier for metanpotensial i gjødselprøver.

Nr	ID	est. m ³ CH ₄ / tonn substrat (VS-basert)	kWh* pr tonn råvekt (vs basert)	kommentar
1	Svin dir 22	51,45	502,63	Høy TS
2	Storfe dir 22	26,01	254,09	Høy TS

3	Blandekum 22	14,14	138,19	Lav TS, sammenlign. m. dir-prøver
4	Reaktor 22	7,75	75,67	Lav TS og VS = relativt høy nedbrytningsgrad
5	Lagertank 22	8,93	87,22	Noe høyere TS enn i reaktor = ikke representativt (skyldes uttak i bunn og ingen omrøring i lagertank = bunnsediment = forhøya TS)
6	Blandekum 23	14,05	137,33	Tilsvarende prøve 3
7	Reaktor 23	8,01	78,25	Tilsvarende prøve 4
8	Lagertank 23	8,80	85,94	Tilsvarende prøve 5

*1 m³ CH₄ tilsvarer 9,77 kWh

Diskusjon (gård A)

Direkteprøvenes høye TS-innhold (se tabell 12), sammenligna med blandetank signaliserer at kjemisk sammensetning endrer seg en del fra fjøset via gjødselkjeller, og ut til substrat-tanken (blandekummen). Dette kan skyldes tilsig av vann og at lagringstiden i kjeller blir lengre fordi en er avhengig av en viss mengde i kjeller for å få pumpa over til pumpekummen (dybde av gjødsel i kjeller ca. 0,5 m). Temperatur i kjeller ble ikke målt, men høyere temperaturer kan som tidligere nevnt være årsak til nedbrytning/tap av TS.

Analysene viser sammenlignbare tall mellom første og andre uttak av effluent/biorest-prøver, dette signaliserer at biogassprosessen driftes stabilt. Det ble for begge uttak målt høyere TS og VS i sluttlagertanken enn i selve reaktoren. Dette er noe misvisende og skyldes mest sannsynlig at sluttlagertanken ikke har omrøring, noe som gjør at biomassen sedimenterer. Uttaket til sluttlagertanken er i bunnsjiktet. Sluttlagertank-prøvene kan derfor anses som ikke-representative. TS reduksjon fra blandekum til reaktor er på ca. 40%, og er innenfor det som kan forventes fra husdyrgjødsel-substrat. Innhold NH₄⁺ er høyere i reaktor og sluttlager, enn i inngående substrat, dette er som forventet og viser at nitrogenet mineraliseres fra organisk nitrogen til plantetilgjengelig ammonium i prosessen. Ut ifra resultatet er det en relativt høy andel nitrogen som mineraliseres allerede i blandekummen, noe som styrker antagelsen om at lagring i kummen igangsetter biogassprosessen. FOS/TAC, pH og konsentrasjon av flyktige fettsyrer (separert og kvantifisert) er innenfor det som forventes på typen prøver analysert.

Gård B: Resultat fra gårdsanlegg med substrat storfe- og fjørfegjødsel

Kjemiske analyser av substrat og effluent fra gårdsreaktor

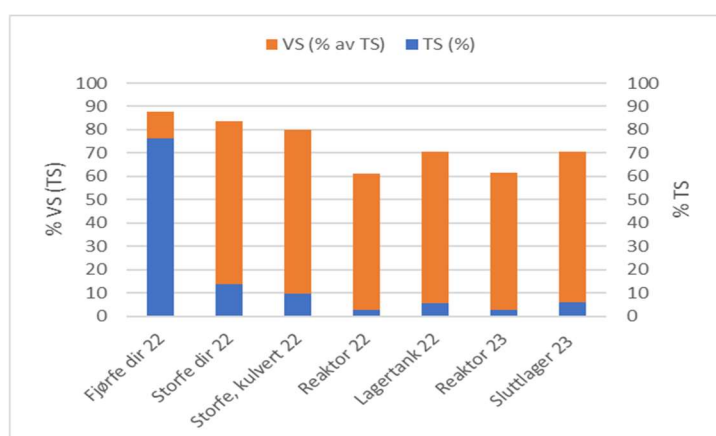
Kjemiske analyser av inngående substrat og sluttprodukt (effluent) etter anaerob nedbrytning i biogassreaktor er utført med hensikt å vurdere substratenes - og prosessens stabilitet. Det ble gjort to uttak av ulike prøver effluent, og totalt 3 uttak av ulike substrat-prøver (kun siste uttak av substrat-prøver er vist i denne rapporten). En oversikt over prøver og uttakspunkt er vist i tabell 9. Det ble i prøvene analysert for pH, FOS/TAC, innhold av flyktige fettsyrer (VFA), total ammonium (NH₄⁺-N), tørrstoff (TS), organisk tørrstoff (VS) og kjemisk oksygenforbruk (COD).

Tabell 9. Oversikt prøver hentet på gård B

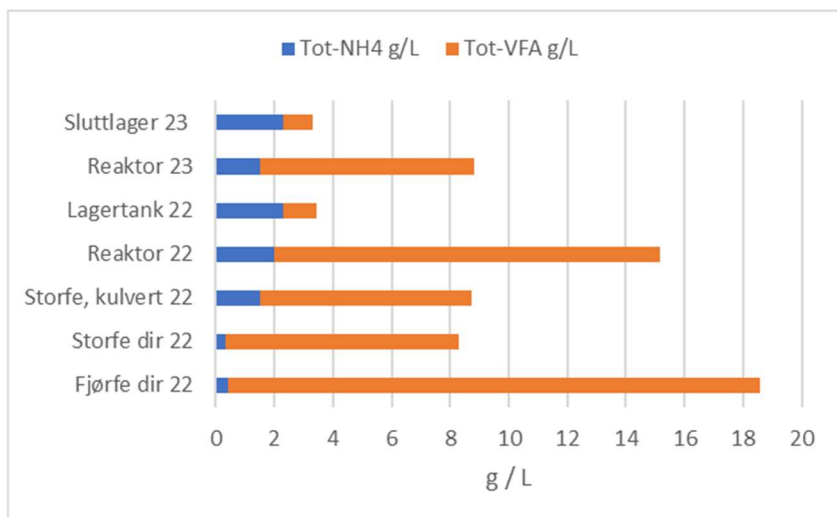
Prøvenummer	Leverandør	Prøvetype	Uttakspunkt	Dato for prøveinnsamling	Analyser
1	Gårdbruker Viken	Dir.prøve, fjørfe	Hentet i fjøset	Desember 22	pH, FOS/TAC, VFA, NH ₄ ⁺ , TS, VS, COD
2		Dir.prøve, storfe	Hentet i fjøset	Desember 22	
3		Storfe, kulvert	Hentet i fjøset	Desember 22, februar 23	
4-5		Reaktor	Reaktor	Desember 22, februar 23	
6-7		Sluttlager	Sluttlager	Desember 22, februar 23	

Analysar og resultatlar

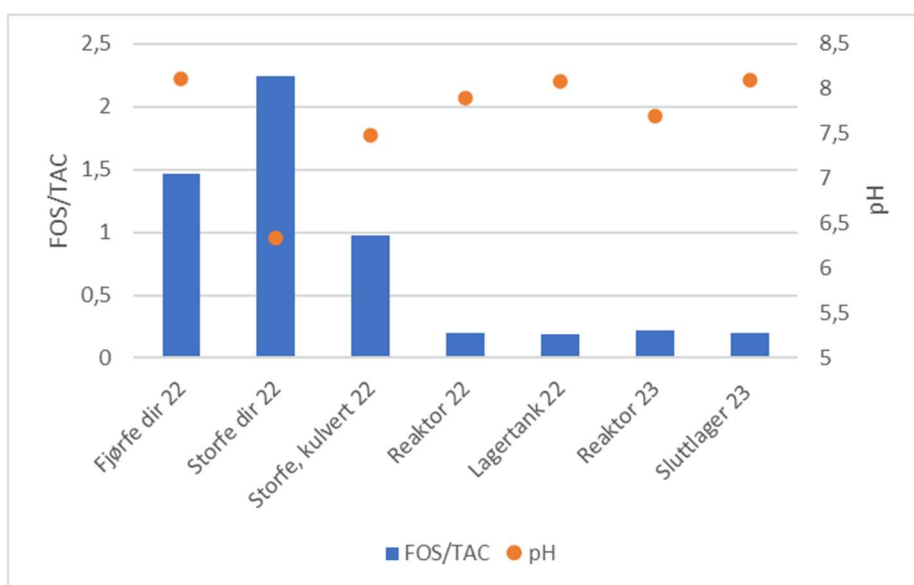
Resultatar for TS og VS – innhold er vist i figur 15. Innhold NH₄⁺ og VFA er vist i figur 16. pH, og forholdet mellom VFA (FOS) og bufferkapasitet, kalsiumkarbonat (TAC) er vist i figur 17. Rapporterte verdier for metanpotensial og metaninnhold i tilsvarende husdyrgjødselprøver er vist i tabell 10. Estimert metanpotensial i substrat-prøver analysert er vist i tabell 11. Energipotensial oppgis både som m³ metan / tonn substrat, og som kWh / tonn substrat. Verdiene i tabell 11 er beregna ut ifra tidlegare rapporterte målte metanpotensialverdier (tabell 10) på substrater tilsvarende prøvene analysert for i denne rapporten.



Figur 15 18. Innhold av TS og VS (TS) i prøveserie fra gård B



Figur 16.19. Innhold av ammonium (NH₄⁺) og kortkjeda organiske syrer (VFA) i prøveserie fra gård B.



Figur 17.20. pH og forholdet mellom organiske syrer (Fos) og bufferkapasitet, kalsiumkarbonat (Tac) i prøveserie fra gård B.

Tabell 10. Rapporterte verdier for metanpotensial fra organiske fraksjoner.

gjødseltype	rapportert Metanutbytte, m ³ CH ₄ / tonn VS	antall studier	referanse
Storfe	213	6	[20]
Fjørfe	247	6	
*			

Tabell 11. Beregna verdier for metanpotensial i gjødselprøver.

