

Biogas Taskforce

Udvikling og effektivisering af biogasproduktionen i Danmark

Faglig rapport



Udarbejdet december 2015 af:

Henrik B. Møller, Seniorforsker, Inst. for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet

Karl Jørgen Nielsen, Projektleder, PlanEnergi

Biogas Taskforce

Udvikling og effektivisering af biogasproduktionen i Danmark

Faglig rapport

Udarbejdet december 2015 af:

Henrik B. Møller, Seniorforsker, Inst. for Ingeniørvidenskab, Aarhus Universitet



Karl Jørgen Nielsen, Projektleder, PlanEnergi



Forsidefoto: Thorsø Miljø- og Biogasanlæg A.m.b.a.

Indhold

Forord	5
Sammendrag og konklusioner	6
Baggrund	7
1.1 Opsamling fra besøg på 15 biogasanlæg	8
1.2 Besøg hos anlæggene	8
1.3 Gennemgående problemstillinger	9
1.4 Specifikke udfordringer	11
1.5 De gode observationer fra besøg hos anlæggene	13
2. Biomasser og gasudbytte	14
2.1 Halm	14
2.2 Dybstrøelse	14
3.0 Driftserfaringer, afprøvninger og forsøg	15
3.1 Anlægsdata	15
3.2 Procestemperaturer	42
3.3 Restgaspotentialer	51
3.4 Forbehandlingsteknik til halm og dybstrøelse	58
3.4.1 Hüningen hammermølle	59
3.4.2 X-chopper fra Xergi	64
3.4.3 Ekstruder fra Foulum biogas	66
3.4.4 Brikettering fra Foulum biogas	69
3.4.5 Kompostering af halm	70
3.4.6 Finsnitning og ensilering af halm	73
3.4.7 Sammenfatning af forbehandling	74
3.5 Indfødning med Powerfeed	80
4.0 Metanindhold i luften fra fortank	81
5.0 Udfordringer med sand i biomassen	86
5.1 Sandseparation med Cellwood cyklon på biogasanlæg	87
5.2 Erfaringer med sandseparering i USA	90
5.3 iblanding af halm og dybstrøelse i fortank hos leverandør	91
5.4 Bedre udnyttelse af gylle ved frisk afhentning	97
6.0 ny teknik til biogas	100
6.1 Ionisering af rågylle	100

6.2 Forbehandling med Plurry Maxx neddelere	100
6.3 Brikettering	100
6.4 Pillepresning af halm direkte på marken	100
6.5 RGB Biogrinder	101
6.6 MeWa kædeknuser	101
6.7 Luftrensning på lastbiler	102
6.8 Stempelpumper	102
7.0 Driftsmæssige effektiviseringspotentialer	103
8.0 Anlæggenes klimagevinst	104
9.0 Perspektiverne for branchen	106
10.0 Litteratur	107
11 Bilag	108
Bilag 11.1 Notat vedr. omkostning for udvidet udrådningskapacitet	108
Bilag 11.2 Resultater fra afprøvning af sandcyklon hos Linkogas	113

Forord

Formålet med dette projekt er, at udvikle og effektivisere biogasproduktionen i Danmark, med henblik på at forbedre økonomien i de enkelte anlæg, og øge produktionens bidrag til opfyldelse af klima- og energipolitiske mål. Dette mål søges opnået gennem dokumentation af driftsresultater, forbedring af videngrundlaget for produktionen og videndelingen i branchen.

Det er projektets mål, at ruste biogasbranchen til de nye udfordringer, ved at undersøge og dokumentere driftserfaringer med brug af nye biomasser, som dybstrøelse og halm, samt ved generelt at undersøge, hvordan forholdet mellem udbytte og omkostninger kan optimeres. Dette er gjort i et samspil mellem en række deltagende anlæg og tilknyttede faglige eksperter. Alle danske anlæg var indbudt til opstartsmøde, hvor der var mulighed for at fremsætte forslag og ønsker til indsatsområder.

Projektet er igangsat og finansieret af Energistyrelsens Biogas Taskforce. Projektet er blevet til i dialog med en styregruppe bestående af:

Bodil Harder, Energistyrelsen

Bruno Sander Nielsen, Brancheforeningen for Biogas

Lars Ellegaard, BWSC

Aage Siig Christensen, Aage Siig Consulting

Projektet omfatter, ud over denne fagrapport to andre rapporter, der er udarbejdet i samme Taskforce projekt:

Økonomirapport:

Udvikling og effektivisering af biogasproduktionen i Danmark, økonomi – nøgletal og benchmark, af Kurt Hjort-Gregersen, Agrotech

Rapport der beskriver biogasanlæggenes organisatoriske forhold:

Organisatoriske udfordringer for den danske biogasbranche, af Jakob Lorenzen, Dansk Fagcenter for Biogas

Sammendrag og konklusioner

En besøgsrunde og efterfølgende gennemførelse af målinger og test hos de 15 biogasanlæg viser, at anlæggene har en høj gasproduktion, og meget engagerede medarbejdere, men det har også vist sig, at der er daglige udfordringer med håndtering af biomasse, teknisk udstyr, krav til dokumentation mv.

Anlæggene har en opholdstid i reaktorerne, der varierer fra 18 døgn til næsten 100 døgn. Der er en stor variation i biomassen, med en overvægt af kvæggylle, som i gennemsnit udgør 45%, medens svinegylle udgør ca. 28%.

Målinger af restgaspotentiale i reaktorer og i slutlager viser, at flere anlæg med fordel kunne øge opholdstiden, for derved at udvinde mere biogas af de biomasser, der allerede er leveret til anlægget. Det skyldes ikke mindst, at flere anlæg har fokus på at øge tørstofindholdet ved anvendelse af de faste biomasser, der kræver længere opholdstid eller forbehandling. I gennemsnit ligger restgaspotentialet på 13,1% af det totale gaspotentiale.

Målinger på anlæg har vist, at der på nogle anlæg er et metanpotentiale i fortanke og miksertanke, som med fordel kunne ledes til gasrensning, og efterfølgende anvendelse i motoranlæg eller opgradering. De fleste anlæg leder i dag udsugningsluften fra fortanke til lugtrensingsanlægget, hvor det ikke nyttiggøres.

På de deltagende anlæg er der foretaget målinger af forskellige allerede installerede forbehandlingsteknikker til håndtering af halm og dybstrøelse. Ved anlæg, der har stor primær- og sekundær reaktorkapacitet, og dermed en lang opholdstid svarende til minimum 35 døgn, skal forbehandlingsteknikken primært anvendes til at få biomassen ind i reaktoren og undgå flydelagsdannelse. Ved anlæg med kort opholdstid, er det også vigtigt at teknikken kan lave en tilstrækkelig neddeling, til at gaspotentialet kan udnyttes selv ved kortere opholdstid. Interessen for at øge opholdstiden på eksisterende anlæg er stigende, da projektet hos flere har vist en god økonomi i investeringer i øget reaktorkapacitet. Det har vist sig, at forbehandling af halm kræver op til ti gange så meget tilført energi i forhold til dybstrøelse med de kendte forbehandlingsteknikker.

Ved afgangning af især halm, har det vist sig, at inoculum¹ fra biogasanlæggene har forskellig effekt på afgangningen af biomassen. Anlæg som Aarhus Universitet, Foulum, har væsentlig højere udrådningseffektivitet set i forhold til andre anlæg. Årsagen til dette formodes at være anlæggets høje anvendelse af tungtomsættelig biomasse gennem længere periode, hvilket bakterierne har vænnet sig til. Nye anlæg og eksisterende anlæg, der udvider til anvendelse af mere tungtomsættelige biomasser kan forventes at have fordele af, at få tilført inoculum fra anlæg hvor bakterierne har vænnet sig til den nye biomasse, for derved at kunne øge biogasproduktionen i løbet af kort tid.

Sandaflejring i fortanke, miksertanke, reaktorer og efterlagre er et gennemgående problem på biogasanlæggene. Omfanget afhænger af hvilke biomasser der anvendes, men problemet findes på alle anlæg. Da et stigende antal kvægproducenter anvender sand som liggemateriale i køernes sengebåse vil problemstillingen blive vigtigere, hvis vi skal nå målsætningen om at 50% af husdyrgødningen skal afgasses

¹ Inoculum er betegnelsen for den biomasse som er under udrådning i reaktortankene

inden 2020. Der er afprøvet teknik til fjernelse af sand i flydende biomasser, som også har vist en effekt. Dog kan investering i denne teknik på biogasanlægget ikke løse problemet alene.

Der henvises til Biogas Taskforce projektet økonomirapport del 2, og rapport om organisatoriske forhold del 3, hvor der findes yderligere optimeringsmuligheder.

Baggrund

Biogasbranchen er i gang med en meget stor udbygning, og der er både nye muligheder og nye udfordringer, hvor bl.a. kan nævnes:

- Nye biomasser skal tages i brug, for at sikre biomasse nok til den stigende efterspørgsel, nye afsætningsmuligheder, og nye teknologiske muligheder skal prøves af.
- Øgede krav til dokumentation af biogasproduktionens betydning for miljø og klima.

Formålet med dette projekt er at belyse ovenstående, og er startet med en åben invitation til alle danske biogasanlæg til at deltage og til at bidrage med udfordringer. Efter et indledende seminar, forpligtede 15 anlæg sig til at deltage i projektet.

Det har været et mål i projektet at anlæggene, så vidt muligt, optimeres ved at udnytte de gode erfaringer, der kommer ind fra andre anlæg, og igennem kendskab til nye tekniske muligheder. I den indledende fase er restgaspotentialet i den afgassede biomasse fra de deltagende anlæg undersøgt. Dette indikerer om gaspotentialet i biomasserne udnyttes tilstrækkeligt, eller det kan optimeres med eksempelvis længere opholdstid.

Forskellige former for teknik til forbehandling af dybstrøelse og halm er dokumenteret i forhold til energiforbrug og kapacitet. Efterfølgende er der lavet udrådningforsøg, for at måle gaspotentialet efter forbehandling med forskellige tekniske løsninger. Endvidere er det undersøgt, om biogasanlæggene har et metanpotentiale fra fortanke/opblandingstanke som ikke udnyttes, men i stedet sendes til lugtrensingsanlæggene. Målinger og beregninger har vist, at der i nogle tilfælde, er økonomiske og miljømæssige fordele, ved at ændre biogasanlægget til at kunne udnytte den rest.

Projektet har ikke haft fokus på udnyttelsen af affaldsbiomasser, men på de vanskeligt håndterbare biomasser som dybstrøelse og halm, som der umiddelbart ikke er mangel på, og derfor heller ikke konkurrence om.

1.1 Opsamling fra besøg på 15 biogasanlæg

De 15 anlæg der deltog fordeler sig med 11 biogasfællesanlæg og 4 gårdbiogasanlæg, Figur 1. Alle anlæg er besøgt for at få en status, og få et overblik over hvilke daglige udfordringer de har, og over hvilke gode tiltag der allerede er gennemført. Ud over de 15 anlæg er erfaringer fra Foulum Biogas inddraget.



Figur 1: Geografisk placering af de 15 biogasanlæg

1.2 Besøg hos anlæggene

Anlægsbesøgene er gennemført i perioden september 2014 til marts 2015. Besøgene har givet et godt overblik i anlæggenes daglige drift, og hvilken tilstand de er i. De udvalgte anlæg har været en blanding af ældre og nyere anlæg, for derved at få et bredt kendskab til branchen som helhed. Selv om flere anlæg er opført for over 20 år siden, står de fleste af dem i dag som velfungerende anlæg i forhold til de biomasser de behandler. Flere af anlæggene er udvidet i flere omgange, de behandler mere biomasse, og har en væsentlig højere energiproduktion, end da de i sin tid blev opført. De har både investeret i udvidelse af

anlæggene, men har også haft behov for at gennemføre investeringer i bl.a. bedre lugtrensingsanlæg, for at kunne leve op til de gældende miljøkrav i forhold til lugtreduktion.

Anlæggene står overfor en tilpasning, i forhold til den udbygning af biogasanlæg der i øjeblikket finder sted i Danmark. Der bliver øget konkurrence, om at få de gode affaldstyper, der sammen med husdyrgødningen anvendes til at opnå en høj biogasproduktion. Det betyder, at der er stort fokus på at hæve tørstofindholdet i husdyrgødningen, og at kunne håndtere faste biomasser som dybstrøelse, halm, foderrester, græsafklip, energiafgrøder mm.

Der er meget fokus på, at den kvalitet af gylle, der hentes hos leverandørerne skal være god, for at få en høj gasproduktion og holde transportomkostningerne pr. m³ produceret biogas nede. Når husdyrproducenterne optimerer på bedre udnyttelse af foderet, kan værdien af gødningen til biogasproduktion let falde. Udbredelsen af forsuring af gylle medfører at gyllemængden reduceres. Selv om der kan anvendes en del forsuret gylle sammen med anden biomasse, er det med til at øge indholdet af svovl i biogassen. Kvægproducenternes anvendelse af sand i køernes sengebåse gør, at rågyllen indeholder meget sand, som efterfølgende kommer med på biogasanlægget og aflejres i tankene. De fleste biogasfællesanlæg har fravalgt at modtage gylle fra producenter, hvor der anvendes sand i sengebåsene.

Det har været gennemgående, at anlæggene har haft, eller får, udfordringer med håndtering af flere faste biomasser som halm og dybstrøelse. Da anlæggene blev bygget, var der ikke taget højde for, at der senere skulle anvendes faste biomasser. Dette giver udfordringer i forhold til placering af teknikken til behandling af den faste biomasse og efterfølgende indpumpning i reaktoren.

1.3 Gennemgående problemstillinger

Biogasanlæggene har tidligere primært været bygget til håndtering af flydende biomasser, og i mindre grad faste biomasser. Da mange anlæg øger andelen af faste biomasser, er der udfordringer med at ombygge og tilpasse anlæggene til at håndtere højere tørstofprocenter. Indtag til faste biomasser må ofte tilpasses det enkelte anlægs indretning, og kan ikke altid placeres, hvor det ville være mest hensigtsmæssigt. Nogle biomasser indeholder fremmedlegemer, som giver nedbrud på anlæg, og andre giver et højt svovlindhold. Håndteringen af faste biomasser giver højere driftsomkostninger, især til elforbrug og mandskab. Biogasudbyttet øges ved de faste biomasser, men ofte er mængden af "godt" affald reduceret tilsvarende, og derfor øges gasudbyttet ikke altid i forhold til de stigende driftsomkostninger og investeringer. Det er en udfordring at få lånekapital til nødvendige investeringer i udstyr, og følgeinvesteringer til håndtering af mere faste biomasser, hvis ikke der er en god egenkapital. Ydermere er de nødvendige myndighedstilladelser ofte længe undervejs.

Tørstofindhold

Anlæggene ønsker at have et højt tørstofindhold i biomassen, for at kunne opnå en høj biogasproduktion i forhold til reaktorkapacitet, men anlæggenes tekniske opbygning gør, at det er forskelligt hvor højt et tørstofindhold de kan håndtere. Tørstofindholdet kan øges med dybstrøelse og energiafgrøder i forhold til det enkelte anlæg.

Mange anlæg har indført en tørstof/bonus ordning som er virkemiddel til at fastholde/øge indholdet af tørstof i rågyllen.²

Udfordringer med sand

Stort set alle anlæg har udfordringer med sand i større eller mindre målestok. Da gylle normalt indeholde 1-1,5 % sand, vil der komme sand i anlægget, og en del vil blive aflejret i anlægget.