Nr	ID	est. m ³ CH ₄ / tonn substrat (VS-basert)	kWh* pr tonn råvekt (vs basert)	kommentar
1	Fjørfe dir 22	165,05	1612,55	Høy TS
2	Storfe dir 22	24,35	237,88	Høy TS
3	Storfe, kulvert 22	16,23	158,59	Relativt høy TS
4	Reaktor 22	3,53	34,51	Lav VS, høy COD
5	Lagertank 22	9,21	89,69	Høyere TS og VS enn i selve reaktor, sannsynligvis pga. ingen omrøring i sluttlagertank = ikke representativ prøve
6	Reaktor 23	3,80	37,19	Tilsvarende prøve 4
7	Sluttlager 23	9,93	97,11	Tilsvarende prøve 5

*1 m³ CH₄ tilsvarer 9,77 kWh

Diskusjon (gård B)

Direkte- og kulvert-prøvens (storfe) TS- og VS-innhold signaliserer at energiinnholdet endrer seg noe fra fjøset og ut til reaktor-tanken. Det ble målt innhold av VS og COD med noe forhøyet COD/VS-forhold i gjødselprøvene. Dette skyldes antageligvis at effluenten inneholder en del flyktige forbindelser, som tapes i tørkeprosess, men fanges opp av COD. Analysene viser sammenlignbare tall mellom første og andre uttak av effluent-prøver, noe som viser at prosessen driftes stabilt. Det ble for begge uttak målt høyere TS og VS i sluttlagertanken enn i selve reaktoren. Dette er noe misvisende og skyldes mest sannsynlig at sluttlagertanken ikke har omrøring. Sluttlagertank-prøvene kan derfor anses som ikke representative. TS reduksjon fra substrat (kulvert) til reaktor er på ca. 70%, og er relativt høyt og innenfor det som kan forventes fra denne typen husdyrgjødsel-substrat. Innhold NH₄⁺ er høyere i reaktor og sluttlager, enn i inngående substrat, dette er som forventet og viser at nitrogenet mineraliseres fra organisk nitrogen til plantetilgjengelig ammonium i prosessen. Ut ifra resultatet er det en relativt høy andel nitrogen som mineraliseres allerede i kulvert, noe som styrker antagelsen om at lagring igangsetter biogassprosessen. FOS/TAC, pH og konsentrasjon av flyktige fettsyrer (separert og kvantifisert) er innenfor det som forventes på typen prøver analysert.

Diskusjon (gård A og B), resultater, samlet sett, for prøver fra de to gårdene på innhold av TS og VS er som forventet. TS og VS reduseres under anaerob nedbrytning, TS og VS i husdyrgjødsel reduseres normalt i en biogassprosess med ca. 50% [21], noe som er sammenlignbart med resultat fra gård A og B (figurer 15 og 18). Konsentrasjon av ammonium øker under anaerob nedbrytning, dette er som forventet. Det er rapportert mineraliseringsgrad av nitrogen mellom ca. 50 til ca. 80% i ulike anlegg [22], [23]. Konsentrasjon av VFA reduseres (figurer 16 og 19) i biogassprosessen, dette er som forventet. Det metanogene mikrobielle samfunnet bryter ned VFA og omdanner syrene til metan og CO₂. Hovedandel av VFA er acetat (eddiksyre), som er hovednæringsstoffet til metanogene arker. Lav FOS/TAC ratio signaliserer høy bufferkapasitet og underbelastet reaktor, som betyr at prosessen er stabil med tanke på VFA akkumulering. Resultat for VFA og pH er som forventet, FOS/TAC reduseres i biogassprosessen, og pH er stabil på mellom 7 og 8 i biogassreaktorene (figurer 17 og 20). Det er et betydelig tap av metanpotensial, og kWh / tonn substrat, mellom direkteprøver og blandekum (tabeller 8 og 11). Dette kan ha sammenheng med vanntilslutning til blandekum. For begge gårdene blir energipotensial omtrent halvert, fra fjøs og ut i blandetank (basert på TS i storfegjødsel, tilleggssubstrater er ikke medberegnet). Dette betyr at metanutbytte har et potensial til økning, hvis vanntilslutning/vannforbruk reduseres. Mesteparten av vannet som kommer til er imidlertid urin, og ikke noe man i utgangspunktet kan/vil lede vekk. For begge gårdene er prøveseriene like mellom

første (2022) og andre (2023) uttak. Dette tyder på jevn og stabil drift av reaktorer. Som for alle prøver i prosjektet, samlet sett, er endring i TS høyere enn endring i VS, noe som underbygger antagelsen om at det er i hovedsak vanntilslig, og ikke nedbrytning som følger av lang lagring, som er grunnen til reduksjon av TS.

Gård A tilsetter daglig en blanding av storfe- og svinegjødning, ca. 20 m³ gjødning / døgn, og produserer omtrent 640 m³ biogass / døgn, tilsvarende 32 m³ biogass / tonn gjødning. Med en antatt metankonsentrasjon på 50-60 %, tilsvarer dette ca. 16-20 m³ metan / tonn gjødning. 16-20 m³ metan tilsvarer 156 – 195 kWh / m³ gjødning, dette er noe høyere enn estimatet for storfe gjødning (ca. 153 kWh / m³) og noe lavere enn estimatet for svin gjødning (ca. 220 kWh / m³) (tabell 3). Forklaringen kan ligge i at det ikke er omrører i pumpekum og at gjødsel ikke er fullstendig blandet. Flere analyser og vurderinger må gjøres for å avdekke årsaken nærmere.

Ved anlegget til RIBI Bioenergi i Møre og Romsdal målte man i 2021-2022 en produksjon på maksimalt 134 kWh/m³, med en gjennomsnittlig oppholdstid på 32 dager [24]. Her var substratet en miks av storfe gjødning og svin gjødning (60/40). For anlegget på Tomb videregående skole målte man i 2014 en produksjon tilsvarende 94,5 kWh/m³ storfe gjødning, men her var oppholdstida relativt kort, 20-23 dager [25]

Diskusjon (alle prøver). Det ble gjennomgående målt og observert at mange av gjødselprøvene, spesielt storfe- og svin gjødselprøver, inneholdt mer vann enn det som kan antas å være representativt. Det ble analysert fra noen utvalgte gårdsbruk både direkteprøve, hentet direkte fra fjøs/dyr, og fra gjødsellager. For alle gårdene ble det målt relativt stor nedgang i TS-innhold fra fjøset og ut til lager (figur 10). I stor grad skyldes nedgangen innblanding av urin, men andre årsaker til TS-reduksjonen er varierende fra gård til gård. Gjødsel-logistikk og behov for spyling av gjødselsystemer kan bidra til betydelig vannforbruk. For noen gårdsbruk skyldes TS-reduksjon høyt tilsig av vann mellom fjøs og lager. I andre tilfeller er det reduksjon av TS mest sannsynlig som følger av lang lagringstid. Hydrolyse produserer vann, og hydrolysereaksjonen igangsettes relativt hurtig i gjødsel. Under hydrolysen frigis blant annet VFA, og hovednæringsstoff for metanogene mikrober er acetat. En effekt av lang lagringstid med aktive metanogene til stede vil medføre konsumering av acetat, og forholdet mellom acetat og propionat vil reduseres. Acetat/propionat-forhold kan derfor benyttes som et anslag på lagringseffekt. Lagring av gjødning er en viktig faktor for gårder som etablerer biogassanlegg, og lagringseffekt er rapportert fra ulike miljøer. I en tysk studie ble effekt av lagringstid- og temperatur evaluert, og resultatene viste at både temperatur og tid har stor påvirkning på metaninnhold i gjødning. For eksempel ble det sammenlignet lagring av gjødning ved 5, 10, 15, 20 og 25 °C, og metanutslipp etter 7 dager økte fra ca. 0,25 til 1 liter metangass / kg TS / dag, når temperatur økte fra 5 til 25 °C [26].

Det ble ikke observert noen tydelig samlet sammenheng mellom gjødselprøvenes metan- og energiinnhold og faktorer som lagringstid, gjødselsystem på gården og melkerobot. Det er allikevel sannsynlig at det på flere gårder er korrelasjon mellom de faktorene. For å konkludere med noe tallfestet må det gjøres flere systematiske uttak og målinger. Det vises en svak tendens til at lagringstid reduserer både TS og VS i storfe gjødselprøver. Men, fordi det er en del andre faktorer som spiller inn (bl.a. vanntilslig og prøveuttak) er sannsynligvis faktisk korrelasjon høyere enn vist her (figur 13-14). I tillegg til andre påvirkende faktorer, bidrar også direkteprøvenes markant høyere TS og VS-verdier til en svak korrelasjon. pH var noe forhøyet med lengre lagringstid (figur 15), dette kan relateres til at når flyktige fettsyrer brytes ned og omdannes til gass, øker pH.

En faktor som kan forårsake høyt vanninnhold i prøvene er ikke-representativ prøveuthenting. For eksempel er ikke alle gjødsellagre tilstrekkelig omrørt før prøvehenting, noe som tilsier sedimentasjon, som igjen gir et underestimert mål på TS-innhold. Metanpotensial beregnet basert på

organisk TS er i stor grad påvirket av prøvens vanninnhold, og i prøver med mye vann ble metanpotensial estimert lavere enn i prøver med høyere TS-innhold.

Beregnet metanpotensial gir et omtrentlig mål på hvor mye metan det kan antas at et substrat vil gi i en kontinuerlig prosess. For enkelte substrater vil beregnet metanpotensial være markant overestimert, for eksempel fjørfegjødsel og noen typer fiskeslam. Slike fraksjoner har høyt innhold av organisk tørrstoff som gir høyt metanpotensial, men beregningen tar ikke høyde for andre faktorer, som for eksempel innhold av nitrogen og den hemmende effekten nitrogen kan ha i en biogassprosess. Innhold av fett og protein i fiskeslam vil variere i stor grad etter andel fôrspill på oppdrettsanleggene. De nevnte gjødseltypene er gode eksempler på fraksjoner som med stor fordel kan blandes med andre, mindre energi- og nitrogenrike fraksjoner som for eksempel storfegjødsel.