Sandet aflejres i fortanke, reaktorer og efterlagre, undervejs i anlægget giver det øget slitage på pumper, maceratorer, omrørere og ventiler mm. Der er tale om at anlæggene årligt skal fjerne fra ca. 150 – 1.500 tons sand afhængigt af anlæggets størrelse, og hvilke biomasser der anvendes. Omkostningsmæssigt er det op til ½ mio. kr. årligt, dertil kommer udgifter til ekstra slitage på anlægget. Dette er kun for tømning af fortanke, hvis reaktorer også skal tømmes, har det en væsentlig større omkostning, idet de skal tømmes og er ude af drift i en periode. Det er dog sjældent at en reaktor tømmes for sand, med mindre det sker i forbindelse med servicering. Produktionsmæssigt har det dog en omkostning, idet sandet optager reaktorvolumen, og reducerer dermed biogasproduktionen.

Tømning af fortanke sker typisk ved at sænke en skridstyret minilæsser ned i fortanken, der skubber sandet til en lastbilkran, der hiver det op.

Da mange kvægbrug i Danmark ønsker at bruge sand i sengebåsene, vil der være stor risiko for at rågylle fremover leveres til biogasanlægget med et større sandindhold, helt op til 10% i rågyllen, med mindre der gøres en indsats. Alternativet er at biogasanlæggene stiller krav om, at man kun kan levere rågylle, hvis man bruger andre former for liggemateriale end sand. Det vil til gengæld være uheldig i forhold til regeringens målsætning om at 50% af husdyrgødningen i Danmark skal afgasses inden år 2020.

Fremmedlegemer i dybstrøelse og andre faste biomasse

De anlæg, der anvender faste biomasser, især dybstrøelse og ensilage, har udfordringer med fremmedlegemer som sten/beton, jern, jord, identifikationsmærker fra køer, snore fra baller, plastikrester mm. Jord, sten og betonrester kommer typisk i biomassen i forbindelse med læsning, hvor der skrubes for tæt på bunden og siderne. Ensilage lagt i markstakke kan let øge indholdet af jord i ensilagen ved læsning. Fremmedlegemer giver store omkostninger på anlæggene, til øget vedligehold af pumper og neddelere, med risiko for driftsstop.

De fleste anlæg har en dialog med leverandørerne om at biomassen ikke må indeholde fremmedlegemer, og enkelte har forsøgt med at sende regningen for ødelagte pumper mm. retur til leverandøren.

Afsætning af biogas

Flere anlæg har udfordringer med, at den producerede biogas eller varme ikke kan afsættes om sommeren, fordi varmemeforbruget hos det kraftvarmeverk, der aftager biogas eller varme er for lille. Det betyder, at optimeringer på biogasanlæggene, der ellers ville resultere i en øget gasproduktion, har vanskeligt ved at blive rentable. Et enkelt anlæg vil benytte forbehandlingsudstyr som en slags "gashåndtag" til at øge gasproduktionen i vinterperioden, men undlade at benytte udstyret i sommerperioden. En lav udnyttelse af forbehandlingsudstyret medfører dårligere rentabilitet i investeringen.

² Dette område er uddybet i delrapport 3, vedr. biogasanlæggenes organisatoriske forhold.

Flere anlæg er i gang med at undersøge, hvordan en øget gasproduktion kan afsættes til andre kunder end det lokale kraftvarmeværk.

Myndighedsbehandling

Selv om dette Taskforce projekt ikke har myndighedsbehandling og tilladelser generelt som fokusområde, er det kort omtalt, da det er en problemstilling, vi har mødt flere gange i forbindelse med besøgsrunden. Det er udfordrende for anlæg, at tiden fra de beslutter at få udarbejdet ansøgningsmateriale til myndighedsbehandling, og til at de endelige tilladelser i bedste fald kan gives, kan vare op til flere år. Det kan gælde både ved optimering af eksisterende anlæg, med opførelse af bygninger og/eller tankanlæg, og ved udvidelser af anlæggene. Oftest er optimeringen, og/eller udvidelsen, tiltag som skal forbedre økonomien i anlægget, men lange sagsbehandlingsperiode er omkostningskrævende, og har givet likviditetsmæssige udfordringer, især når det gælder optimeringer af anlæg, med henblik på at øge indtjeningen.

1.4 Specifikke udfordringer

Struvit

Struvit i varmevekslere er en daglig udfordring for mange anlæg, Billede 1. Struvit dannes ved afkøling af den afgassede biomasse i forbindelse med varmeveksling. Desto større nedkøling jo større tendens til struvitdannelse, derfor er problemet ikke udbredt på anlæg der drives mesofilt (ca. 37 gr. C). Metode med CIP-rensning³ af varmevekslere med saltsyre anvendes af flere anlæg. De mest avancerede anlæg måler på øget modtryk i veksler og ud fra dette defineres, hvor ofte der skal renses. Andre anlæg renses i forhold til de erfaringer de har, med hvor hurtigt der dannes Struvit. En anden metode er tilsætning af polymér i rågyllen som hæmmer dannelsen af Struvit.

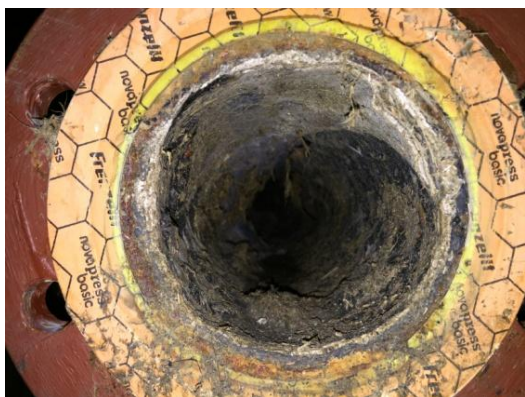


Billede 1: Pumperør med struvit belægninger

³ CIP rensning sker ved gennemskylning af rør med syre der nedbryder Struvit.

Belægnings i rør

Det er ikke kun struvit der kan danne belægnings i rør. Der ses også aflejringer i rørene hvori rågylle pumpes. **Billede 2**, viser for eksempel, at der kan dannes en hård belægning, som er en blanding af struvit og fiberrester fra gylle. Svinehår er specielt slemme til at sætte sig fast i rørene. Efterhånden bygges mere og mere på, og til sidst får man øget modtryk og mindre passage i rørene.



Billede 2: Gyllerør fra Thorsø Miljø- og Biogasanlæg A.m.b.a., aflejringer efter to år

I eksemplet fra Thorsø, hvor der var opdaget aflejringer i rørene med rågyllen, blev cip-rensningsanlægget udvidet til også at kunne rense rågyllerørene med jævne mellemrum. Efter første rensning faldt modtrykket i rørene med ca. 1,5 bar. Alene ved denne løsning, forventes at anlægget fremover kan håndtere op til 1 % højere tørstof i biomassen.

Gasblæsere

En af de store energiforbrugere er gasblæserne der transporterer biogassen til aftageren. Hos et anlæggene udgør det ca. 25% af elforbruget⁴. Det afhænger af, hvor højt tryk det skal afleveres med, diameter på gasledning, blæsertyper, tryktab gennem gasrenser og gaskøler mm.

Kalk i gylle

Nogle landmænd tilsætter kalk som bakteriehæmmer i køernes sengebåse. Kalken har den uheldige egenskab, at den sætter sig i biogasanlæggenes tanke og reaktorer. Der bør være en dialog mellem landmænd og biogasanlæg om, hvor store mængder kalk der anvendes.

Gips i gylle

Enkelte anlæg har haft leverandører af kvæggylle, der har anvendt gipsgranulat i sengebåsene. På anlæggene har det resulteret i, at biogassens svovlindhold er steget eksplosivt, og har medført store udgifter til tilsætning af jernklorid, eller at biogassen ikke kunne afsættes og måtte fakles bort pga. det høje svovlindhold. At bruge gips i sengebåse er derfor ikke foreneligt med at være leverandør af gylle til biogasanlæg. Også i dette tilfælde skal informationen øges mellem leverandør og biogasanlæg.

⁴ Nærmere udspecificeret i Taskforce økonomirapport

Stor slitage på pumper

Med de store mængder af biomasse der årligt pumpes gennem biogasanlæg, sker der en stor slitage på pumper, maceratorer, ventiler mm. Det skyldes både de store mængder, men også at biomassens sandindhold slider teknikken hurtigere op. Ud over det er dyrt at vedligeholde pumpeudstyr, skal der også afsættes mange mandetimer til vedligehold og service.

1.5 De gode observationer fra besøg hos anlæggene

Under besøgene på anlæggene har driftslederne fortalt om, og vist nyttige tiltag, som med fordel kan overvejes på andre anlæg.

Overjordiske rør

Flere anlæg vælger helt eller delvist at have overjordiske rør og ventiler mellem tankene, i stedet for nedgravede rør. Dermed bliver det lettere at service dem. Et af anlæggene har hævet mange af rørene og fastgjort dem i en højde, der gør at lastbiler kan køre under.

Et andet anlæg udskifter løbende deres rørledninger til rustfri syrefaste rør, da denne type er mere robust overfor biomasser med lav pH værdi.

Rulleporte kontra ledhejseport

Et anlæg har udskiftet deres ledhejseporte til læsse/lossehallen med rulleporte. Det er gjort for at få hurtigere åbne og lukke funktion, som også gør at lugtrensningsanlægget belastes mindre når portene hurtigere lukker. Ud over at være hurtigere til at åbne og lukke, har rulleporte den fordel, at de kan klare flere oplukninger før udskiftning er nødvendig.

Overfladevand udnyttes til vaskevand

Et anlæg anvender nogle gamle udendørs bassiner til opsamling af overfladevand, for senere at kunne genbruge det til vaskevand når lastbilerne skal vaskes.

Skueglas i lagertanke

Et anlæg har skåret ud til skueglas i tre forskellige niveauer i en lagertank på anlægget. Dette giver mulighed for at se, om tanken bliver helt tømt, eller der er bundfald med fiber og sand.

Svovlrensning er sat i system

Et anlæg har lavet en serviceaftale med et firma om at foretage svovlrensningen med jævne mellemrum. Det har især været en god løsning for ét anlæg, da de derved undgår perioder med højere svovlindhold i gassen, hvilket til tider har medført at biogassen ikke kunne afsættes til kraftvarme.

Dybstrøelse i containere

Et anlæg henter dybstrøelse hjem og overdækker med plastik. De overvejer køb af vandtætte containere og kroghejsebil, for at kunne have det liggende uden lugtgener, indtil de skal bruge det. De har allerede fået fremstillet en container med speciel gummitætning. Opstilling af containere hos landmænd vil give bedre muligheder for, at de får afgasset deres kalvemøg, der skal udmuges hele året rundt og i mindre mængder. Et andet anlæg modtager dybstrøelse løbende, og opmagasinerer det i en lukket hal med udsugning.

Adskillelse i biomassehal med presenning

I en biomassehal har der været udfordringer med at dybstrøelsen gav store lugtgener, og det var vanskeligt at rense luften, på grund af det store volumen der er i hallen. For at afhjælpe dette, er der monteret en lofthængt presenning som adskillelse mellem fortanken, der er placeret i hallen, og lageret hvor dybstrøelse og ensilagen ligger. Denne adskillelse begrænser luftmængden med høj ammoniakkoncentration, der skal renses, og gør det dermed lettere at sikre tilstrækkelig kapacitet i lugtrensingsanlægget. Da presenningen kan hæves til loftet, giver det stadig mulighed for at køre ind med lastbil og tippe af.

2. Biomasser og gasudbytte

2.1 Halm

Halm er en stor ressource. De seneste opgørelser viser, at der er et potentiale på 2,9 mio. tons halm, svarende til ca. 2,5 mio. tons tørstof⁵. Det giver et biogaspotentiale på 450 mio. Nm³ metan. Denne halmressource nedmuldes i dag og bidrager med næringsstoffer, og til bevaring af kulstofpuljen i jorden. Halmmængden er et potentiale, der kan anvendes til biogasproduktion, og efterfølgende returneres den afgassede biomasse til marken som gødning. Det største halmoverskud forefindes på øerne og østjylland, hvor husdyrproduktionen er mindst.

Biogaspotentialet ligger på ca. 150- 250 m³ metan pr. ton halm afhængig af forbehandling og opholdstid i reaktorer.

Frøgræshalm der presses eller snittes efter frøhøsten, er en ressource der kan anvendes i biogasanlæg. I dag anvendes den oftest til afbrænding i halmfyr, foder til kreaturer, eller nedmuldes i marken.

Biogaspotentialet ligger på ca. 250 l CH₄/kg VS svarende til ca. 200m³ metan pr. ton,

Hvert år bliver halmballer kasseret på halmvarmeværker, fordi vandprocenten er for høj. Disse baller kan med fordel anvendes i biogasanlæg, i stedet for at de som oftest bliver udspreddt igen på marken. Selv om vandprocenten er høj, eller baller er begyndt at gå i forrådnelse, er der stadig et stor biogaspotentiale i en balle.

2.2 Dybstrøelse

Flere eksisterende anlæg anvender allerede dybstrøelse som biomasse i større eller mindre omfang. Som forbehandling anvendes forskellige teknikker, hvoraf de fleste er afprøvet i forbindelse med dette projekt. Dybstrøelse er en gødningstype landmændene gerne vil have afgasset, og returneret som flydende gødning. De kan ofte køre dybstrøelsen direkte til biogasanlægget, og slipper for at skulle overdække det i markstakke. Dybstrøelsen kræver mindre energi til forbehandling end halm, men har den ulempe, at den

⁵ Torkild Birkmose, SEGES, "hvor meget (mere) halm kan vi producere/udnytte, halmseminar i Korsør 25. aug. 2015.

kan indeholde fremmedlegemer som sten og metal. I modsætning til halm er det en biomasse som biogasanlægget ikke skal betale for, hvilket gør den meget interessant.

Metanpotentialiet i dybstrøelse er typisk 40-50m³ metan pr. ton dybstrøelse med ca. 25% ts. (200-220 liter CH₄/kg VS)

Dybstrøelse giver udfordringer på biogasanlægget, da det kræver forbehandling, men også i forhold til at det lugter, og dermed belaster lugttrensingsanlægget. Enkelte anlæg har bygget haller til opbevaring af dybstrøelse og energiafgrøder, hvilket er optimalt i forhold til at kunne håndtere lugten med et undertryksanlæg. Ulempen er, at der er risiko for at ammoniakkoncentrationen blive for høj i hallen, hvilket på sigt kan give skader på metaller og tekniske installationer.

3.0 Driftserfaringer, afprøvninger og forsøg

Ved en besøgsrunde til de deltagende anlæg blev der indsamlet alle relevante informationer og driftsplaner. Samtidig blev der taget prøver af afgasset materiale til bestemmelse af restgaspotentialer i det afgassede materiale fra de enkelte procestrin. De indsamlede informationer er bl.a. størrelser på tanke, omrøringsmetoder, procestemperatur, energiafsætning, gasrensning, biomassegrundlag, gasproduktion, energiforbrug. De indsamlede data er anvendt til at beregne en række nøgletal, herunder opholdstider, m³ gas/m³ reaktor/dag og Nm³ CH₄ pr. tons biomasse. Det afgassede materiale er analyseret for en række nøgleparametre, herunder tørstof, aske, indhold og sammensætning af flygtige fede syrer, total kvælstof og ammoniak, makro- og mikronæringsstoffer. Endvidere bruges restgaspotentialer til at fastsætte hvor effektivt biomassen er omsat i de enkelte anlæg og til at estimere klimaeffekten af afgasningen.