Gjennomsnittsverdier for kjemisk sammensetning (pH og FOS/TAC) er vist i tabell 3. Storfegjødsel har gjennomsnittlig pH verdi på ca. 7,5 (tabell 3), med lavt gjennomsnittsavvik. Dette samsvarer med tidligere rapporterte pH verdier for storfegjødsel [4]. De fleste gjødseltypene har pH verdier rundt nøytral, talle-prøvene noe høyere. Høy pH i talle skyldes mest sannsynlig høy andel ammoniakk [27]. Fritt ammoniakk er basisk, og gir økt pH. Fraksjoner med høy pH kan være egnet som tilleggs-substrat med fraksjoner med lavere pH, som for eksempel fiskeensilasje eller andre ensilerte substrater. Fiskeslam-prøvene i dette prosjektet har gjennomsnittlig pH verdi på ca. 5,8 og FOS/TAC på nesten 4 (tabell 3). Lav pH og høy FOS/TAC signaliserer høyt innhold av organiske syrer. Målinger av fiskeslam i dette prosjektet er sammenlignbart med tidligere rapporterte verdier [28].

For noen av prøvetypene er det generelt et høyt gjennomsnittsavvik mellom analyseverdiene. FOS/TAC forholdene gjenspeiler både innhold av TS og VS, og pH. FOS/TAC er lavest i biorestprøvene (tabell 3), dette er som forventet. I biogassprosessen blir organiske syrer omdannet til biogass, og bufferkapasiteten øker når prosessen er stabil [4]. FOS/TAC- forholdet vil variere mellom ulike prosesser, og et moderat forhøyet eller redusert FOS/TAC-forhold er ikke et avgjørende mål for om prosessen fungerer godt [29]. FOS/TAC forhold på ca. 0,22, som observert i biorest i dette prosjektet (tabell 3) tyder på stabile prosesser uten risiko for prosesskollaps.

TS innhold i fjørfegjødselprøvene har et gjennomsnittsavvik på ca. 75 %, dette skyldes få, og 1-2 ikke representative prøver. Gjennomsnittsverdi på TS i storfegjødselprøver er 7,99, og et gjennomsnittsavvik på ca. 30 % (tabell 3, figur 8). Høyt avvik skyldes i stor grad 3-4 direkteprøver med markant høyere TS innhold enn i de fleste prøvene, som er hentet fra blandekum. Som for de to gårdene (A og B), er det generelt stor forskjell i TS mellom direkteprøver og prøver fra blandekum / gjødsellager (figur 8). TS reduseres med ca. 30 til over 90 %, VS noe lavere endring, med reduksjon på 5 – 30 % (figur 9).

Resultatene fra tungmetallanalysene viser at alle gjødselprøvene unntatt 1 prøve for svinegjødsel ligger i klasse 0. Det er i hovedsak for sink og kobber at det er verdier av betydning. Den ene svinegjødselprøven er i klasse I. Denne prøven har også relativt lavt tørrstoffinnhold, som må tas i betraktning, fordi tungmetallkonsentrasjoner forholder seg til innhold TS. Innholdet av sink i svinegjødsel har tidligere vært høyt siden medisinsk sink har vært tilsatt kraftfor til gris. Dette er nå redusert på bakgrunn av et EU-forbud mot bruk av medisinsk sink i for til smågris som trådte i kraft i 2022. Prøver fra en studie fra 2006-2011 viser for eksempel et gjennomsnittlig innhold av sink på 639 mg/kg TS basert på 14 prøver fra 5 fylker [30]. For storfe ble det i samme studie funnet et gjennomsnitt for sink på 184 mg/kg TS basert på 4 prøver fra 2 fylker.

Sammendrag/Konklusjon

- Kjemisk sammensetning, spesielt innhold TS påvirkes av vanntilsetning, lagringstid og prøveuttak
- Beregnet metanpotensial for storfe gjødsel er sammenlignbart med faktisk produksjon på gårdsbiogassanlegg
- Gjødsellogistikk på de ulike gårdene påvirker gjødselens kjemiske egenskaper og metanpotensial. Ved etablering av anlegg bør man derfor analysere sin egen gjødsel og bli kjent med «sitt substrat».
- Lang lagringstid gir redusert TS og VS og økt pH, og redusert metanpotensial.

6. Metanpotensial – betydning for lønnsomhet i prosjekt som ønsker å etablere biogassanlegg

Egenskapene til gjødsel i form av tørrstoffinnhold og mengde organisk materiale vil som resultatene ovenfor viser kunne variere fra gård til gård og på den enkelte gård gjennom et år. Tabell 12 nedenfor viser hvordan dette gir seg utslag i produksjon i kilowattimer for en gård der det er tatt ut 3 ulike prøver. Et tørrstoffinnhold på 8,4 % for 5000 tonn storfegjødsel gir en teoretisk produksjon tilsvarende ca. 730 000 kWh. Dette tilsvarer typisk det som man setter inn i teoretiske beregninger der man ikke har andre analyser å gå ut fra. Er tørrstoffinnholdet i hovedsak tilsvarende den andre målingen, 7,21 % vil dette utgjøre en reduksjon i energiproduksjon tilsvarende 129 500 kWh. Dette er et nivå tilsvarende flere av prøvene analysert ved laben på Ås. Er tørrstoffinnholdet enda lavere, f.eks. 5,75 % TS utgjør det en reduksjon i energiproduksjon tilsvarende 257 000 kWh. Dette er et nivå som man typisk ser for gårder der man har et relativt høyt vannforbruk. Årsaken til variasjonen i prøvene på eksempelgården tilskrives vannforbruk og at man har et relativt lite volum i tverrkanalen. Dersom man nylig har brukt en del vann i forbindelse med vasking/spyling utgjør dette en god del for et så lite volum som man har i en tverrkanal. Dersom man har gjødselkjeller og har analyser på dette nivået (dersom prøven er representativ) tyder det på et mer gjennomgående høyt vannforbruk.

Tabell 12. Beregning av metanpotensial og produksjon i kilowattimer og m^3 CH_4 basert på 3 ulike tørrstoffanalyser.

	Tonn	kWh tonn	kWh	TS %	
Storfegjødsel, pr år	5000	146,1	730 500	8,4	
Myse, pr år	90	162,0	14 580	6,69	
Talle	75	260,0	19 500		
Beregnet metanpotensiale i kWh pr år			764 580		
Beregnet produksjon 100% CH_4 i m^3 , storfe			74 770		
	Tonn	kWh tonn	kWh	TS %	
Storfegjødsel, pr år	5000	120,2	601 000	7,21	
Myse, pr år	90	162,0	14 580	6,69	
Talle	75	260,0	19 500		
Beregnet metanpotensiale i kWh pr år			635 080		Differanse (kWh) sammenlignet med TS 8,4
Beregnet produksjon 100% CH_4 i m^3 , storfe			61 515		129 500
	Tonn	kWh tonn	kWh	TS %	
Storfegjødsel, pr år	5000	94,7	473 500	5,75	
Myse, pr år	90	162,0	14 580	6,69	
Talle	75	260,0	19 500		
Beregnet metanpotensiale i kWh pr år			507 580		Differanse (kWh) sammenlignet med TS 8,4
Beregnet produksjon 100% CH_4 i m^3 , storfe			48 465		257 000

Det er viktig å huske på at med mye vann i gjødsel, blir det et større behov for oppvarming av substratet i tillegg til at produksjonen/utnyttelse av volumet i reaktoren blir lavere enn når gjødsel inneholder lite vann. 1000 tonn med ekstra vann tilsvarer ca. 32 600 kWh i oppvarmingsbehov for

oppvarming fra 7 til 37 °C. Da er ikke ekstra varmetilførsel pga. varmetap/ikke fullstendig varmeoverføring i systemet medregnet.

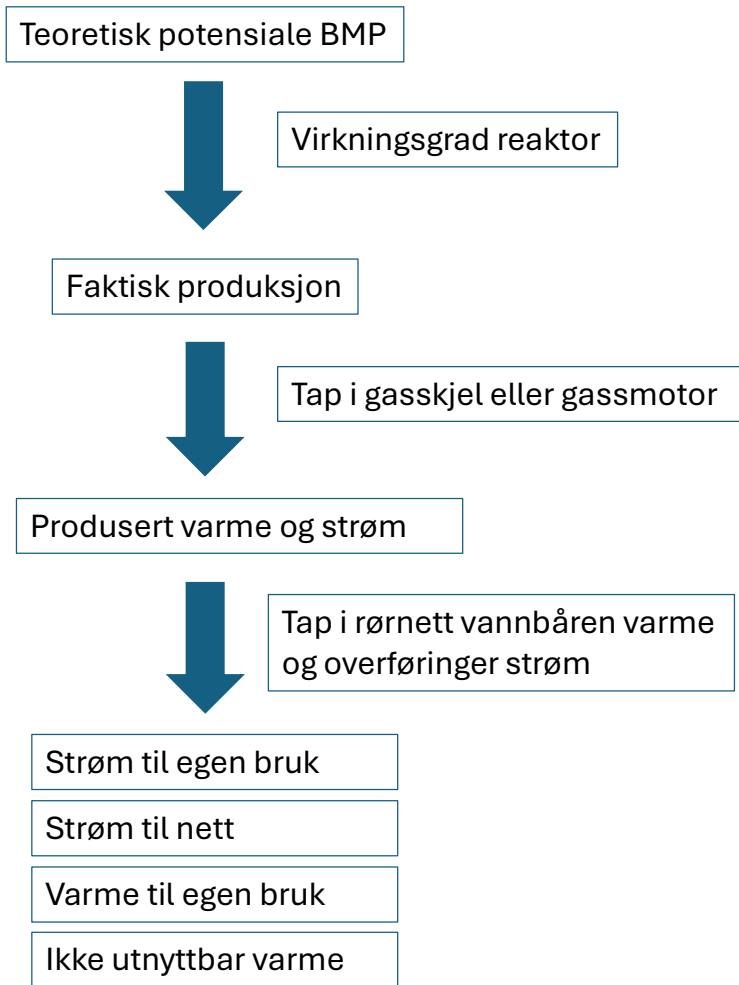
Tabellen over viser estimerte tall for produksjon av biogass. Virkningsgrad i reaktoren er avhengig av hvordan den driftes, og det er tap i alle ledd som behandler gass og varme, se figur 18. Det er viktig å påpeke at ved bruk av flere typer husdyrgjødsel eller andre substrater, forutsetter stabil og høy produksjon (høy virkningsgrad) en jevn mating av substratene uten store endringer i blandingsforholdet. Tap i gasskjel er typisk lavere enn i en gassmotor, og maksimalt uttak av varme fra gassmotor krever at man har varmegjenvinner på eksosen. Man må så regne inn tap ved overføring av varme spesielt mellom bygg og dersom avstandene er store. Etter å ha gjort disse vurderingene har man et grunnlag for varme som kan utnyttes. Ut fra det må man igjen gjøre en vurdering på hvor mye man greier å utnytte av strøm til egen bruk og hvor mye man må selge på nett, hvor mye varme man får utnyttet og hvor mye varme som ikke utnyttes. Det bør også gjøres en vurdering på i hvilken grad etablering av egen strømproduksjon kan gi kostnadsbesparelser ved lavere effektuttak fra nettet.