3.1 Anlægsdata

De deltagende anlæg giver et godt udsnit af variationen på de danske biogasanlæg i forhold til biomasse sammensætning og en række driftsparametre. I nedenstående figurer er anlæggenes overordnede proces flow illustreret. På de anlæg, hvor der er foretaget gasmålinger i fortanke er dette anlægstrin angivet korrekt, medens det for øvrige anlæg udelukkende er angivet som en tank, selvom det i virkeligheden oftest består af flere tanke. Når der er angivet efterlagertanke med opholdstid indebærer det, at der er gasopsamling fra denne tank, men det der adskiller den fra en reaktor er, at der ikke er opvarmning af tanken udover den varme der tilføres fra biomassen.

Biokraft A/S, Bornholm(BOR)

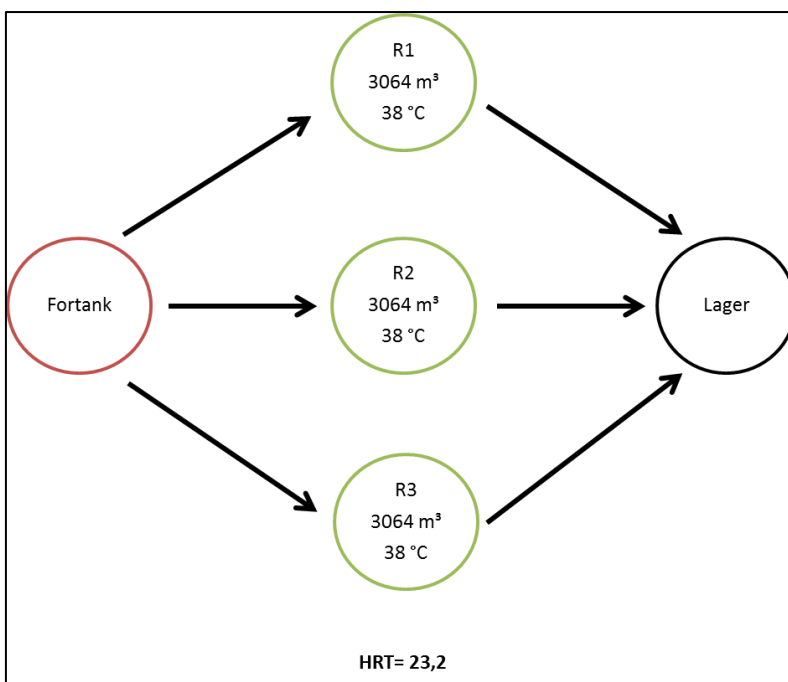
Biokraft A/S er etableret i 2006 som et højteknologisk biogasanlæg, men ombygget i 2008/2009 til et traditionelt anlæg. I forbindelse med ombygningen, blev der bl.a. installeret en ny hal med et Powerfeed indfødningssystem til faste biomasser til håndtering af energiafgrøder, dybstrøelse og fiberfraktion fra separeret husdyrgødning. Anlægget drives mesofilt ved 38° C med tre parallelle linjer, og en opholdstid på ca. 28 døgn ved 3 reaktorer på hver ca. 2.800m³. Der behandles årligt ca. 135.000 tons biomasse fra kvæg og svineproducenter, heraf modtages en del som fiberfraktion fra gylleseparering hos svineproducenter.

Der tilføres ca. 6.800 tons fiberfraktion fra landmænd om året, som efterfølgende afsættes til planteavlere som afgasset biomasse.

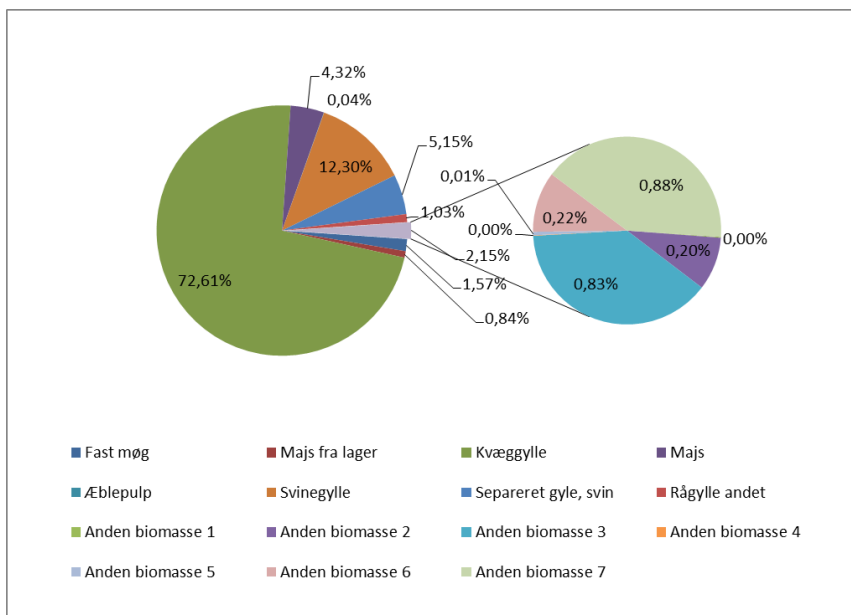
Der produceres el på anlægget, og varmen afsættes via Bornholms Forsyning, som fjernvarme i Åkirkeby ca. 7-8 km derfra.



Billede 3: Biokraft A/S, Bornholm



Figur 2: Flowdiagram Biokraft



Figur 3: Procentvis fordeling af biomasser, Biokraft.

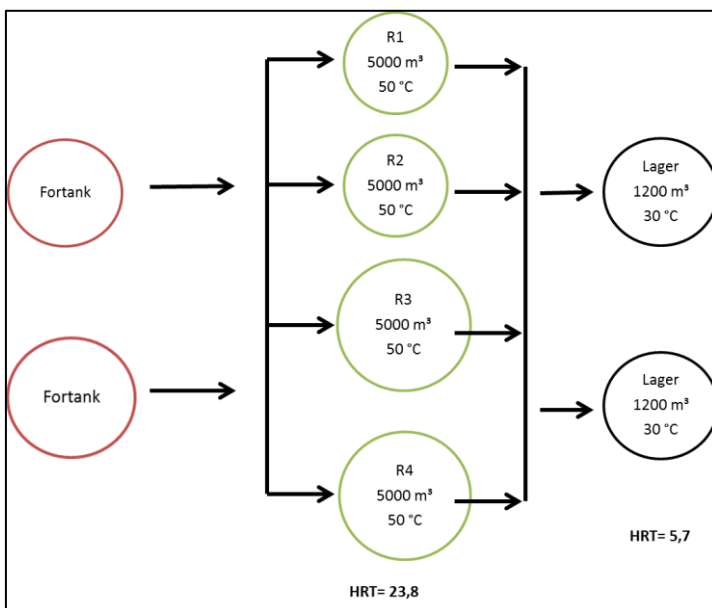
Blaabjerg Biogas(BLÅ)

Blaabjerg biogas i sydvestjylland er opført i 1995, men løbende renoveret og udvidet med bl.a. to 5.000m³ reaktorer. I 2015 er to ældre reaktorer fjernet og to nye på 2.800m³ hver er opført samme sted. I 2016 planlægges etablering af yderligere en reaktor på 5.000m³. Anlægget behandler årligt ca. 145.000 tons biomasse, og forventer det øges til ca. 215.000m³ biomasser, der primært hentes hos kvægproducenter. Der leveres biogas til Nr. Nebel Fjernvarme, der ligger ca. 100 meter fra biogasanlægget, og levering af biogas til Nymindegablejren er under idriftsætning. Levering til badelandet Sea West påregnes igangsat i efteråret 2015. Det drives som et et-trinsanlæg med termofil procestemperatur på ca. 50 grader C, og en reaktorkapacitet der svarer til en opholdstid på ca. 30 døgn. Blaabjerg biogas har erfaringer med sæsonvarieret drift, som anvendes for at modvirke de udfordringer, der er med afsætning af biogas i sommerperioden.

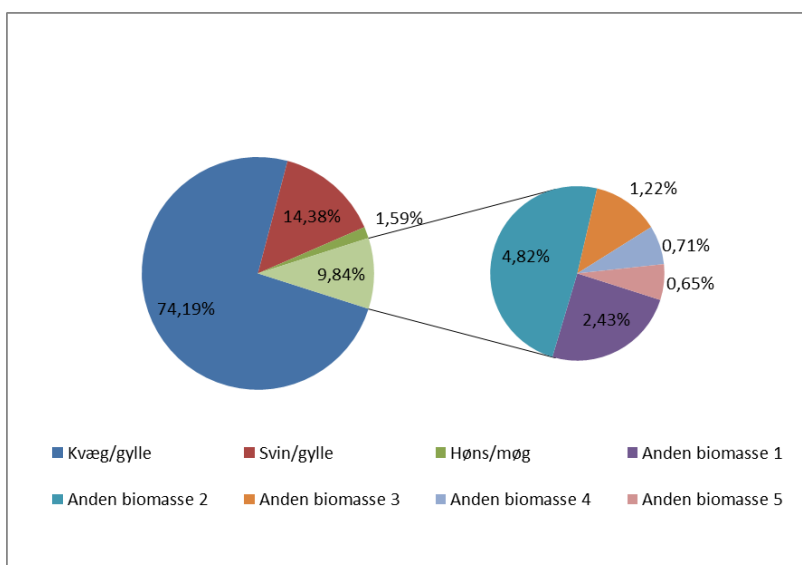
Ud over etablering af reaktorkapacitet planlægges at udbygge læsse/lossehallen.



Billede 4: Blaabjerg biogas med Nørre Nebel varmeværk til venstre



Figur 4: Flowdiagram Blaabjerg biogas



Figur 5: Procentvis fordeling af de forskellige biomasser

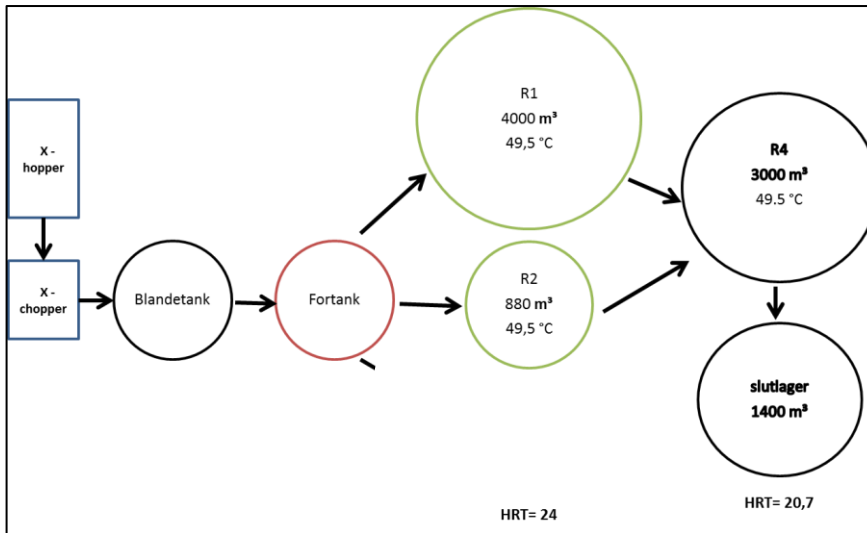
Energi Vegger (VEG)

Energi Vegger er opført i 1986-1987, men totalrenoveret og udvidet i 2014-2015. Anlægget behandler efter udvidelsen ca. 80.000 tons biomasse, primært kvæggylle og dybstrøelse suppleret med organisk affald. Anlægget er et af de første anlæg, der behandler dybstrøelse, og hvor det udgør en væsentlig del af biomassen. I forbindelse med udvidelsen, er der etableret et nyt effektivt biologisk lugtrensingsanlæg, der skal håndtere udfordringerne med lugt, ikke mindst i forhold til, at Energi Vegger ligger lige op ad Vegger by. Der er også etableret en ny læsse/lossehal, samt indendørs lager til dybstrøelse og energiafgrøder. Som forbehandlingsteknik anvendes Xchopper fra Xergi til håndtering af dybstrøelse og energiafgrøder. Desuden er etableret nye reaktorer med max. højde på 10 meter pga. nærhed til byen, nyt gasrensesystem mm. Anlægget drives termofilt på ca. 52^o C. og har ca. 35 døgns opholdstid.

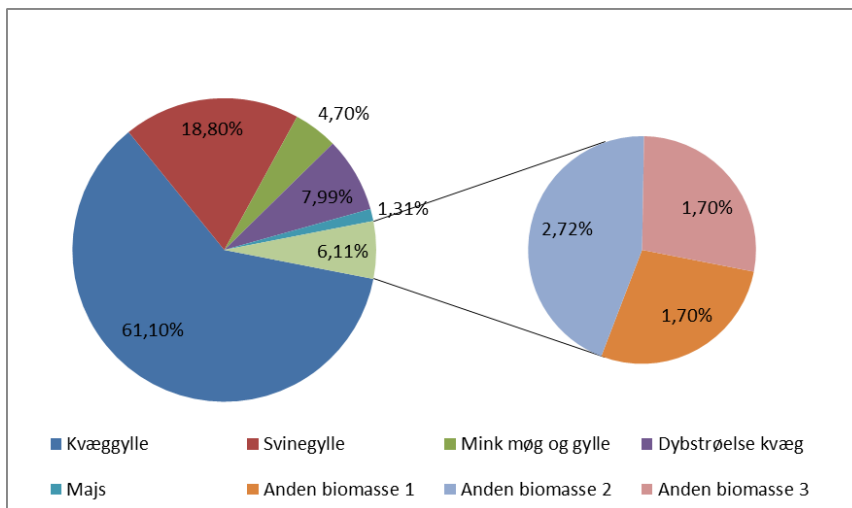
Den producerede biogas anvendes dels i egne motorer med salg af fjernvarme til Vegger by, og dels sælges biogas til Arla Food Bislev mejeri, hvortil der er etableret en 7,1 km gasledning.



Billede 5: Luftfoto af Energi Vegger efter renovering



Figur 6: Flow diagram for Energi Vegger



Figur 7: Biomasser til Energi Vegger

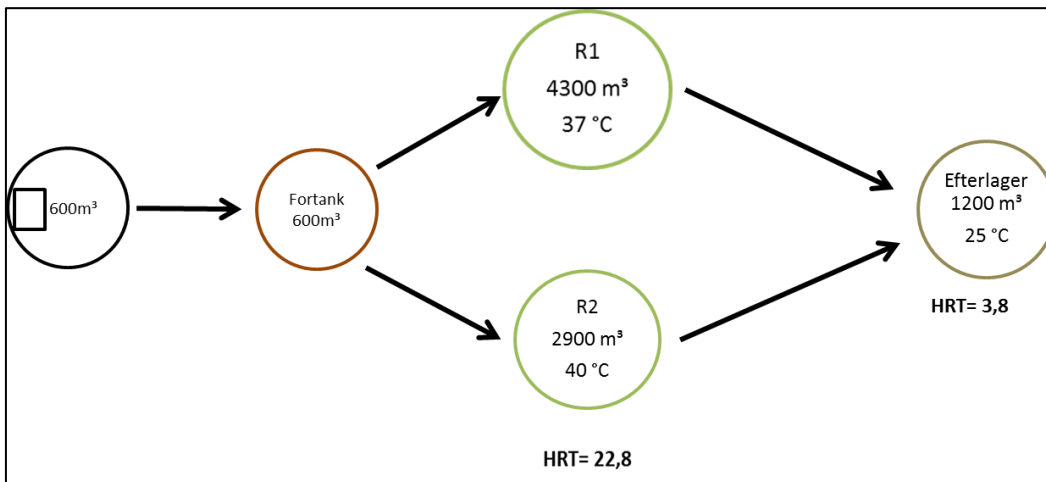
Hashøj Biogas(HAS)

Hashøj Biogas er et anlæg der årligt behandler ca. 110.000 tons biomasse, primært som svinegylle og industriaffald, herunder storkøkkenaffald. Der er reaktorkapacitet svarende til en opholdstid på 23-25 døgn i anlægget, der drives mesofilt med 38-40° C. Der er opnået en del erfaringer med håndtering af biomasser med lav pH-værdi som følge af håndtering af industriaffald. Hashøj biogas afsætter biogassen til Hashøj Kraftvarmeforsyning i Dalmose.