Det er flere inntekter, både nåværende og mulige, forbundet med etablering av et gårdsbiogassanlegg. Tilskudd for å levere husdyrgjødsel til biogassanlegg - [Tilskudd for å levere husdyrgjødsel til biogassanlegg - Landbruksdirektoratet](#) er gjort permanent. Tilskuddet utbetales etterskuddsvis årlig ut fra den mengde gjødsel man har behandlet i anlegget året før.

Gjødselvirkning av biorest er foreløpig lite dokumentert. I biogassprosessen blir en del av nitrogenet mineralisert til NH_4^+ , dvs. mer av nitrogenet vil foreligge som plantetilgjengelig i bioresten sammenlignet med ubehandlet gjødsel.. Behandler man egen gjødsel skal man likevel være forsiktig med å regne inn en betydelig besparelse av mineralgjødsel. Man bør vurdere hvordan man skal ta vare på nitrogenet, og gjødselvirkning opp mot infrastruktur for lagring og spredning av gjødsel, siden nitrogenet foreligger i en mer flyktig form. Dersom man tilsetter andre substrat som har innhold av næringsstoffer kan dette gi et bidrag til økt innhold av næringsstoffer i bioresten. Før man regner inn antatt redusert bruk av mineralgjødsel, bør imidlertid mer detaljerte betraktninger ligge til grunn, blant annet på hvor tilgjengelig disse næringsstoffene vil være for plantene.

Flere aktører ser på muligheten for å utnytte CO_2 fra forbrenning av biogass som innsatsfaktor i drivhusproduksjon av planter. Dette er gjort i større skala, for eksempel ved Den Magiske Fabrikken i Tønsberg hvor de produserer tomater.

Disse betraktningene utgjør til sammen grunnlaget for en lønnsomhetsbetraktning som skal legges inn i søknad om investeringsstøtte til Innovasjon Norge. Tilskudd fra programmet Fornybar energi i landbruket krever bedriftsøkonomisk lønnsomhet. Innovasjon Norges sitt krav til lønnsomhet er at internrenten uten tilskudd bør være 4%. «Internrente er diskonteringsrenten (avkastningskravet) som gir en netto nåverdi lik null i en kontantstrømanalyse. Internrente er derfor et mål på hvor stort et avkastningskrav kan eller må være for at en investering skal være lønnsom» ([internrente – Store norske leksikon \(snl.no\)](#))



Figur 18. Virkningsgrad og tap fra teoretisk beregnet biogasspotensial frem til utnyttet strøm og varme i et gårdsbiogassanlegg.

7. Hva bør undersøkes når en planlegger å bygge biogassanlegg?

Nedenfor følger en oppsummering i stikkordsform, av hva en må gjøre dersom en planlegger å bygge biogassanlegg, basert på husdyrgjødsel. Det vises også til egen NORSØK-rapport [31] som kommer ut i 2024 samt biogassveileder fra 2017/2018 [1]

1. Vurdere produksjon – mengde husdyrgjødsel totalt i året og fordeling av mengde gjennom året (pr måned)
2. Vurdere eksisterende teknisk utstyr og/eller rutiner som påvirker vanninnhold i gjødsla – for eksempel type melkerobot og hvor hyppig den vaskes og vaskerutiner.
3. Vurdere gjødsellogistikken. Oppholdstid for gjødsla i kjeller, tverrkanal, pumpekum. Hvor kommer mesteparten av vaskevannet?
4. Vurdere gjødselsystemer for lagring av gjødsla, samt andre forhold som påvirker husdyrgjødsel som blant annet vannbruk for pumping/flyterenner, ferskhet av gjødsla, logistikk, røring/blanding og uttak av gjødsla til reaktor
5. Vurdere metanpotensialet i gjødsla - prøvetaking og tungmetallinnhold som omtalt i denne rapporten.
6. Ved bruk av husdyrgjødsel fra andre gardsbruk og andre substrater bør det skrives avtaler om mottak av gjødsla og levering av biogjødsel.
7. Vurdere type reaktor og virkningsgrad/nedbrytningsgrad for denne/disse, grad av varmegjenvinning for substrat som går ut av reaktor og varmegjenvinning fra eksosgassen fra motoren til generatoren.
8. Vurdere oppvarmingsbehovet til substratet
9. Kartlegge eget varme- og strømbehov til bygninger og anlegg.
10. Kartlegge varmetap i overføring av vannbåren varme. Strømnett-tilkobling og eventuelle nødvendige oppgraderinger.
11. Innhente tilbud på investeringene, samt avklaring for oppfølging fra leverandør i bygge- og monteringsarbeidet, garanti for leveranse (kvalitet og tid) og tilgjengelighet for oppfølging. Avklare innhold og detaljgrad i driftsmanual og nødvendige dokumenter for offentlige krav. Avklare eventuell garanti for produksjon. Avklare løsning for lager for biorest og tak på biorestlager.
12. Estimere driftskostnader og omfang av eget arbeid for drift og vedlikehold
13. Send inn søknad til Innovasjon Norge/Bionova om investeringsstøtte og søknad om støtte fra Landbruksdirektoratet (etterskuddsvis).
14. Dersom man planlegger å ta inn substrater utenfra bør man foreta en tungmetallanalyse av substratet for å forsikre seg om at tungmetallinnholdet i bioresten eller i jord ikke medfører spreddebegrensninger. Dersom man har egen gjødsla som kan inneholde betydelige mengder tungmetaller bør disse også analyseres.

Referanser

- [1] J. Morken, T. Briseid, Hovland, Jon, Lyng, Kari-Anne, and Kvande, Ingvar, 'Veileder for biogassanlegg - mulighetsstudie, planlegging og drift. - Revidert utgave', NMBU, Realtek Rapport 56, 2018 2017.
- [2] K.-A. Lyng and Berntsen, Ina Charlotte, 'Mulighetsrommet for produksjon av biogass i Norge - Potensialstudie av aktuelle råstoff, nye teknologier og klimanytte', NORSUS-rapport OR 06.23, 2023. [Online]. Available: <https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/avfall-norge-no/dokumenter/Mulighetsrommet-for-produksjon-av-biogass-i-Norge-NORSUS.pdf>
- [3] H. Riley, M. Åssveen, R. Eltun, and J. Todnem, 'Halm som biobrensel. Tilgjengelige halmmengder, halmbehov til dyrefôr og strø/talle, samt konsekvenser av halmfjerning for jordas bæreevne og kvalitet', *Bioforsk Rapp.*, 2012.
- [4] A. Schnurer and A. Jarvis, 'Microbiological handbook for biogas plants', *Swed. Waste Manag. U*, vol. 2009, pp. 1–74, 2010.
- [5] S. H. Ghaffar and M. Fan, 'Structural analysis for lignin characteristics in biomass straw', *Biomass Bioenergy*, vol. 57, pp. 264–279, 2013.
- [6] K. Fjørtoft, J. Morken, J. F. Hanssen, and T. Briseid, 'Pre-treatment methods for straw for farm-scale biogas plants', *Biomass Bioenergy*, vol. 124, pp. 88–94, 2019.
- [7] V. Vivekanand, E. F. Olsen, V. G. H. Eijsink, and S. J. Horn, 'Effect of different steam explosion conditions on methane potential and enzymatic saccharification of birch', *Bioresour. Technol.*, vol. 127, pp. 343–349, Jan. 2013, doi: 10.1016/j.biortech.2012.09.118.
- [8] H. B. Møller, 'Brug af halm i biogasanlæg', 2022.
- [9] A. Meyer, E. Ehimen, and J. Holm-Nielsen, 'Future European biogas: Animal manure, straw and grass potentials for a sustainable European biogas production', *Biomass Bioenergy*, vol. 111, pp. 154–164, 2018.
- [10] C. Romio, M. V. W. Kofoed, and H. B. Møller, 'Exploring increased hydraulic retention time as a cost-efficient way of valorizing residual biogas potential', *Bioresour. Technol.*, vol. 387, p. 129646, 2023.
- [11] J. D. Browne, S. R. Gilkinson, and J. P. Frost, 'The effects of storage time and temperature on biogas production from dairy cow slurry', *Biosyst. Eng.*, vol. 129, pp. 48–56, Jan. 2015, doi: 10.1016/j.biosystemseng.2014.09.008.
- [12] M. Ebbesvik, I. Kvande, L. Rodhe, J. Morken, P. Dörsch, and S. Hansen, 'Klimagassutslipp fra utendørs lager for bløtgjødsel fra storfe', NORSØK-rapport Voum 6, nr.9, 2021. [Online]. Available: <https://orgprints.org/id/eprint/39786/1/Klimagassutslipp%20fra%20utend%20lager%20for%20bl%20C3%B8tgj%20C3%B8dsel.pdf>
- [13] J. E. Hilgert *et al.*, 'Assessment of the biochemical methane potential of in-house and outdoor stored pig and dairy cow manure by evaluating chemical composition and storage conditions', *Waste Manag.*, vol. 168, pp. 14–24, 2023, doi: <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2023.05.031>.
- [14] D. D. Deublein and A. Steinhauser, 'Biogas from Waste and Renewable Resources', 2008. [Online]. Available: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:132862446>
- [15] Y. Chen, J. J. Cheng, and K. S. Creamer, 'Inhibition of anaerobic digestion process: a review', *Bioresour. Technol.*, vol. 99, no. 10, pp. 4044–4064, 2008.
- [16] L. Solli, O. Bergersen, R. Sørheim, and T. Briseid, 'Effects of a gradually increased load of fish waste silage in co-digestion with cow manure on methane production', *Waste Manag.*, vol. 34, no. 8, pp. 1553–1559, 2014.
- [17] P. Weiland, 'Biogas production: current state and perspectives', *Appl. Microbiol. Biotechnol.*, vol. 85, no. 4, pp. 849–860, 2010.
- [18] Mattilsynet, 'Veileder: Biogassanlegg. Om de viktigste reglene som gjelder biogassanlegg som omdanner animalske biprodukter', 2020. [Online]. Available: https://mattilsynet-xp7prod.enonic.cloud/api/_/attachment/inline/490dd69e-a9f7-4137-8b50-4bd94965f813:d911c80e47d6a4c7a4c70b01593a33df97eeb3d3/Veileder%20for%20biogassanlegg.pdf
- [19] 'Gjødselvereforskriften'. Sist endret 10 2023. [Online]. Available: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2003-07-04-951/>
- [20] M. Carlsson and M. Uldal, 'Substrate handbook for biogas production [Substrathandbok för biogasproduktion]', *Rep. No SGC*, vol. 200, 2009.
- [21] B. Abubakar and N. Ismail, 'Anaerobic digestion of cow dung for biogas production', *ARPN J. Eng. Appl. Sci.*, vol. 7, no. 2, pp. 169–172, 2012.
- [22] L. K. Grimsby, K. Fjørtoft, and J. B. Aune, 'Nitrogen mineralization and energy from anaerobic digestion of jatropha press cake', *Energy Sustain. Dev.*, vol. 17, no. 1, pp. 35–39, 2013.
- [23] S. Petersen, A.-M. Lind, and S. Sommer, 'Nitrogen and organic matter losses during storage of cattle and pig manure', *J. Agric. Sci.*, vol. 130, no. 1, pp. 69–79, 1998.
- [24] I. Kvande and I. Hoemsnes, 'Drift av biogassanlegg - erfaringer fra gårdsanlegget til RIBI Bioenergi', NORSØK faginfo Nr 2, Vol 8.
- [25] K. Fjørtoft, J. Morken, and M. Gjetmundsen, 'Dokumentasjon av biogassanlegget på Tomb VGS', NMUB, IMT 55, 2014.
- [26] C. Herrmann, J. Hilgert, S. Theuerl, and B. Amon, 'Biogas aus Gülle Gaserträge in Abhängigkeit von Wirtschaftsdünger management und lagerung', Druck- und Verlagshaus Zarbock GmbH & Co.KG, 8. FNR/KTBL-Kongress Biogas in der Landwirtschaft - Stand und Perspektiven 978-3-945088-99-9, 2023.