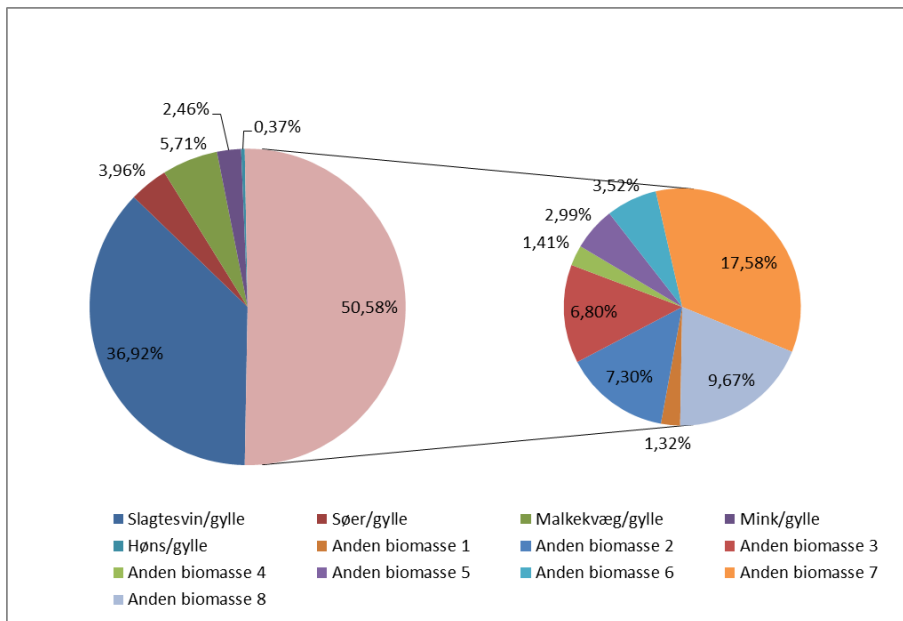
Hashøj Biogas har afprøvet opgraderingsteknik fra Ammongas, med henblik på at opgradere en del af biogassen i forbindelse med en udvidelse. Den forventede udvidelse er temmelig omfattende, og medfører bl.a. etablering af ny reaktor på ca. 8.000m³, ny modtagehal, ny lagerhal til tørre biomasser, forbehandlingsteknik til faste biomasser, nyt lugtrensingsanlæg, og opgraderingsanlæg. Udvidelsen vil samtidig medføre tilknytning af flere leverandører af husdyrgødning.



Billede 6: Hashøj Biogas



Figur 8: Flowdiagram Hashøj Biogas



Figur 9: Procentvis fordeling af biomasser, Hashøj Biogas

Lemvig Biogas A.m.b.A. (LEM)

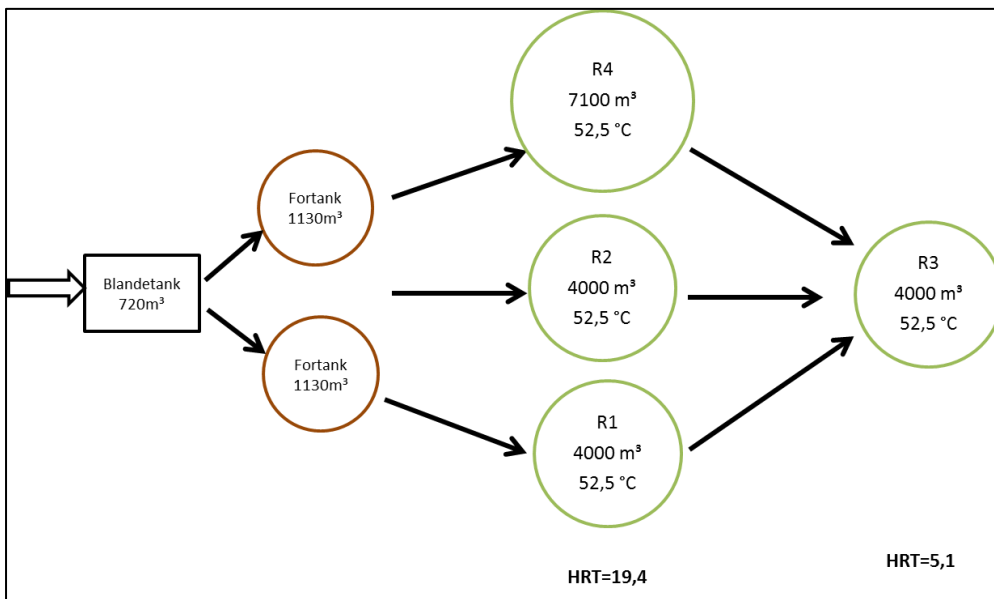
Lemvig biogas A.m.b.A. er opført i 1992, men løbende renoveret og udvidet med bl.a. større reaktorkapacitet, biomassehal til tørre biomasser, ekstra gaslager, administrationsbygning mm. Der behandles årligt ca. 284.000 tons biomasse, bestående af rågylle der udelukkende er fra lokale kvægproducenter, suppleret med organisk affald. Rågyllen hentes hos leverandører i en radius på ca. 7,5 km. Anlægget drives som et termofilt anlæg med 52,5⁰ C, med reaktorkapacitet til ca. 24 døgnsopholdstid. Hele anlægget er godkendt som et hygiejniseringsanlæg med dokumenterede holdetider. Lemvig Biogas har et separeringsanlæg, der giver mulighed for at separere den afgassede biomasse, såfremt nogle modtagere ønsker dette.

Biogassen afsættes til kraftvarmeværkerne i Lemvig og Klinkby, hvor motorgeneratorerne er placeret.

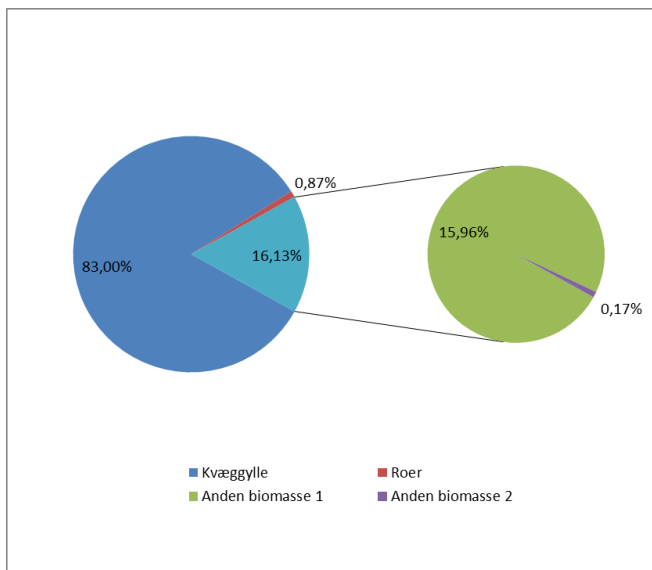
Det forventes, at der skal installeres et nyt svovlrensingsanlæg i 2016 og udskiftes tre ældre reaktorer. Samtidig er der planer om at øge tørstofindholdet i biomasse bl.a. ved tilsætning af husholdningsaffald.



Billede 7: Lemvig Biogas A.m.b.A. (kilde: Lemvigbiogas.com)



Figur 10: Flowdiagram Lemvig biogas



Figur 11: Procentvis fordeling af biomasse, Lemvig Biogas

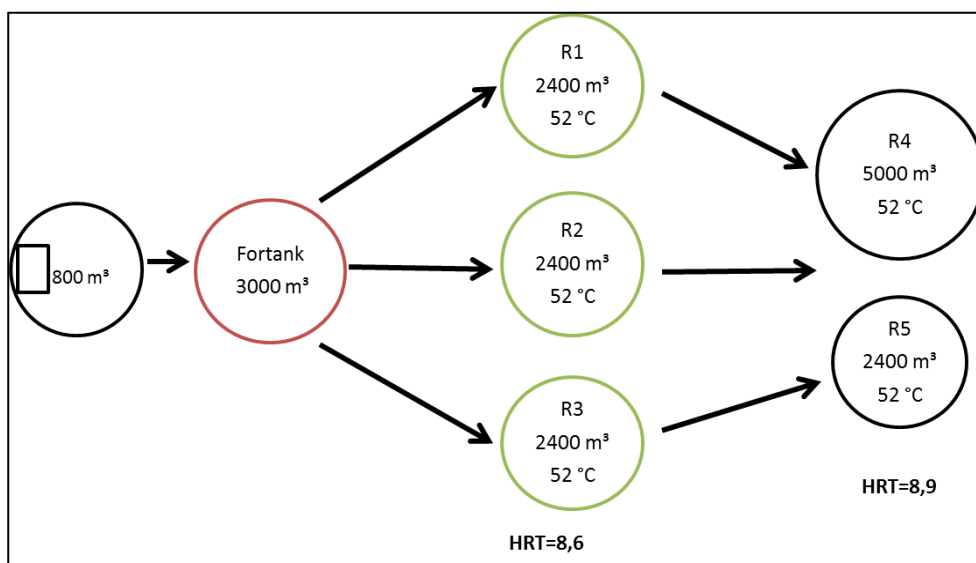
Linkogas (LIN)

Linkogas er opført i 1990, men løbende udvidet til at der i dag behandles ca. 300.000 tons biomasse. Anlægget kører termofil proces med 52° C og har en opholdstid på ca. 18 dage. Husdyrgødning udgør den største del af biomassen, overvejende kvæggylle men også svinegylle, minkgylle og kyllingemøg. Der bliver etableret hygiejniseringsanlæg i 2015 til hygiejnisering af industriaffald mm., for derved at kunne tage nye biomasser ind. Samtidig indrettes anlægget til, at der kan køres en separat linje, hvor der behandles affaldstyper, som Mejeribrugets Brancheaftale ikke accepterer må udsprede på marker, hvor der dyrkes kvægfoder.

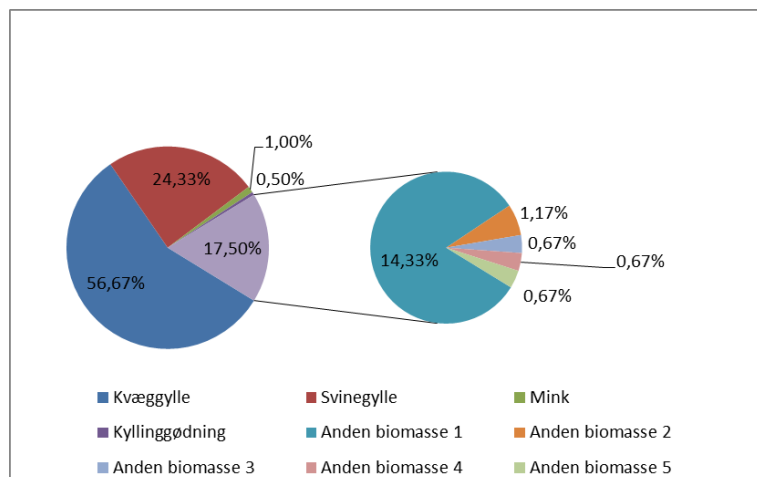
I øjeblikket leveres biogassen til Rødding by ca. 7-8 km fra anlægget, men da denne aftale ophører i 2016, vil der blive etableret et Malmberg opgraderingsanlæg med afsætning til naturgasnettet. Dette åbner mulighed for at øge gasproduktionen, da der ikke længere vil være afsætningsproblemer i sommerhalvåret.



Billede 8: Linkogas



Figur 12: Flowdiagram Linkogas



Figur 13: Procentvis fordeling af biomasser, Linkogas

MEC Biogas (MÅ)

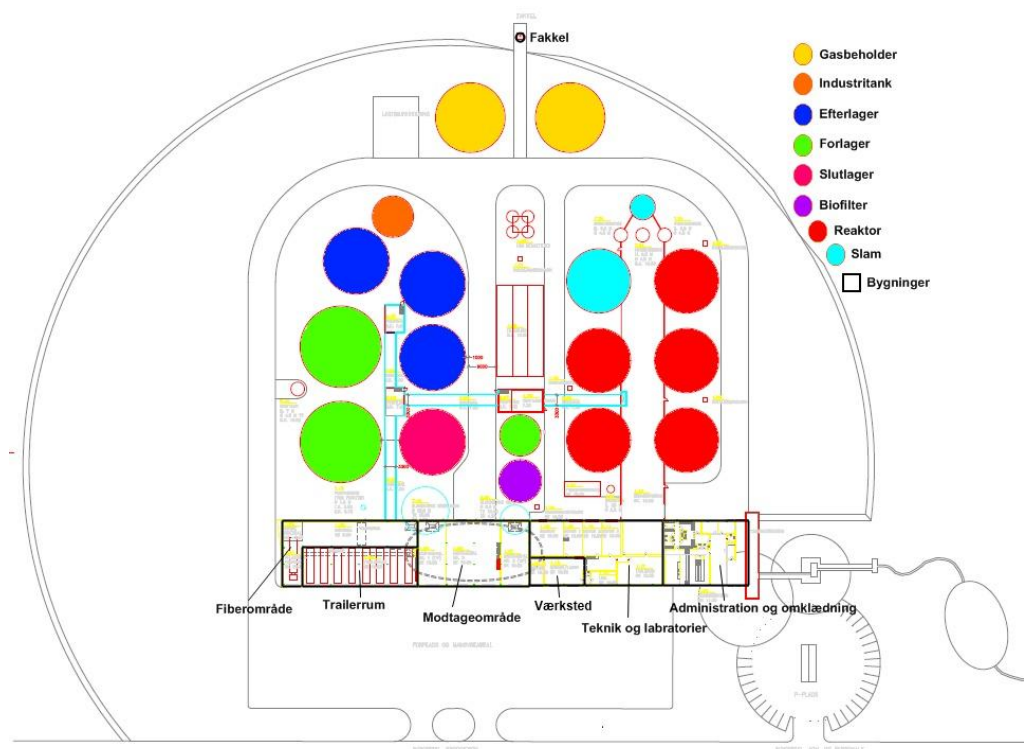
MEC Biogas, tidligere Maabjerg Bioenergy anlægget, der ligger udenfor Holstebro, er opført i 2011 med indkøring i 2012. Det behandler årligt ca. 640.000 tons husdyrgødning og affald, plus ca. 100.000 tons slam i en separat slamlinje. Biomassen er både fra kvæg- og svineproduktion samt mink, suppleret med organisk affald. Anlægget kører mesofilt ved 37⁰ C, og har en opholdstid på ca. 26 dage. Der produceres ca. 20 mio. m³ biogas, som afsættes til Maabjergværket, Vinderup Varmeværk og Arla Foods. De store husdyrgødningsmængder hentes i en afstand op til 30 km fra anlægget. I dag anvendes et Geofencesystem, som overvåger og registrerer alt vedrørende transport af flydende biomasser. På sigt er det planlagt, at en del af gyllen skal pumpes i en 14 km lang pumpeledning med decentral aflæsested for lastbilerne.