- [27] K. Jeppsson, 'Volatilization of ammonia in deep-litter systems with different bedding materials for young cattle', *J. Agric. Eng. Res.*, vol. 73, no. 1, pp. 49–57, 1999.
- [28] R. Gebauer, J. F. Cabell, and O. Ween, 'Biogassproduksjon fra settefiskslam i sentraliserte og desentraliserte biogassanlegg', 2016.
- [29] M. Lili, G. Biró, E. Sulyok, M. Petis, J. Borbély, and J. Tamás, 'Novel approach on the basis of FOS/TAC method', *Analele Univ. li Din Oradea Fasc. Protecția Mediu.*, vol. 17, pp. 713–718, 2011.
- [30] K. Daugstad, A. Kristoffersen, and L. Nesheim, 'Næringsinnhold i husdyrgjødsel Analyser av husdyrgjødsel frå storfe, sau, svin og fjørfe 2006-2011.', Vol 7, nr 24, 2012. [Online]. Available: <https://nibio.brage.unit.no/nibio-xmlui/bitstream/handle/11250/2447504/Bioforsk-Rapport-2012-07-24.pdf>
- [31] Kvande, Ingvar, 'Steg for steg - biogass Gangen i realisering av et biogassprosjekt – regelverk, offentlige instanser og nødvendig dokumentasjon', Publiseres 2024.

Vedlegg

Vedlegg 1 - Material og metoder, analyser gjødsel og substrater

Vedlegg 2 - Prøvesteder Trøndelag

Vedlegg 3 - Prøvesteder Viken

Vedlegg 4 - Prøvetakingskjema gjødsel

Vedlegg 1 Material og metoder, analyser gjødsel og substrater

PH, TS og VS ble bestemt med bruk av standard metoder. TS ble bestemt ved tørking av prøve på 105 °C / 24 timer. VS ble bestemt ved forbrenning av prøven på 550 °C / 15 timer. Differensen mellom tørrstoffinnhold og askeandel utgjør organisk tørrstoff, VS. COD ble bestemt ved tilsetning av sterk oksidant og målt spektrofotometrisk. Sammenlignet med VS-bestemmelse er innhold COD for en del fraksjoner en mer korrekt bestemmelse av organisk innhold. Innhold av VS er definert som balansen mellom innhold av TS og innhold av aske (mineraler), og bestemmes vanligvis som forskjellen i prøvens vekt etter tørking ved 105 °C og påfølgende gløding ved 550 °C. Metoden antar at ingen fordamping av organisk materiale ved 105 °C skjer, noe som ikke er tilfelle for mange flyktige stoffer. For substrater med høyt innhold av fett vil derfor COD-bestemmelse være et mer korrekt mål for innhold av organisk materiale enn VS-bestemmelse. Forholdet COD / VS er for de fleste fraksjoner mellom 1/1 og 3/1 (kg/kg), og andel COD/VS øker med fraksjonens mengde flyktige forbindelser (for eksempel fettsyrer). COD ble i dette forsøket bestemt ved at prøvene ble inkubert i forseglede rør med et oksideringsmiddel, varmet ved 250 °C / 2 timer før måling av innhold COD ble gjort med spektrofotometrisk metode (COD Cell Test, Merck, Spectroquant).

VFA ble analyser med autotitrering av svovelsyre for å bestemme fos (organiske syrer, acetat) og tac (bufferkapasitet, calcium karbonat), og forholdet mellom dem; fos/tac.

VFA ble separert og kvantifisert med bruk av væskechromatografi (High Pressure Liquid Chromatography, HPLC). Prøveoppbeiding innebefattet sentrifugering og tilsetning av svovelsyre (H₂SO₄) for å stabilisere pH. HPLC ble driftet med standardkalibrering for fettsyrene format, laktat, acetat, propionat, butyrat, iso-butytrat, valerin, og iso-valerin. HPLC'en har en driftstemperatur på 60 °C, isokratisk kolonne (dionex xx), og UV lys til deteksjon av syrer (specs for hplc'n).

NH₄⁺-N ble analysert ved tilsetning av reagensen, og målt spektrofotometrisk, i prøvenes væskefase (NH₄⁺-N Cell Test, Merck, Spectroquant).

10 prøver (3 svin- og 7 storfegjødsel) ble sendt til Eurofins for analyse av innhold tungmetaller (Arsen As, bly Pb, kadmium Cd, kobber Cu, krom Cr, kvikksølv Hg, nikkel Ni og zink Zn).

BMP ble beregnet basert på innhold VS og COD i prøvene. Faktiske målte verdier for BMP i tilsvarende prøver ble lagt til grunn for utregningene i dette prosjektet.

Vedlegg 2 Prøvesteder Trøndelag

Prøvested 1

Melkeproduksjon. Det produseres grovfôr på det dyrka arealet. Total gjødselmengde ca. 4000 tonn pr. år. Gjødsel lagres i gjødselkjellere. Bygd nytt fjøs i 2023. De laval-robot.

Dagens drift og produksjon på eiendommen:

Produksjon i dag:

Antall dyr pr år:

Mjølkeku: 60 Mjølkevote: 470 tonn

Annet storfe/ungdyr: 140

Dyrka areal: 590 dekar

Prøvetaking av gjødsel:

Gjødselprøve ble tatt fra løsdrift melkekufjøs fra liten kjeller/utvendig pumpekum etter omrøring. Pumpes over til gjødsellager hver 5.uke. Alt av vann som brukes i fjøset går ned i kjelleren. Direkteprøve ble også tatt ut.

Bilde av prøvested:



Bilde 1. Pumpekum

Prøvested 2

Dagens drift og produksjon på eiendommen: Produksjoner for ammeku, gris og melkeku. Gjødselkjeller under ammekufjøset hvor gjødsel fra svin også blandes inn. Det dyrkes gras og korn på det dyrka arealet.

Produksjon i dag:

Antall dyr pr år:

Mjølkeku: 53 Mjølkekvote: 400 tonn

Ammeku: 32

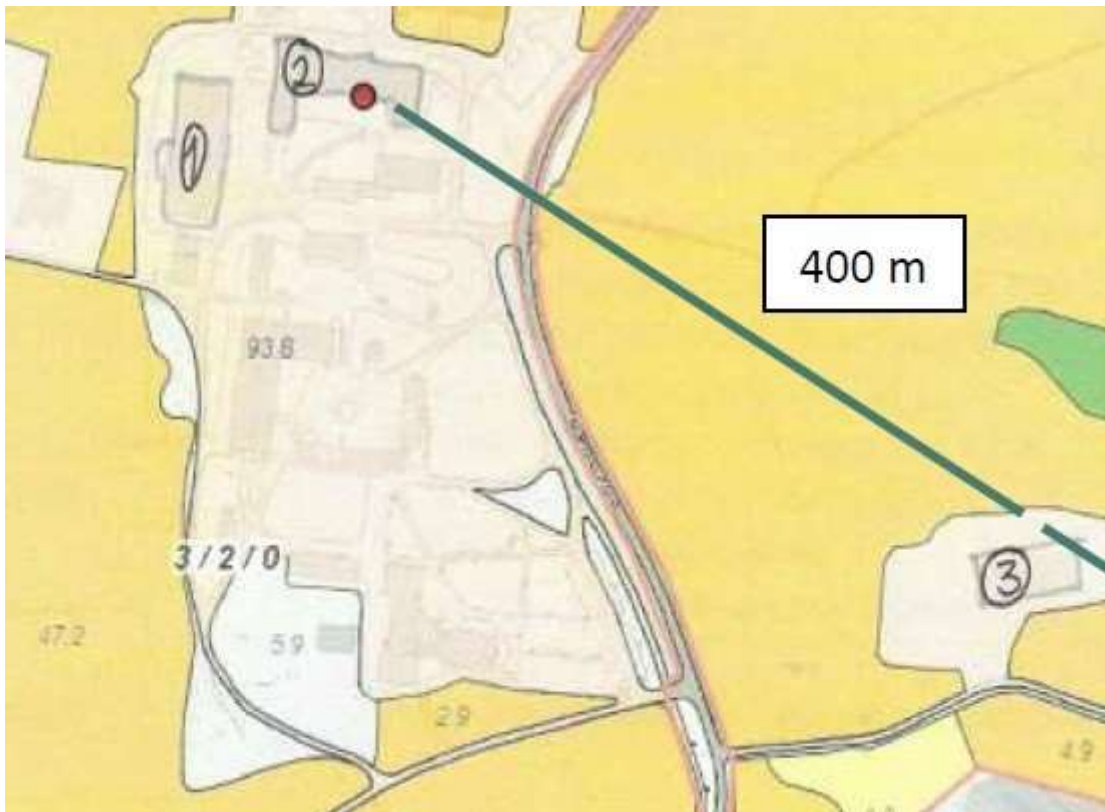
Annet storfe/ungdyr: 77

Dyrka areal: 1050 dekar

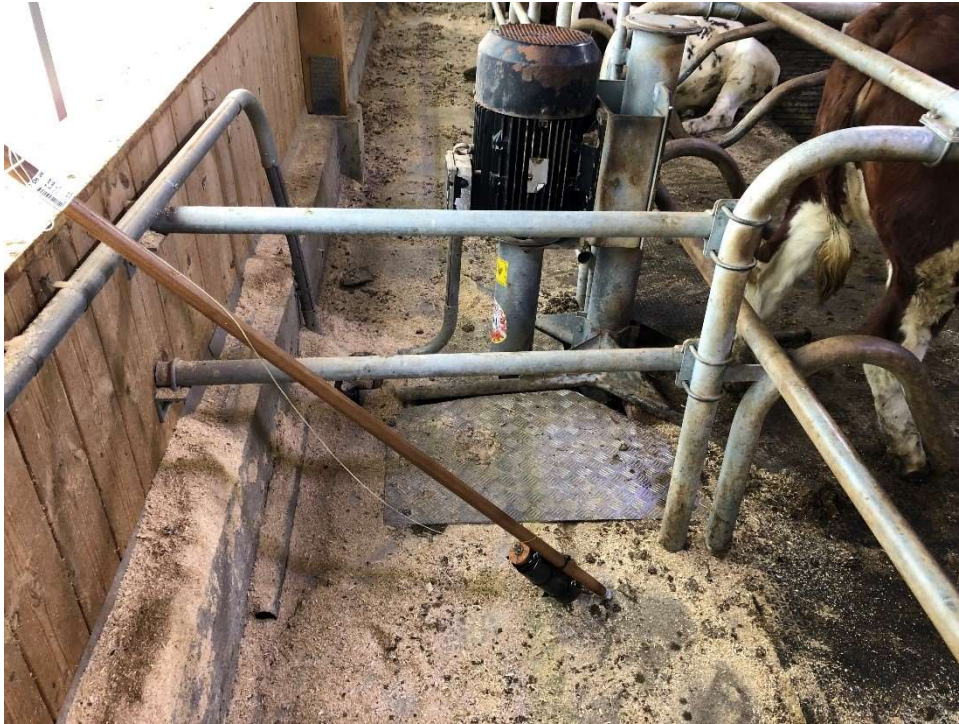
Prøvetaking av gjødsel:

Gjødselprøver for storfe ble tatt ut i ammekufjøset etter omrøring og i melkekufjøset i kanal. Gjødsel i melkekufjøset ledes til innvendig pumpekum med begrenset volum som igjen tømmes til utendørs lager (felles lager alle produksjoner). Direkteprøver på spalt ble også tatt ut i melkekufjøset.

Bilde av gårdens anlegg og prøvested:



Bilde 1: Svinefjøs (1), Ammekufjøset (2) og melkekufjøset (3)



Bilde 2 Pumpekum innvendig melkefjøs

Prøvested 3

Dagens drift og produksjon på eiendommen: Produksjoner for ammeku og melkeku. Tilstøtende fjøs med egne gjødselkjellere. Melkeku fjøs med robot. Total gjødselmengde ca. 3200 tonn/år. Det produseres grovfôr på det dyrka arealet.

Produksjon i dag:

Antall dyr pr år:

Mjølkeku: 60 Mjølkekvote: 450 tonn

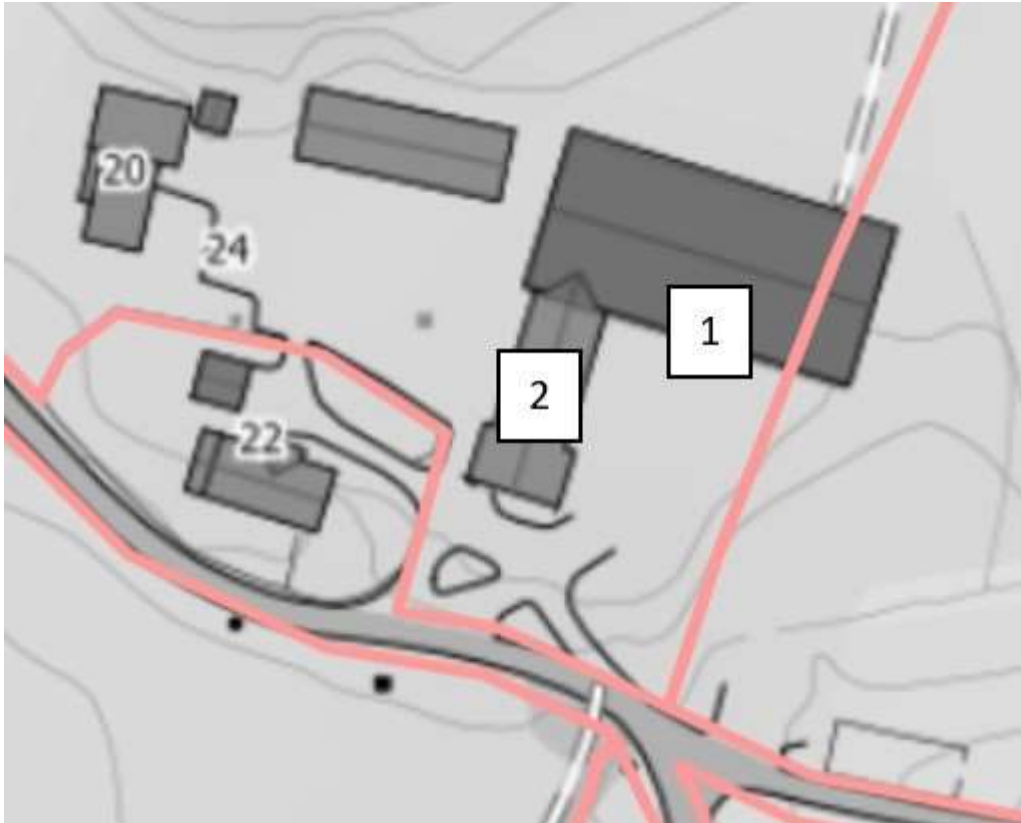
Ammeku: 15

Jordbruksareal: 980 dekar, inkludert innmarksbeite

Prøvetaking av gjødsel:

Gjødselprøver ble tatt av omrørt gjødsel (ammeku og melkeku) lagret over vinteren (i april) og omrørt gjødsel (ammeku og melkeku) en måned etter den første prøven.

Bilde av gårdens anlegg og prøvested:



Bilde 1. Melkekufjøs (1) og Ammekufjøs (2).



Bilde 2. Gjødselkjeller og propellomrører. Gjødsel er tatt ut av omrørt kjeller.

Prøvested 4

Dagens drift og produksjon på eiendommen: Produksjoner for smågris og sau. Begge fjøsene har gjødselkjellere. Det produseres grovfôr på det dyrka arealet. Gjødselmengde gris 3000 tonn/år.

Produksjon i dag:

Antall dyr pr år:

Smågris: 1 konsesjon

Purker: 105

Vinterføra sau: 140

Jordbruksareal: 322 dekar, inklusive innmarksbeiter

Prøvetaking av gjødsel:

Gjødselprøver ble tatt fra spalt i smågrisavdeling og i purkeavdeling.

Bilde av gårdens anlegg og prøvested:



Bilde 1: Grisefjøs og uttak gjødsel gris (1,2,3). Sauenfjøs og kummer uttak gjødsel (4 og 5)



Bilde 2. Uttakskum grisegjødsel

Prøvested 5

Dagens drift og produksjon på eiendommen:

Produksjon på gården er melkeproduksjon og ammeku. Det produseres grovfôr på det dyrka arealet. Total gjødselmengde fra storfe er på 7 000 tonn. Det er etablert anlegg som produserer biogass på storfegjødsel. Gassen brukes til å dekke strøm- og varmebehov. I tilknytning til drifta er det en lagerkapasitet for utvendig lagring på til sammen 7250 m³.

Produksjon i dag:

Antall dyr pr år:

Mjølkeku: 90 Mjølkevot: 700 tonn

Ammeku: 40

Annet storfe/ungdyr: 220

Dyrka areal: 1359 dekar

Prøvetaking av husdyrgjødsel

Prøve for ammeku er tatt fra systemet for kanalomrøring. Prøve for melkeku er tatt fra dagkumme (30 m³) for gjødsel, omrørt før prøvetaking.