En stor del af den afgassede biomasse separeres i decantercentrifuger, hvorefter fiberfraktionen leveres ud til landmænd rundt i Jylland, som gødning og jordforbedringsmiddel.

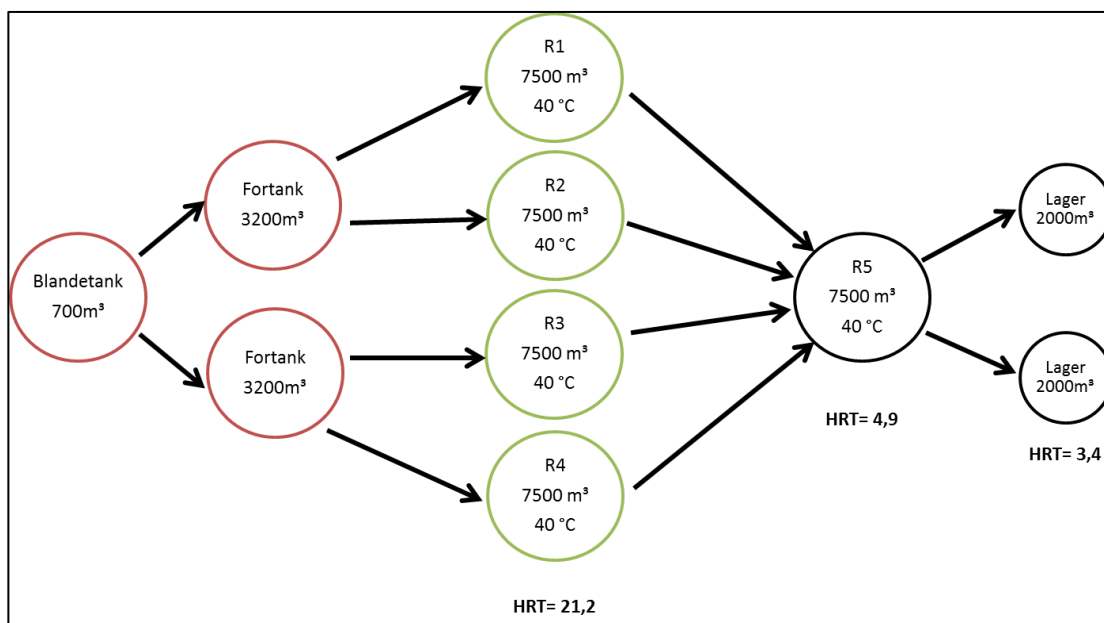
Biogassen afsættes til kraftvarme til Maabjerg værket og Vinderup kraftvarme, samt i egne motorgeneratorer.



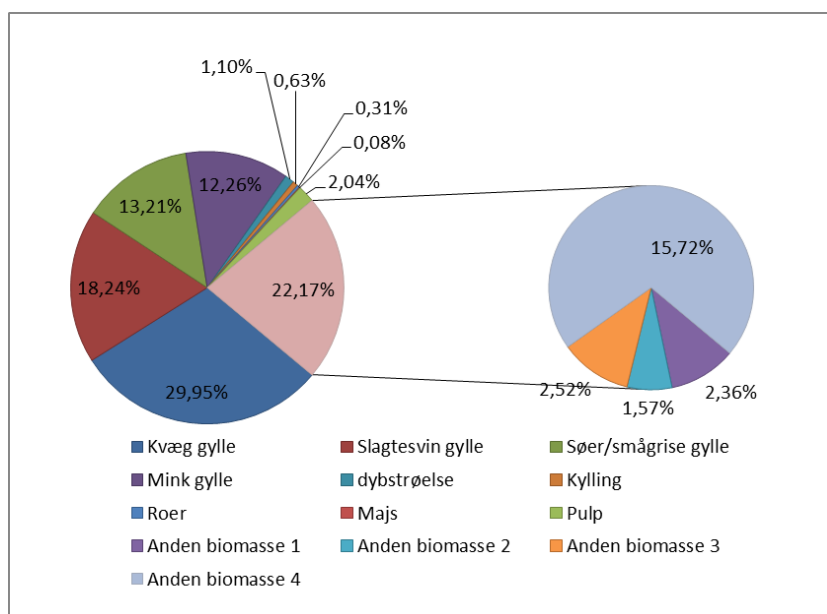
Billede 9: Maabjerg BioEnergy (illustration fra hjemmesiden)



Figur 14: Principskitse over Maabjerg Bioenergy



Figur 15: Flowdiagram Maabjerg BioEnergy



Figur 16: Procentvis fordeling af de forskellige biomasser i MEC Biogas

Madsen Bioenergi(BRM)

Anlægget er opført i 2014, som et stort Lundsby gårdanlæg, der årligt behandler ca. 120.000 tons biomasse. Det er primært kvæg- og svinegylle det behandles, men der suppleres med energiafgrøder som majs- og rughelsæd. Madsen Bioenergi får i øjeblikket tilbudt meget dybstrøelse som biomasse, dermed forventes andelen af dette øget, og mængden af energiafgrøder reduceres på sigt. Anlægget drives med en procestemperatur på ca. 46⁰ C faldende til 42⁰ C grader i sekundære reaktorer, og der er en opholdstid på

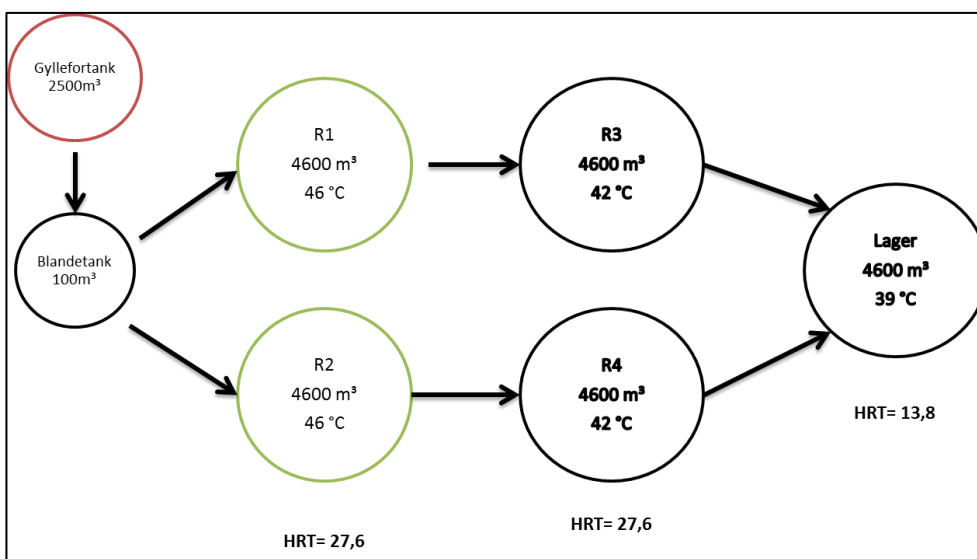
ca. 90 døgn. Som forbehandling til dybstrøelse og græsensilage anvendes en Triolet biomikser, der doserer det ned i mikserfortanken. Majs og helsæd doseres med en Fliegl indfødningskasse ned i samme fortank.

Halvdelen af procesvarmen kommer fra varmepumper, der henter varme fra lagertanken med afgasset biomasse. Procesvarmen til opgraderingsanlægget produceres på et LinKa halmfyr, og det er spildvarme fra dette opgraderingsanlæg der leverer resten af procesvarmen til biogasanlægget.

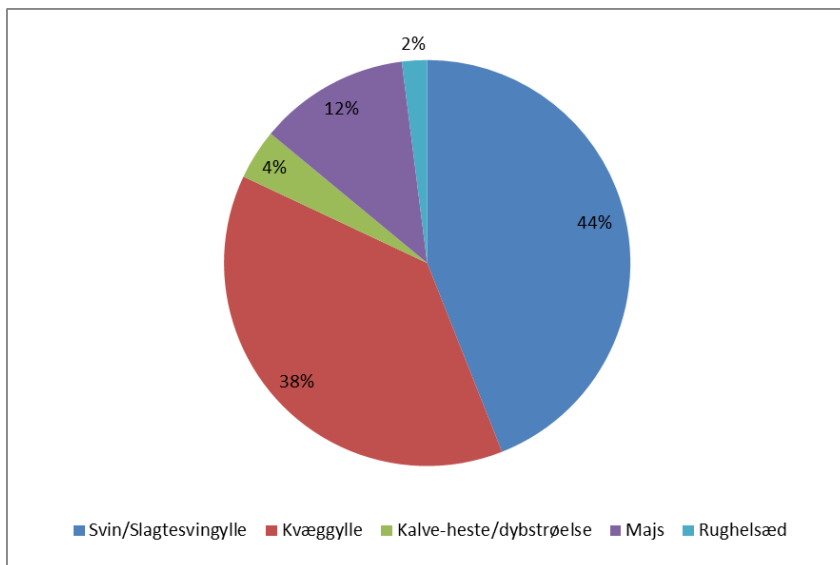
Den producerede biogas opgraderes i et Ammongas anlæg, og injiceres ved 4 bar i naturgasnettet via en 11 km lang gasledning. Til lugtrensning er der tidligere anvendt et oxideringsanlæg, som nu er udskiftet med et biologisk lugtrensningsanlæg, der er opført inde i en del af halmageret.



Billede 10: Madsen Bioenergi



Figur 17: Flow diagram og biomasse for Madsen Bioenergi



Figur 18: Procentvis fordeling af de forskellige biomasser

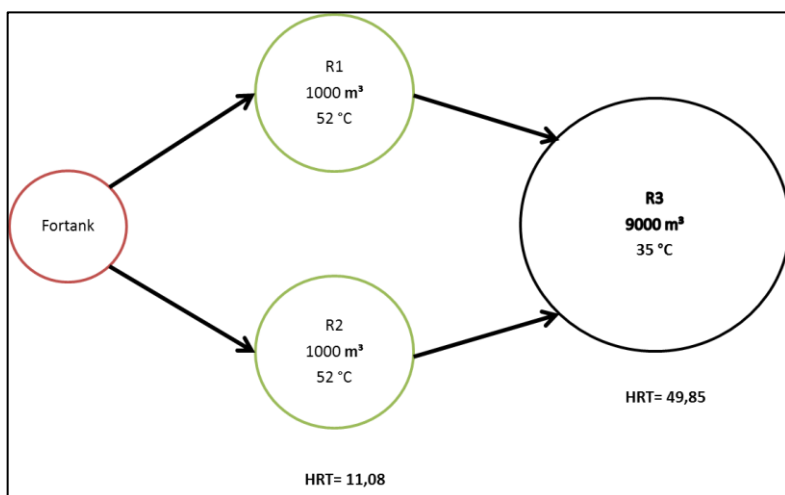
NGF Nature Energy Vaarst (VAA)

Anlægget er opført i 1994, men kom først i fuld drift i 1997. I 2014 blev anlægget overtaget af NGF Nature Energy Vaarst, og er i gang med en gennemgribende renovering og udvidelse fra at behandle ca. 55.000 tons biomasse til ca. 300.000 tons i 2016. Biomassen vil primært være husdyrgødning og dybstrøelse fra nærområdet suppleret med organisk affald. Udvidelsen er opdelt i to faser, hvor fase et er etablering af et Malmberg opgraderingsanlæg, svovlrensingsanlæg og ny reaktor på 6.000m³. Fase to er nedlæggelse af den gamle store reaktor på ca. 10.000m³, der viger pladsen til fordel for to nye 6.000m³ reaktorer, og etablering af ny forlagertank og læsse/lossehal. Når anlægget er færdigt, er reaktorkapaciteten beregnet til 30 døgnsopholdstid. Til forbehandling anvendes et Xchopper knuseranlæg fra Xergi.

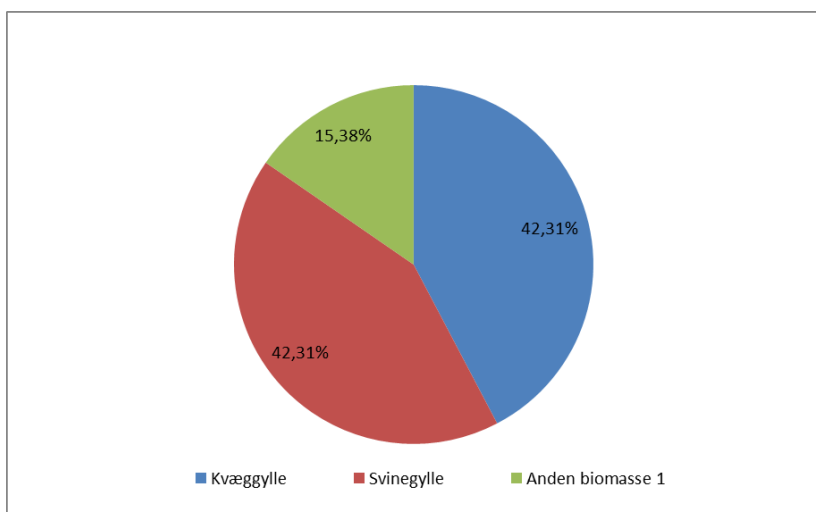
Biogassen opgraderes og injiceres i naturgasnettet ved ca. 7 bar tryk via en ca. 7 km gasledning.



Billede 11: NGF Nature Energy Vaarst (billede fra hjemmesiden)



Figur 19: Flow diagram og biomasse for NGF Nature Energy Vaarst



Figur 20: Procentvis fordeling af de forskellige biomasser

Ribe Biogas A/S (RI)

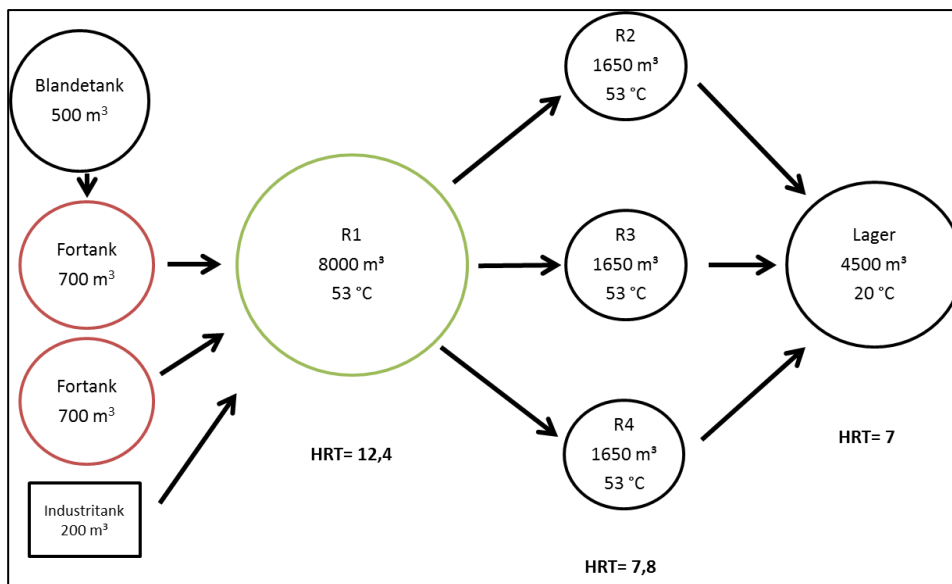
Ribe Biogas A/S er opført i 1990, men har gennemgået en stor renovering og udvidelse i 2013/2014, hvor der bl.a. er bygget ny reaktor, læsse/lossehal, lugtrensingsanlæg og en hal til faste biomasser. Årligt behandles ca. 225.000 tons biomasse, hvoraf størstedelen er kvæggylle suppleret med organiske restprodukter. Anlægget kører termofil proces med temperatur på ca. 53° C, og har reaktorkapacitet svarende til ca. 22 døgn's opholdstid. I forbindelse med udvidelsen, er så mange pumpeledninger som muligt placeret overjordisk for at lette tilgangen til dem.

Det planlægges, at øge anvendelse af tørre biomasser som dybstrøelse, enggræs, foderrester og lignende. Der vil i denne forbindelse blive installeret en dobbelt maceratorlinje, for yderligere findeling af biomassen, før det pumpes ind i reaktoren.

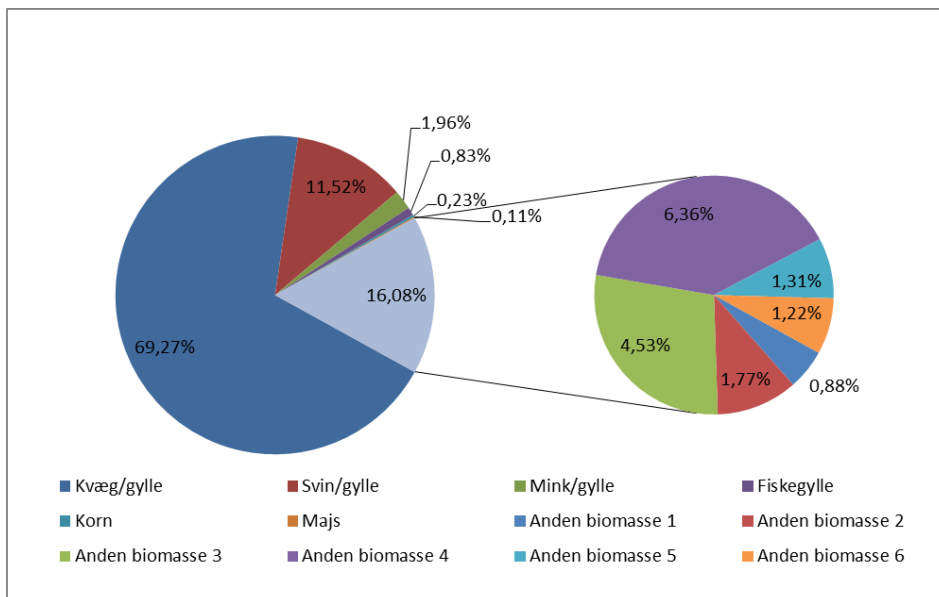
Den producerede biogas afsættes til Ribe Fjernvarme, der anvender det til kraftvarme. En mindre del anvendes til elproduktion i egen generator. Der er et ønske om at opgradere og indføde i naturgasnettet, men som det er i dag, vil det kræve tryksætning op til 80 bar, hvilket er for omkostningstungt.



Billede 12: Ribe Biogas A/S



Figur 21: Flow diagram og biomasse for Ribe Biogas A/S



Figur 22: Procentvis fordeling af de forskellige biomasser

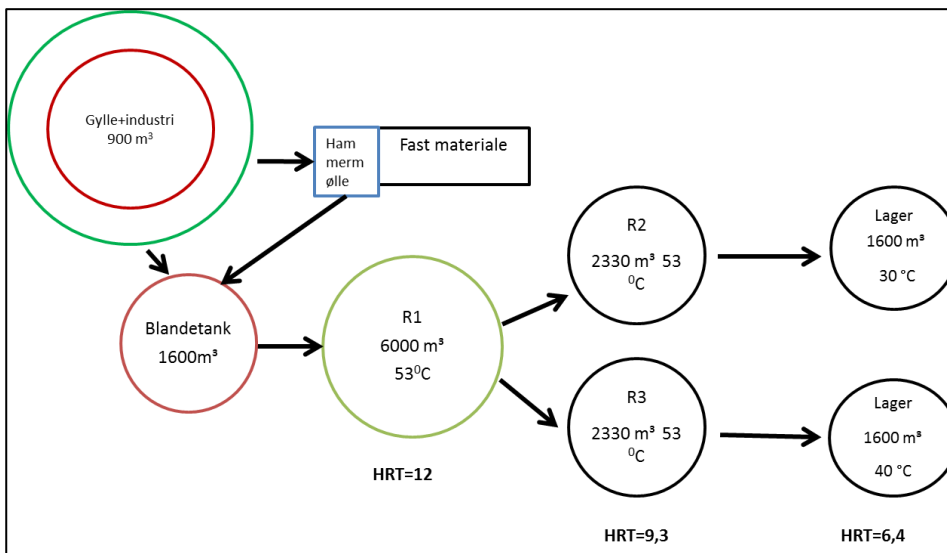
Thorsø Miljø- og Biogasanlæg amba (THO)

Thorsø Miljø- og Biogasanlæg Amba er opført af BWSC i 1992 og har gennemgået en meget stor renovering i 2013/2014 med ny reaktor, nyt forbehandlingsudstyr, større gaslager, udvidelse af gasrensesystem mm. Anlægget behandler årligt ca. 170.000 tons kvæg og svinegylle suppleret med lidt organisk affald. Efter renoveringen behandler anlægget også dybstrøelse og foderrester samt en mindre mængde energiafgrøder. Anlægget har erfaring med sæsondifferentiering, og det er planlagt at dybstrøelse og foderrester evt. suppleret med majsensilage skal fungere som booster, i de perioder hvor der ikke er problemer med afsætning af biogas. Et Hüningen forbehandlingsanlæg, bestående af hammermølle og påslag, skal forbehandle de tørre biomasser til at de kan pumpes ind i reaktorerne. Anlægget drives termofilt og alle biomasser hygiejniseres ved 70° i en time.

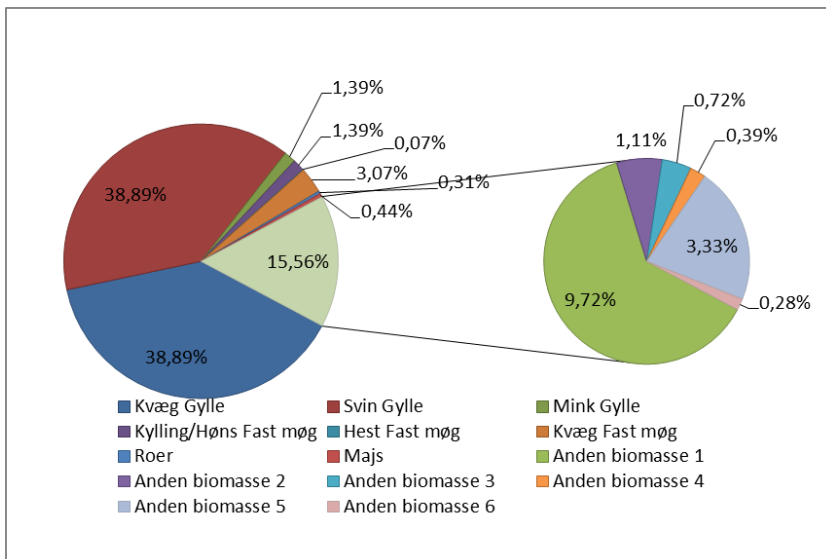
Den producerede biogas afsættes til Thorsø kraftvarme, og der arbejdes på at kunne forsyne det nærliggende mejeri med biogas fremover.



Billede 13: Thorsø Miljø- og Biogasanlæg Amba. (kilde: Thorsø Miljø- og Biogasanlæg Amba)



Figur 23: Flowdiagram Thorsø Miljø- og Biogasanlæg Amba



Figur 24: Procentvis fordeling af biomasse

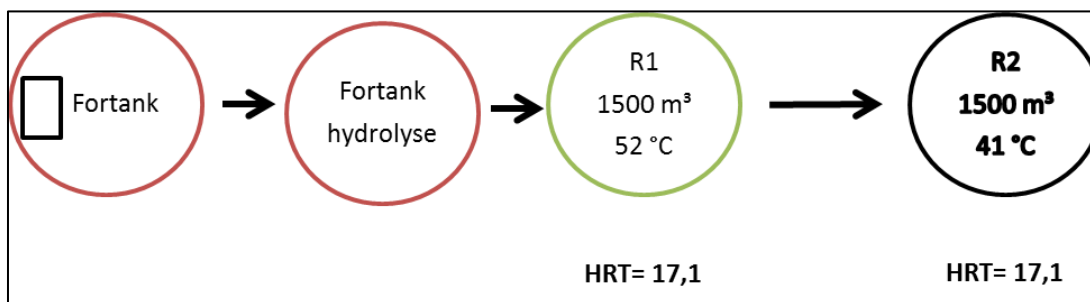
CombiGas Hemmet (COM)

Gårdanlægget er opført i 2012 og behandler ca. 35.000 tons biomasse årligt. Biomassen består primært af svinegylle, og faste biomasser som dybstrøelse, græsensilage og halm suppleret med slagteriaffald mm. Anlægget er opbygget med en mikserfortank, med kraftig omrøring, til opblanding af faste biomasser. Der recirkuleres væske fra en forreaktor med gaslager, til opblanding af biomassen. I denne forreaktor forventes at være en hydrolyse effekt. De to andre reaktorer er primær og sekundær reaktor. Som varmekilde anvendes varmepumper, og til omrøring i de to reaktorer anvendes gasmix system fra Landia. Anlægget drives termofilt ved ca. 52^oC, og med en opholdstid på ca. 34 døgn.

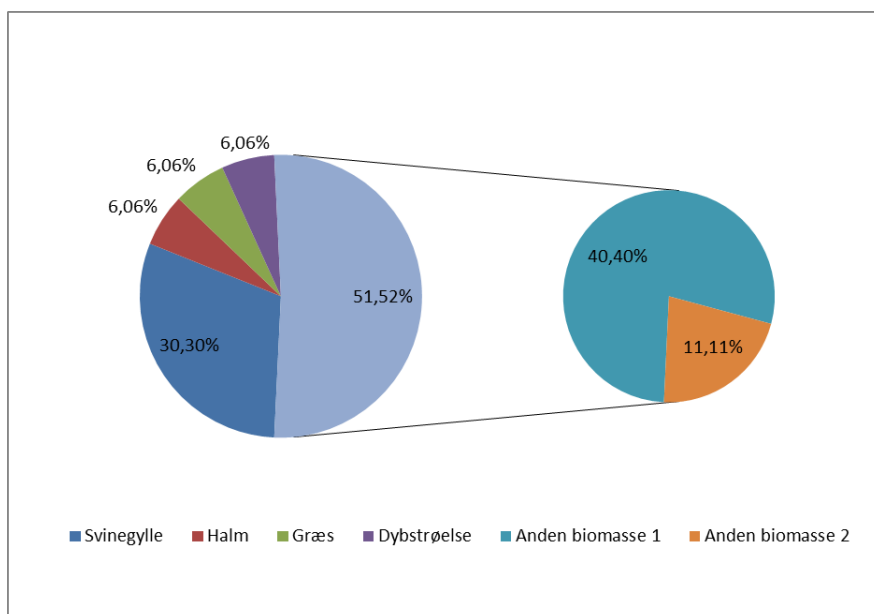
I 2015 er der installeret opgraderingsanlæg, som skal opgradere hele biogasproduktionen til efterfølgende indfødnings i naturgasnettet. Der etableres samtidig ekstra reaktorkapacitet for at mindske restgaspotentialer i biomassen.



Billede 14: CombiGas Hemmet



Figur 25: Flow diagram og biomasse for CombiGas Hemmet



Figur 26: Procentvis fordeling af biomasse i CombiGas Hemmet

Grøngas Hjørring(JPL)

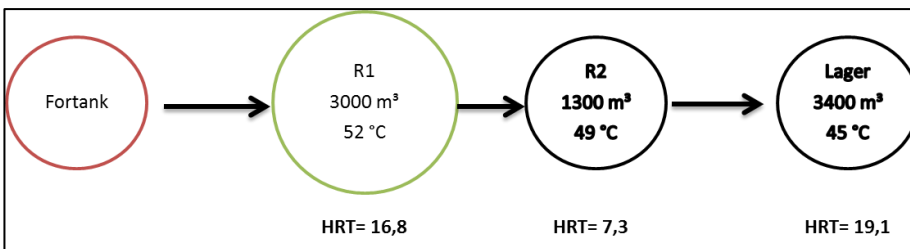
Anlægget er etableret i 2002, men udbygget og renoveret siden. Der behandles ca. 50.000 tons biomasse, primært bestående af kvæg- og svinegylle, roer og majsensilage, suppleret med organisk affald. Anlægget drives som et termofilt anlæg med en procestemperatur på ca. 52°C, og en samlet reaktorkapacitet på ca. 43 døgn inklusiv eftergaslager. Roerne vaskes med speciel mobil roevasker, og efterfølgende snittes de og opbevares i lagertank. Denne lagertank er beklædt med en plastbelægning, for at betonen kan modstå den lave pH-værdi. Med Roevaskeren kan sandindholdet komme helt ned på 2% i roerne.

Reaktorerne har keglebund og de tømnes ved udslusning, hvilket også vurderes at være årsagen til, at der ikke er sandaflejringer i reaktoren, men i stedet aflejres det i eftergaslageret.

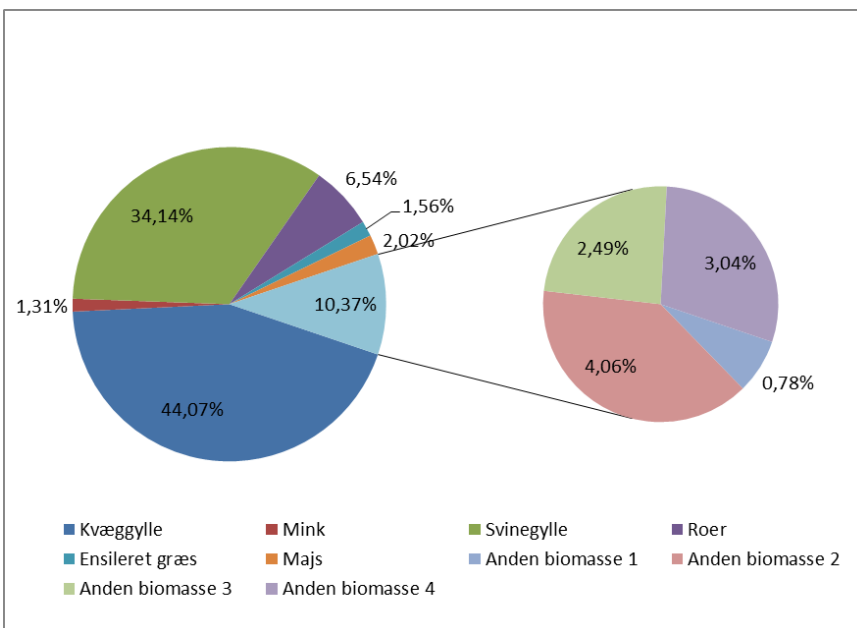
Biogassen anvendes til elproduktion, og varmen afsættes til Hjørring Fjernvarme via en ca. 4 km varmeledning.