Prøvested 6

Dagens drift og produksjon på eiendommen:

Produksjon på gården er storfekjøttproduksjon basert på ammeku og innkjøpte oksekalver, og eggproduksjon, i tillegg planteproduksjon og skog. I dag lagres gjødsla i gjødselkjeller under storfefjøset - 2000 m³, og i tre utvendige gjødselkummer på 4000 m³ og 2 700 m³ og 4000 m³.

Gjødsla fra storfefjøs med gjødselkjeller fraktes til kum i tilknytning til nyfjøset.

Anlegg og teknisk utstyr for forbehandling av gjødsla, produksjon av biogass, produksjon av vannbåren varme og elektrisk kraft og etterbehandling av bioresten (nedkjøling av bioresten før den går til sluttlager) er under bygging. Planlagt oppstart er på ettersommeren 2024.

Produksjon i dag:

Antall dyr pr år:

Ammeku: 50 (under oppbygging)

Annet storfe/ungdyr: 470

Høner: 7500 høner

Dyrka areal: 1070

Prøvetaking av gjødsel:

Tatt prøver fra omrørt gjødsel fra gjødselkjeller ammekufjøs, fra gjødselskrue hønsehus og fra utvendig kum i tilknytning til det nye ammekufjøset.

Bilde av gårdens anlegg og prøvested:



Bilde 1. 1.Storfefjøs, ammeku, 2. Hønsefjøs, 7. Nytt fjøs, 8.plassering biogassanlegg



Bilde 2. Uttak gjødsel gjødselprøve

Prøvested 7

Dagens drift og produksjon på eiendommen:

Jordbruksproduksjonen foregår i samdrift. Produksjon på gården er melkeproduksjon, ammeku og eggproduksjon. Produksjonene foregår på to forskjellige gårder. Det dyrkes gras og korn på det dyrka arealet. All produksjon er økologisk. Total gjødselmengde fra storfe er på 7 000 tonn. Det er etablert anlegg som produserer biogass på storfegjødsel. Gassen brukes til å dekke strøm- og varmebehov.

I dag lagres gjødsla delvis under gjødselkjeller under husdyrrommene. Etter oppsetting av biogassanlegg blir gjødsla lagret i utendørs kum i form av biorest.

Samdrifta leier et areal hvor det foregår konsumeggproduksjon, og gjødsla derfra går på jordet. I den forbindelse er det også tatt ut prøve fra denne gjødsla.

Produksjon i dag:

Antall dyr pr år:

Mjølkeku: 100 Mjølkekvote: 820 tonn

Ammeku: ca.50 mordyr

Jordbruksareal: 3600 dekar, inklusive innmarksbeiter

Prøvetaking av gjødsel:

Gjødselprøver ble tatt fra omrørt gjødsel i gjødselkjeller melkeku og fra gjødselkjeller verpehøns.

Storfegjødsel fra melkeku og ungdyr er fordelt på to kjellere:

Bilde av gårdens anlegg og prøvested:



Bilde 1. Gjødelskjeller melkeku. Traktor med propellomrører rører om før prøvetaking.



Bilde 2. Omrørt gjødsel



Bilde 3. Biogasreaktoren med teknikkhus til venstre og avkjølingskum til høyre



Bilde 5. Biogassanlegget. Reaktor oppe ved fjøset, teknikkonteiner med gassmotor til venstre for gjødsellager og gasslager nedenfor gjødsellager.

Vedlegg 3 Prøvesteder Viken

Prøvested 1

Dagens drift og produksjon på eiendommen:

Produksjon på gården er mjølkeproduksjon på 100 årskyr (to roboter), 130 ungdyr av storfe, 1200 slaktegris, gras- og kornproduksjon. Total gjødselmengde fra storfe og gris er på 7000 tonn. I tillegg er det gjort avtale med nabo om mottak av slaktekylling-gjødsel. I dag lagres gjødsla i gjødselkjeller under husdyrrommene, samt to utvendige lager på 2400 m³ og 2500 m³. Det er bygd biogassanlegg som produserer biogass på storfe-, svine- og fjørfegjødsel for å dekke mest mulig av varmebehovet og erstatte innkjøpt elektrisk kraft.

Prøvetaking av husdyrgjødsel og biorest:

Det er tatt ut prøver fra inntakskum, fra reaktor og fra returkummen for biorest, samt direkteprøver av storfe. I inntakskummen blandes storfe-, gris- og slaktekylling-gjødsel. Prøver tatt i denne kummen er fra en blanding av kun storfe- og grisegjødsel.

Bildet viser blande-/pumpekum til reaktor ca 60 m³. Ved siden av til høyre ligger returkummen for biorest også på 70 m³.



Det er tatt prøver av godt omrørt gjødsel fra forskjellig dybde i kummen og blandet godt før overføring til prøveflasken. Det samme er gjort fra returkummen for biorest. Det er også tatt prøver fra reaktoren (tappekran på siden av reaktoren) og ferskprøver av melkeku- og svinegjødsel inne i fjøset.



Bildet viser biogassanlegget med reaktor (1) på 630 m³, etterråtningsstank (2) 150 m³ (2) og to teknikkontainere (3), med pumper, styring, gasskjele, motor og generator og varmeveksler på taket.

Prøvested 2

Dagens drift og produksjon på eiendommen:

Mjølkeku: ca 95 stk, Mjølkekvote: 870 tonn

Mjølkestall 2x10– overgang til 2 mjølkeroboter i 2023.

Ammeku: 15 stk Annet storfe/ungdyr: 370 stk

Slaktekylling: 140000 stk pr år

Gras, kornproduksjon

Gjødsel m³/tonn pr år, storfe: ca 7000 m³, Storfetalle: 1000 m³, kyllinggjødsel 240 tonn

Gjødsellager. Tverrkanal under husdyrrom m³/tonn: 300 m³ Under Oksefjøs, kjeller: 800 m³

Eldre frittstående runde gjødsellager – 2300 m³ og 1000 m³

Nytt 2700 m³, betong - Nytt 1050 m³, stål

Bilde av tverrkanal i kufjøs



Det er tatt prøver i tverrkanal i kufjøs. Gjødsla føres med gjødselskraper til tverrkanal. Det er begrenset omrøring i tverrkanal. Det er tatt ut flere prøver fra ulike dybder og blandet før påfylling av prøveflaske.

Bilde av biogassanlegget



1-biogassreaktor, 2-gasslager, 3-teknikkcontainer inneholdende med pumper, styring, motor og generator for elproduksjon, fyrkjel for ved og gass, akkumulatortank, pumper og ventiler for fordeling av varme, varmeveksler og fakkell (utvendig container), 4-kjølekum for biorest/pumpekum til hovedlager, 5- hovedpumpe, elsentral, 6-kufjøs, 7- blandekum/innpumpingskum, 8-teknikk-/overvåkningshus for reaktor.

Prøver er tatt i 7-kufjøs (storfegjødsel ku fra tverrkanal og ferskprøver ku), biorest fra utløp fra 1-

reaktor til 4 kjølekum. I er det tatt prøver fra hovedlager/biorest godt omrørt, og av talle fra tallelager og slaktekyllinggjødsel inne i kyllinghuset.

Prøvested 3

Dagens drift og produksjon på eiendommen:

Mjølkeku: 50 årskyr stk Mjølkekvote i tonn: 500 Mjølkerobot
Annet storfe/ungdyr:120-130 stk
Avlsgris: 52 stk pr år Slaktegris: 1500 stk pr år
Areal gras 500 dekar, kornproduksjon 450dekar
Gjødsel m³/tonn pr år, storfe: ca 3500, grisejødsel 2000
Prøvested for uttak av ku og grisejødsel: ved utpumping fra gjødselrenne.
Frittstående runde gjødsellager i m³ :1890, 2500 og 2400m

Prøvetaking av husdyrgjødsel:

Prøver er tatt ut fra gjødselrenner i grise- og kufjøs ved utpumping. Antall prøver og dato

Bilder av biogassanlegget:



1-biogassreaktor, 2-teknikkcontainer med gjødselpumper, styring, fyrkjel for gass, pumper og ventiler for fordeling av varme, og fakkell (utvendig container), 3-biorestlager, 4-for-/blandekum, 5-lager for matensilasje (ikke i bruk).

Prøvested 4

Dagens drift og produksjon på eiendommen:

Produksjonen er mjølkeproduksjon (robot) og oppdrett av slaktedyr. Det dyrkes gras og korn på det dyrka arealet. Areal 1150 daa herav leid 480 daa, og arealet brukes til grovfor- og kornproduksjon. All produksjon er økologisk.

I dag lagres gjødsla i delvis under gjødselkjeller under husdyrrommene og i to utvendige gjødsellager.

Produksjon i dag:

Antall dyr pr år:

Mjølkeku: 55 Mjølkevot: 450 tonn

Annet storfe/ungdyr: 120

Antall m³ gjødsel pr år: Storfe: 3000 m³ Gris: 120 m³

Dyrka areal: 1150 dekar

Prøvetaking av husdyrgjødsel

Prøver er tatt ut fra pumpekum utvendig mellom kufjøs og utvendig gjødselkum. Det er også tatt direkteprøver fra kufjøset. Antall prøver og dato: 3 prøver mai ? 2022 og 3 prøver 23.01.23.

Bilde av gårdens anlegg og prøvested



Det er tatt prøver fra 1-pumpekum fra kufjøs gjødselkjeller til utvendig gjødsellager. Det er tatt direkteprøver i 2- kufjøs. 2-kufjøset har utvendig foringsplass og gjødsla herfra går også via 1-pumpekum. 3 ammekufjøs og 4 utvendig gjødsellager.

Prøvested 5

Dagens drift og produksjon på eiendommen:

Produksjon på gården er mjølkeproduksjon på ca. 60 årskyr med I dag lagres gjødsla i utvendig gjødselkum, overføring av gjødsla fra fjøs skjer med sjølfall fra en samlelum ved fjøset, avstand ca. 25 m. Under husdyrrommene er det flyterenner som fører til samlelummen. Flyterennene omrøres 2 ganger i døgnet med propell (11 KW) som sitter i veggen inn til fjøset/flyterennene. All produksjon er økologisk

Produksjon i dag:

Antall dyr pr år:

Mjølkeku: 60

Annet storfe/ungdyr: 145

Antall m³ gjødsel pr år: 4000 (storfegjødsel)

Prøvetaking av husdyrgjødsel og bilde av prøvested

Prøver er tatt ut fra 1-innvendig tvangsrørt gjødselrenne. Det er tatt ut tre prøver – 01.11.23 – 01.12.23 og 23.01.23.