Billede 15: Grøngas Hjørning



Figur 27: Flow diagram og biomasse for Grøngas Hjørning



Figur 28: Procentvis fordeling af biomasse

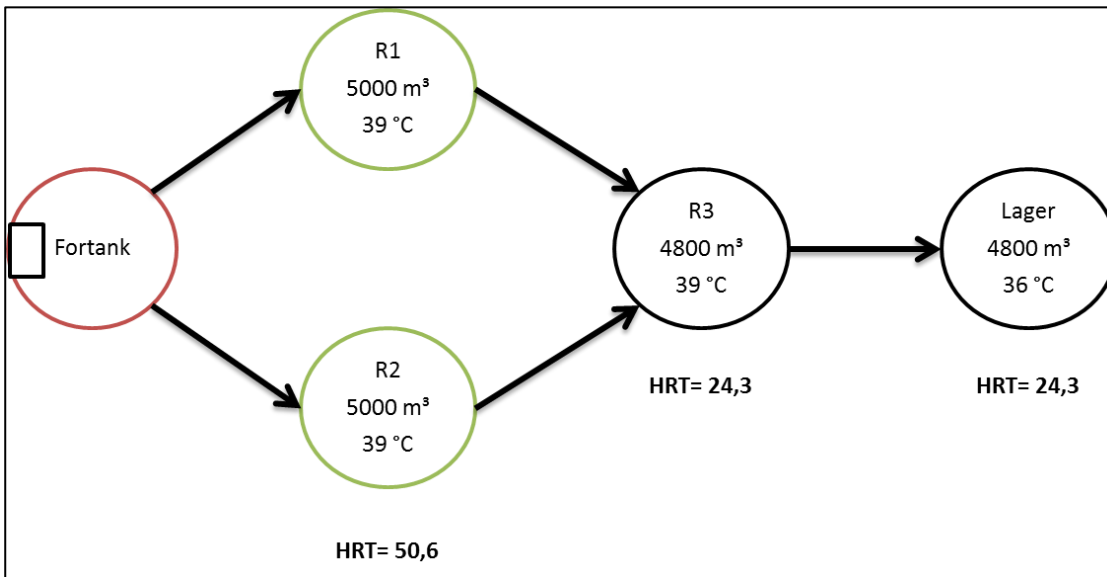
Holbæk Bioenergi (HOL)

Anlægget, der ligger i Sydjylland, er opført i 2011/2012 som et Lundsby gårdanlæg. Anlægget behandler årligt ca. 65.000 tons biomasse, bestående af kvæggylle, dybstrøelse, majsensilage, kornafrens mm, og producerer ca. 3 mio. m³ biogas om året. Anlægget drives som et mesofilt anlæg, med en procestemperatur på ca. 39⁰C, og med en opholdstid på over 90 døgn. Der er opstillet en Triolet biomikser til oprivning, og dosering af faste biomasser ned i fortanken. Der er gode erfaringer med kompostering af kornafrens, dybstrøelse og evt. fiberfraktion før indfødnig i reaktorer.

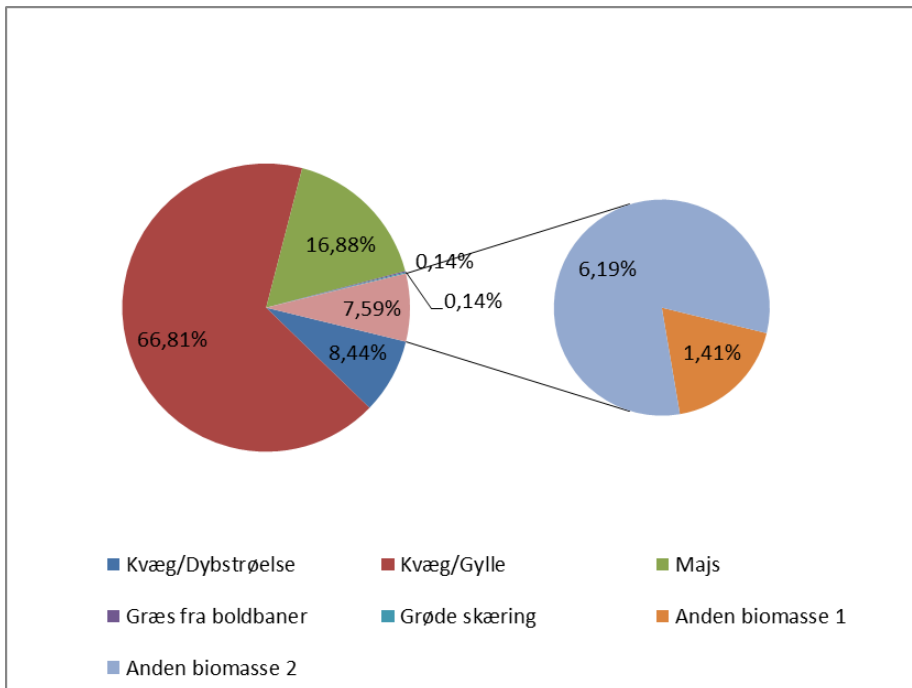
Biogassen afsættes dels til et nærliggende kraftvarmeværk, der producerer el og varme, og dels til anlæggets kraftvarmemotor til produktion af procesvarme og salg af el til nettet.



Billede 16: Holbæk Bioenergi



Figur 29: Flow diagram og biomasse for Holbæk Bioenergi



Figur 30: Procentvis fordeling af de forskellige biomasser i Holbæk Biogas

Lynggaard Biogas (PA)

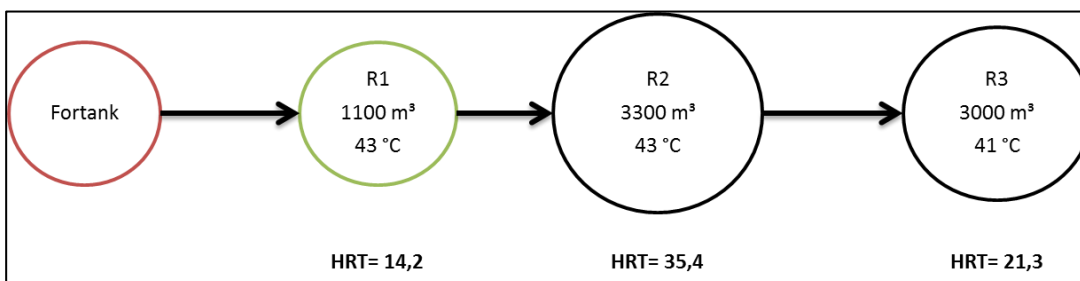
Lynggaard biogas er opført som et gårdanlæg, der ligger i umiddelbar tilknytning til svineproduktionen. Anlægget behandler ca. 20.000 tons biomasse om året, bestående af svinegylle, dybstrøelse, energiafgrøder og organiske restprodukter. Anlægget drives ved mesofil procestemperatur på ca. 43°C, og har en reaktorkapacitet svarende til en opholdstid på mere end 70 døgn inkl. eftergaslager.

Det er planlagt at købe en Euromilling halmmølle, for at tilføje mere biomasse i form af formalet halm. Det er målet at behandle ca. 2.000 tons halm om året.

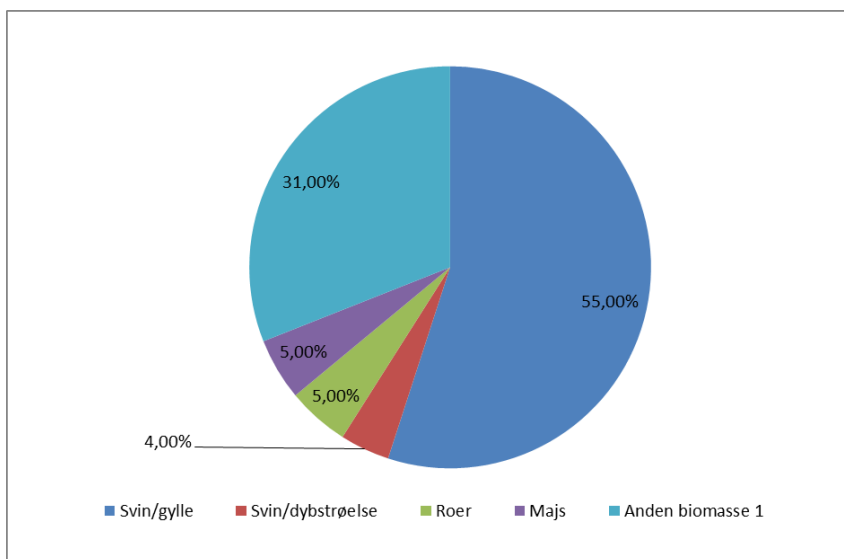
Den producerede biogas anvendes til elproduktion og varmen sørger for opvarmning af svinestalde, 12 boliger mm. I vintermånederne anvendes en del af biogassen direkte i gaskedel for at sikre tilstrækkelig med varme i svinestalde og boliger.



Billede 17: Lynggaard Biogas



Figur 31: Flow diagram og biomasse for Lynggård Biogas



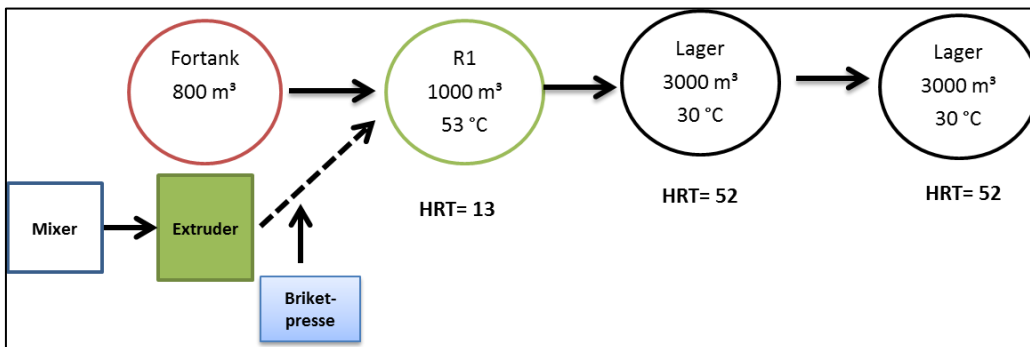
Figur 32: Procentvis fordeling af de forskellige biomasser i Lynggård Biogas

Aarhus Universitet Foulum (FOU)

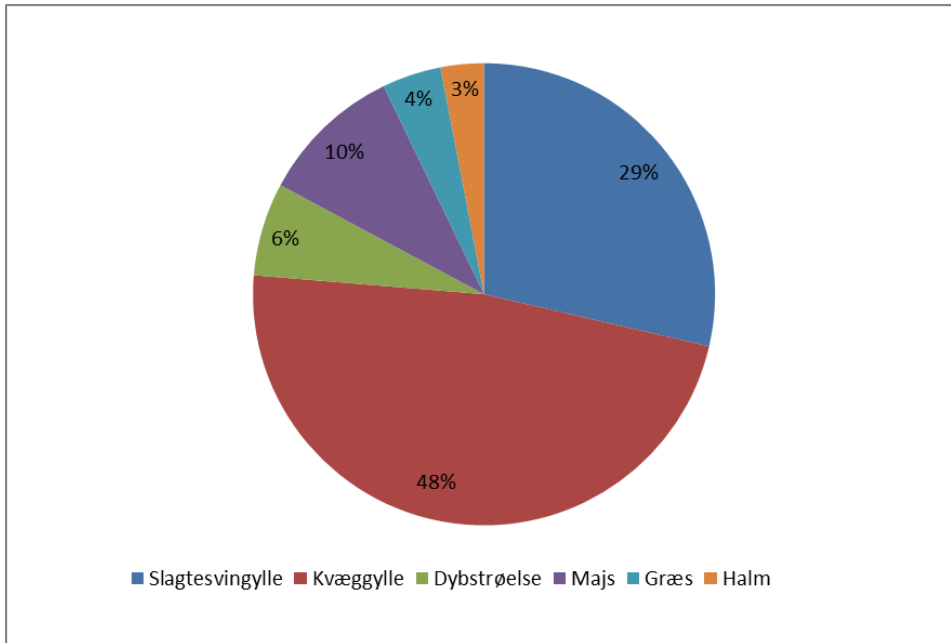
Biogasanlægget ved AU Foulum blev startet op i efteråret 2007, og efter en kortere indkøringsperiode var anlægget i fuld produktion. Anlægget tilføres en blanding af halm, græs, afgrøder og husdyrgødning herunder en del fast gødning. En stor del af græsset er enggræs fra landskabspleje, og hvert år køres der 4 måneder med økologisk drift. Gasproduktionen har været støt stigende siden opstarten, og der produceres cirka 4.800 kubikmeter biogas/døgn, svarende til ca. 1,75 mio. m³ biogas pr. år. Der produceres cirka 10 MWh el og 14 MWh varme dagligt på anlægget. Biogasanlægget har en reaktor på 1.200 kubikmeter med en gasproduktion og derudover omfatter anlægget også laboratorier, fire mindre forsøgsreaktorer, instrumenter til måling, styring og overvågning af processen, kontorer og en forsøgshal, hvor forskere og virksomheder kan leje sig ind med forsøgsopstillinger. Der er investeret i forskellige forbehandlingsudstyr i form af bl.a. en ekstruder og et anlæg til brikketering.



Billede 18: Aarhus Universitet, biogasanlæg i Foulum



Figur 33: Flow diagram og biomasse for Aarhus Universitet biogasanlæg i Foulum



Figur 34: Procentvis fordeling af de forskellige biomasser i Foulum Biogas

3.2 Procestemperaturer

Proces temperaturforholdene er varierende mellem de deltagende anlæg med en lille overvægt af termofile anlæg. I nedenstående **Figur 35** er procestemperaturen illustreret for de deltagende anlæg.

Signaturforklaring til denne og følgende figurer:

LIN = Linkogas

BOR = Biokraft A/S (Bornholm)

HAS = Hashøj Biogas

LEM = Lemvig Biogas A.m.b.A.

THO = Thorsø Miljø- og Biogasanlæg Amba.