**Prøvested 6****Dagens drift og produksjon på eiendommen:**

Produksjon på gården er mjølkeproduksjon på ca. 65 årskyr med 1 dag lagres gjødsla i utvendig gjødselkumner, Under husdyrrommene er det flyterenner som fører til pumpekum for pumping til utvendig gjødsellager. Flyterennene omrøres 2 ganger i døgnet. I tillegg til grasproduksjon produseres det korn og grønn saker. Gården har eget ysteri og myse fra ysteriet er planlagt blandet inn i gjødsla. All produksjon er økologisk

Produksjon

Antall dyr pr år:

Mjølkeku: 65

Mjølkekvote: 540 000 l

Annet storfe/ungdyr: 105

Myse: 90 tonn (ved full produksjon fra eget meieri)

Antall m³/tonn gjødsel pr år: 5000

Talle: 50-100 tonn

Antall dekar dyrka jord: 1570 daa, herav leid 1000 daa

Grovfor: 600

Korn: 720 daa

Grønnsaker: 250

Gjødsellager 3 utvendige kummer i m³: 700, 1800, 2500

Prøvetaking av husdyrgjødsel og bilde av prøvested

Prøver er tatt ut fra 2-innvendig gjødselrenne, kan foreta tilbakespyling. Det er tatt ut fire prøver – 01.10.22 – 01.12.22. En av prøvene fra 01.12.23 er av myse fra egen produksjon. 1- pumpehus, 2- innvendig gjødselrenne, 3-kufjøs og 4-utvendig gjødsellager.



Prøvested 7

Dagens drift og produksjon på eiendommen:

Produksjon på gården er avlsbesetning for gris med 70 avlspurker i året. Det fores fram ca. 800 avlspurker (drektige purker 9 mnd) for salg, slaktegris 250 pr år. Det brukes finkuttet halm til strø i grisehuset. Gårdens bygninger består av tre grisehus med gjødselkjeller. All gjødsel pumpes til gjødselkjeller under grisehus 1, hvor det derfra pumpes til utvendig gjødsel kum på 3500 m³ som ligger 300 m fra tunet. I tillegg dyrkes det korn på 600 dekar

Produksjon i dag:

Antall dyr pr år:

Purker i smågrisproduksjon: 70

Avlsgris (bedekte purker): 800

Slaktegris: 250

Antall m³ flytende gjødsel pr år: 3500

Antall m³ med talle pr år: 200

Kornproduksjon på 600 dekar herav leid 480 dekar.

Gjødsellager 1 utvendige kum i m³: 3500

Prøvetaking av husdyrgjødsel og bilde av prøvested (utvendig gjødsellager)

Prøver er tatt ut fra 1-utvendig gjødsellager. Det er tatt ut fire prøver – mai.22 – 23.01.23. Prøvene er tatt i godt omrørt utvendig gjødsellager, og en direkteprøve i grisehuset den 23.01.23



Bilde av 2- grisehus 1 med 3-pumpekum (til venstre i bildet)



Bilde av 2- grisehus 1 med 3-pumpekum (til venstre i bildet)

Prøvested 8

Dagens drift og produksjon eiendommen:

Produksjon på gården er mjølkeproduksjon på ca. 65 årskyr med 1 dag lagres gjødsla i utvendig gjødselkummer, Under husdyrrommet er det flyterenner som fører til pumpekum for pumping til utvendig gjødsellager. Kan kjøre tilbakespyling i flyterennene. I tillegg til gras-/grovforproduksjon produseres det korn.

Produksjon

Antall dyr pr år:

Mjølkeku: 63

Mjølkekvote: 560 000 l

Annet storfe/ungdyr: 205

Antall m³/tonn gjødsel pr år: 4500

Antall dekar dyrka jord: 1300 daa, herav leid 500 daa

Grovfor: 480

Korn: 820 daa

Gjødsellager kummer i m³: utvendig kum 4000, 1200 i gammel gjødselkjeller

Prøvetaking av husdyrgjødsel og bilde av prøvested

Prøver er tatt ut fra 1-utvendig pumpekum ved 2 - kufjøs. Det er tatt ut tre prøver



Prøvested 9

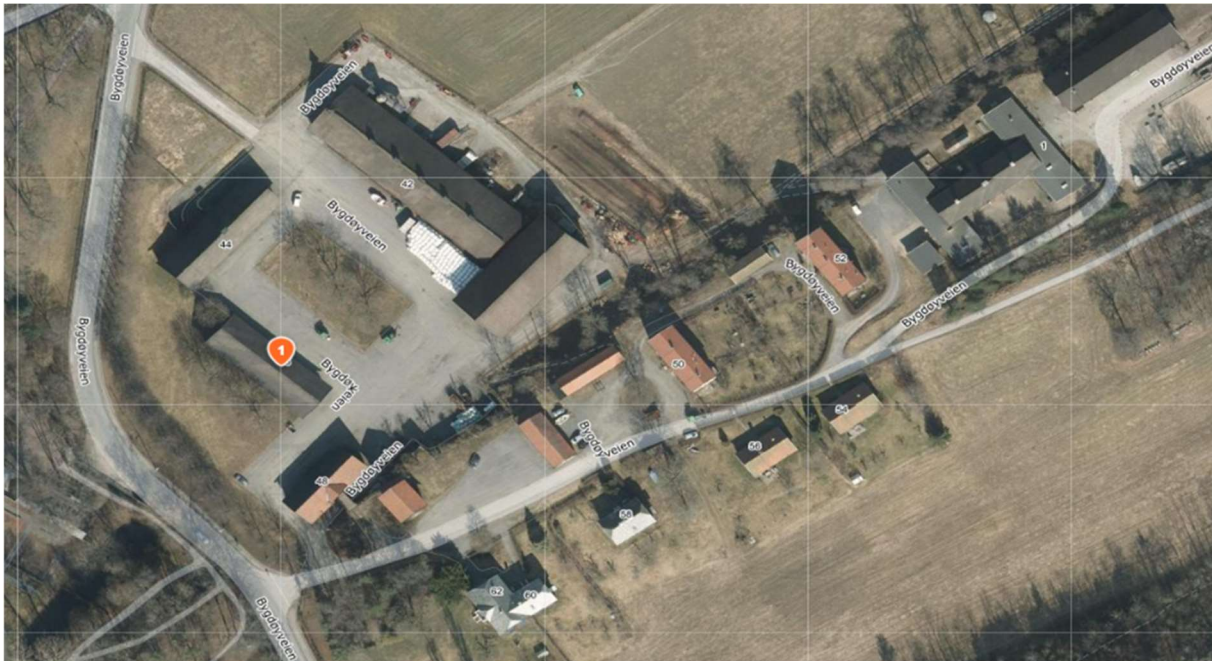
Dagens drift og produksjon eiendommen:

55 mjølkekyr, 80 ungdyr av storfe, 25 sauer og 12 hester. I tillegg gras- og kornproduksjon på 760 daa. Gjødsele kjeller under kufjøset på 4000 m³.

Produksjon

Prøvetaking av husdyrgjødsel og bilde av prøvested

1 – er kufjøs med gjødsele kjeller, pumpekum på utsiden av fjøset



1. Pumpekum utenfor kufjøset



Prøvested 10

Dagens drift og produksjon på eiendommen:

Ammeku- og slaktegris produksjon i tillegg gras- og kornproduksjon.

Voksne storfe (Ammeku): 100

Storfe ungdyr: 160

Avlsgris (Purker): 35

Slaktegris: 1200

Grasproduksjon: 565 dekar

Storfegjødsel, ammeku pr år 3000 m³

Svinegjødsel 2000 m³

Prøvetaking av husdyrgjødsel (og bilde av prøvested ikke innsendt

Grisgjødsel - prøvetaking i renna til vakumrøret - gjødsel går så fra renna til kum (renna tømmes hver 14.dag)

Storfegjødsel - gjødselskraper til tverrkanal i fjøs - prøvetaking i tverrkanal - gjødsel pumpes så til kum (samme kum som grisegjødsel)

Vedlegg 4 Prøvetakingsskjema

Bestilling av analyse av husdyrgjødsel

Kundeinformasjon.:

Navn:	
Anleggsadresse:	
Postnr/sted:	
Bostedsadresse:	
Organisasjonsnr:	
Mobil (kontaktperson):	
E-postadresse:	

Husk godt omrørt gjødsel på prøvetakingsstedet.

Prøve merkes med prøvenr, navn, hvor prøven er tatt og dyreslag og type gjødsel/substrat

Prøve nr., prøvetakingsdato	Prøvested/Dyreslag/Gjødsel-Substrat	Kommentar
Prøve 1:		
Prøve 2:		
Prøve 3:		
Prøve 4:		
Prøve 5:		

Analysen bestemmer pH, innhold tørrstoff (TS), organisk tørrstoff (VS), kjemisk oksygenforbruk (COD), metanpotensialet.

Prøven skal fryses og pakkes godt før sending i posten. Sendes på hurtigste måte som postsending. ("Norgespakke neste dag", obs på innleveringsfrist)

Prøven sendes til: NIBIO v/Linn Solli, Vollveien 5, 1431 ÅS

Kopi av skjema sendes på e-post til: Linn.Solli@nibio.no og eventuelt andre f.eks. prosjektledelse og legges ved i forsendelsen i posten.

Dato:	
-------	--

Underskrift:	
--------------	--



Norsk senter for økologisk landbruk, NORSØK er ei privat, sjølvstendig stifting.

Stiftinga er eit nasjonalt senter for tverrfagleg forskning og kunnskapsformidling for å utvikle økologisk landbruk. NORSØK skal bidra med kunnskap for eit meir berekraftig landbruk og samfunn. Fagområda er økologisk landbruk og matproduksjon, miljø og fornybar energi.

Besøks- /postadresse

Gunnars veg 6
6630 Tingvoll

Kontakt

Tlf. +47 930 09 884
E-post: post@norsok.no
www.norsok.no