BLÅ = Blaabjerg Biogas

MÅ = MEC Biogas (tidligere Maabjerg Bioenergy)

RI = Ribe Biogas A/S

VE = Energi Vegger

VAA = NGF Nature Energy Vaarst

BRM = Madsen Bioenergi

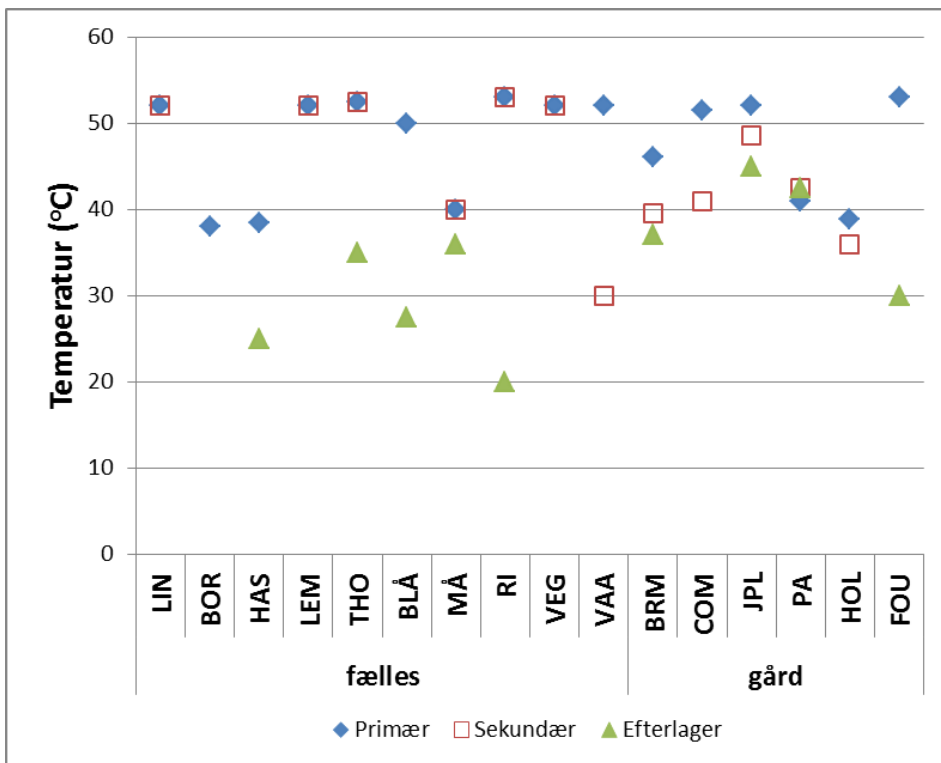
COM = CombiGas Hemmet

JPL = Grøngas Hjørring

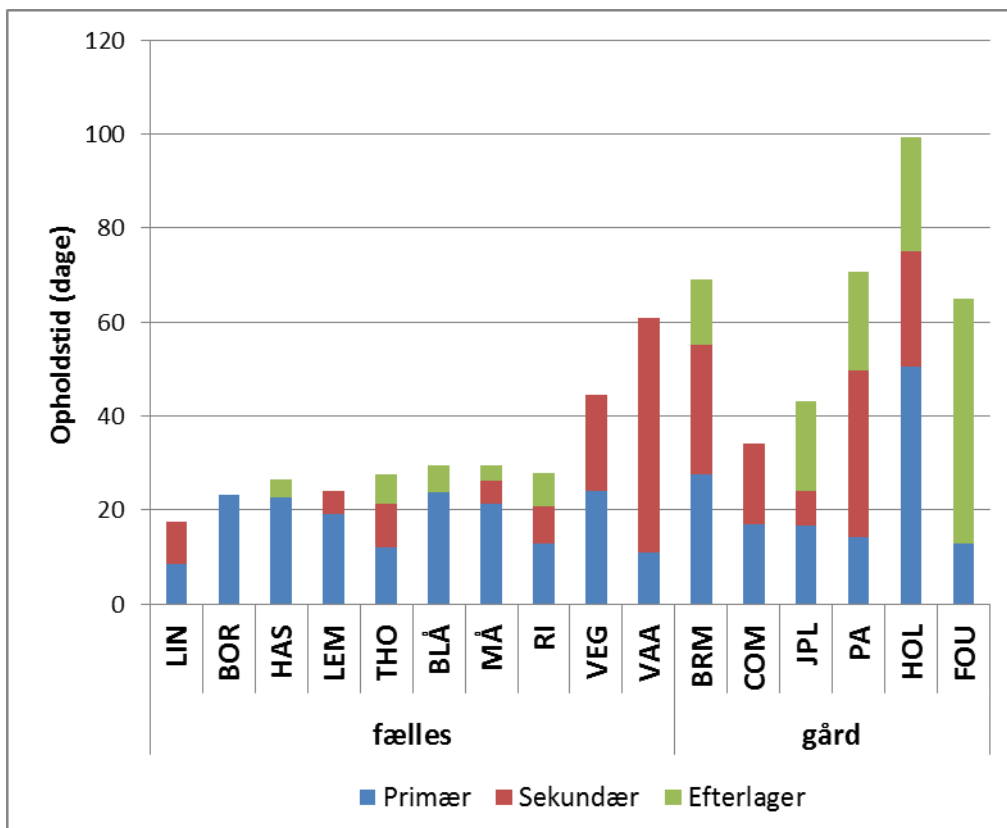
PA = Lynggård Biogas

HOL = Holbæk Bioenergi

FOU = Aarhus Universitet Foulum



Figur 35 Procestemperaturer i deltagende biogasanlæg opdelt på de enkelte procestrin

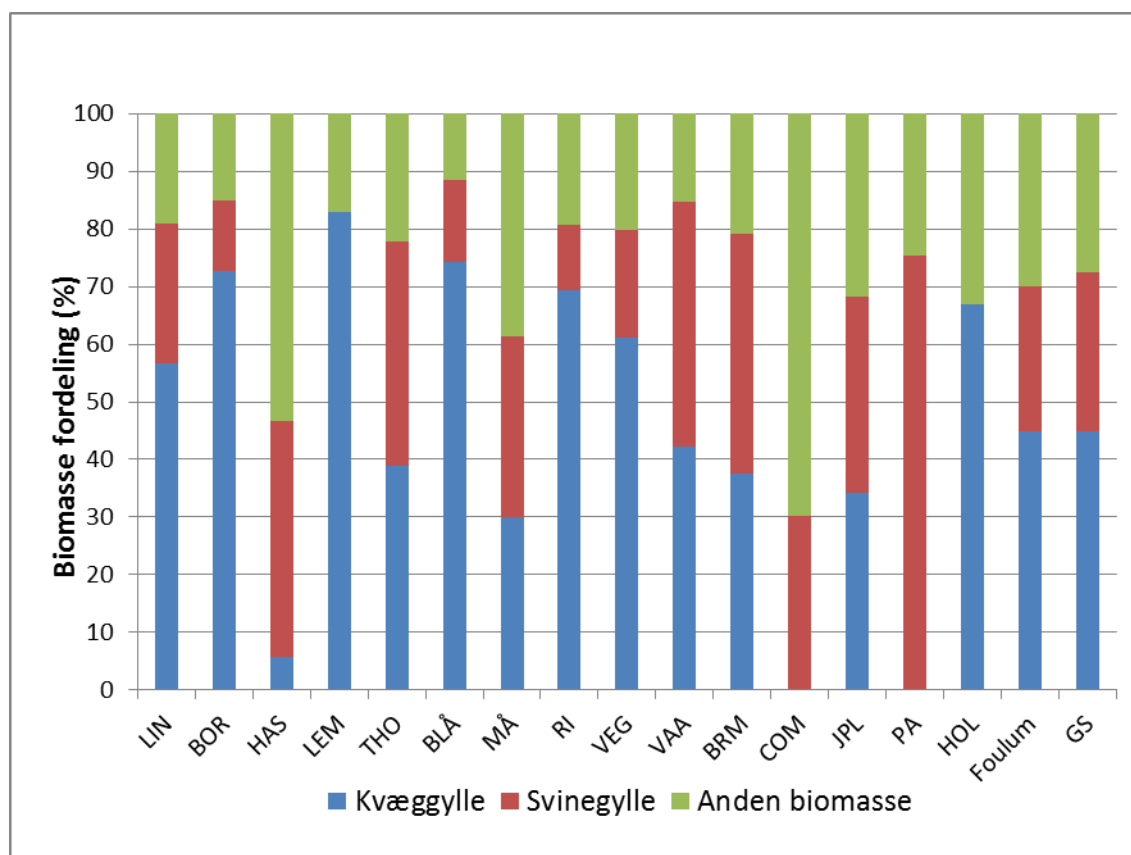


Figur 36: Opholdstider i forskellige procestrin i de deltagende biogasanlæg

Proces layout og opholdstider varierer meget mellem de enkelte anlæg, og der er en overvægt af anlæg der har seriel udrådning. Den samlede opholdstid varierer fra 18 dage til næsten 100 dage, Figur 36. Der er en tendens til at de gamle anlæg baseret på affald har en kortere opholdstid, end de nyere anlæg der har tilpasset opholdstiden til nye og mere besværlige biomasser som dybstrøelse, der kræver længere udrådningstid.

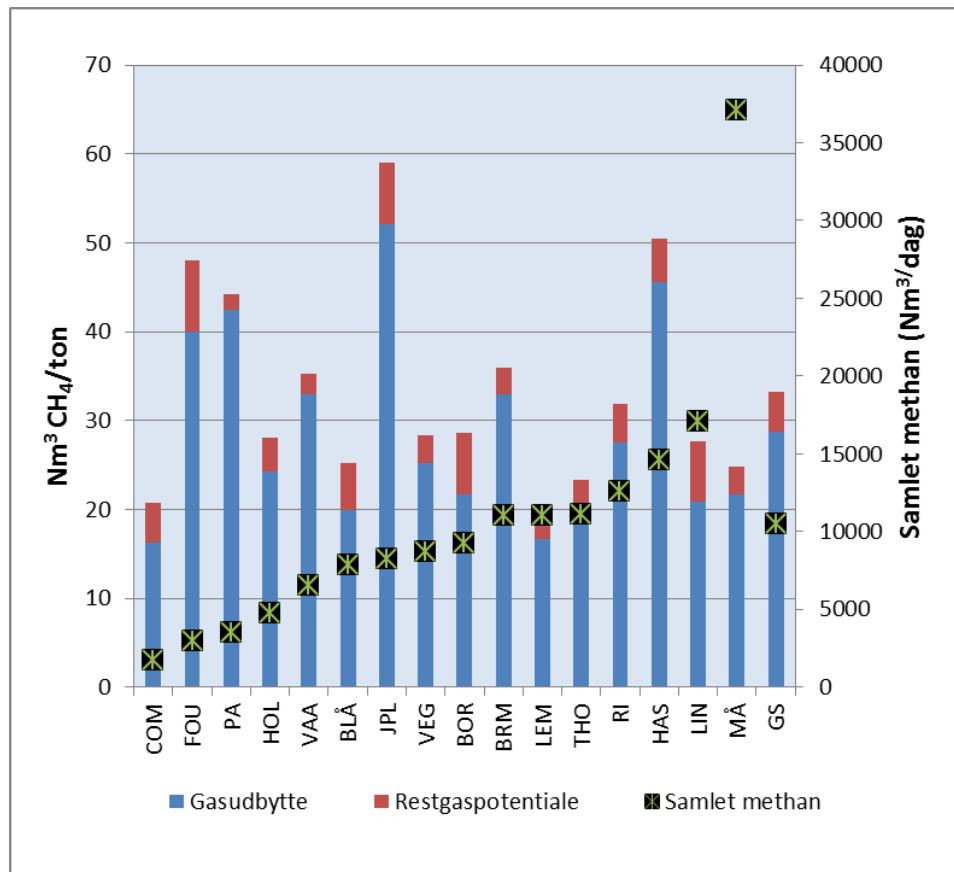
Biomasse og gasproduktion

Det fremgår af Figur 37, at der er en stor variation på biomassen mellem anlæggene med en overvægt af kvæggylle der i gennemsnit udgør 45% af biomassen, medens svinegylle og anden biomasse hver udgør ca. 28% af biomassen.



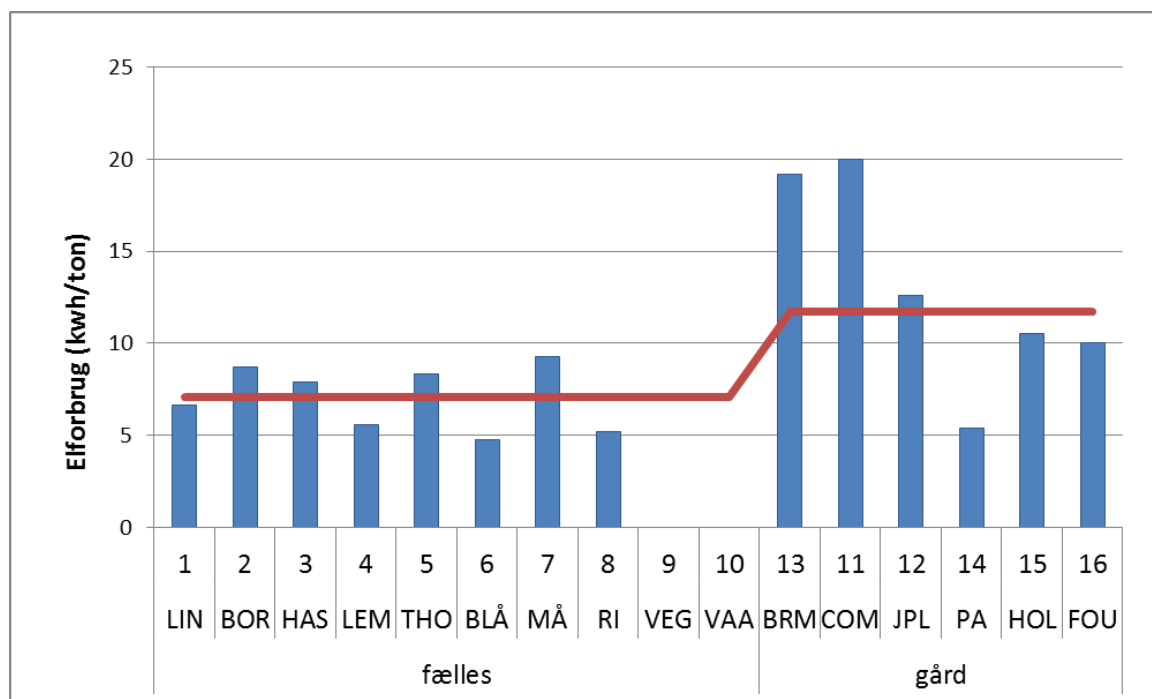
Figur 37 Biomassefordeling, anden biomasse dækker over fast biomasse, afgrøder og affald, GS er gennemsnit for alle anlæg

I Figur 38 er det maksimale gasudbytte pr. ton materiale der tilføres anlæggene, illustreret som summen af det udbytte der opnås på anlægget, og restgas potentialet der er bestemt i laboratoriet. Det opnåede gaspotentiale pr. ton biomasse varierer mellem anlæggene, og er i gennemsnit 27,1 Nm³ CH₄/ton med et uudnyttet potentiale på ca. 4,1 Nm³ CH₄/ton. Der er også en stor variation på det samlede gasudbytte på anlæggene med en variation på ca. 2.000-36.000 m³ CH₄/døgn og et gennemsnit på ca. 10.000 m³ CH₄ pr. døgn.



Figur 38 Gasproduktion pr. tons biomasse fordelt på det opnåede gasudbytte og restgaspotentialet, samt det samlede gaspotentiale pr. døgn på anlæggene. GS er gennemsnit for alle anlæg

El forbruget på de enkelte anlæg er vist i Figur 39. Der er stor forskel på elforbruget på de enkelte anlæg, og der er en tendens til at elforbruget er større på gårdanlæg i forhold til fællesanlæg, men dette er ikke entydigt. For 2 af gårdanlæggene bruges varmepumper til opvarmning, hvilket giver et højere elforbrug, men til gengæld langt mindre varmeforbrug. Ligeledes har gårdanlæggene længere opholdstid, hvilket giver større forbrug af el til omrøring. På fællesanlæggene skal gassen ofte transporteres over længere afstande, hvilket kræver energi til blæsere. Forskelle i afstande til modtagere af biogassen, er en del af forklaringen på den store forskel der ses på energiforbruget mellem de enkelte fællesanlæg. I gennemsnit bruger fællesanlæggene 7 kWh_{el}/tons biomasse og gårdanlæggene 11 kWh_{el}/tons biomasse.



Figur 39 Elforbrug pr. tons biomasse for anlæggene

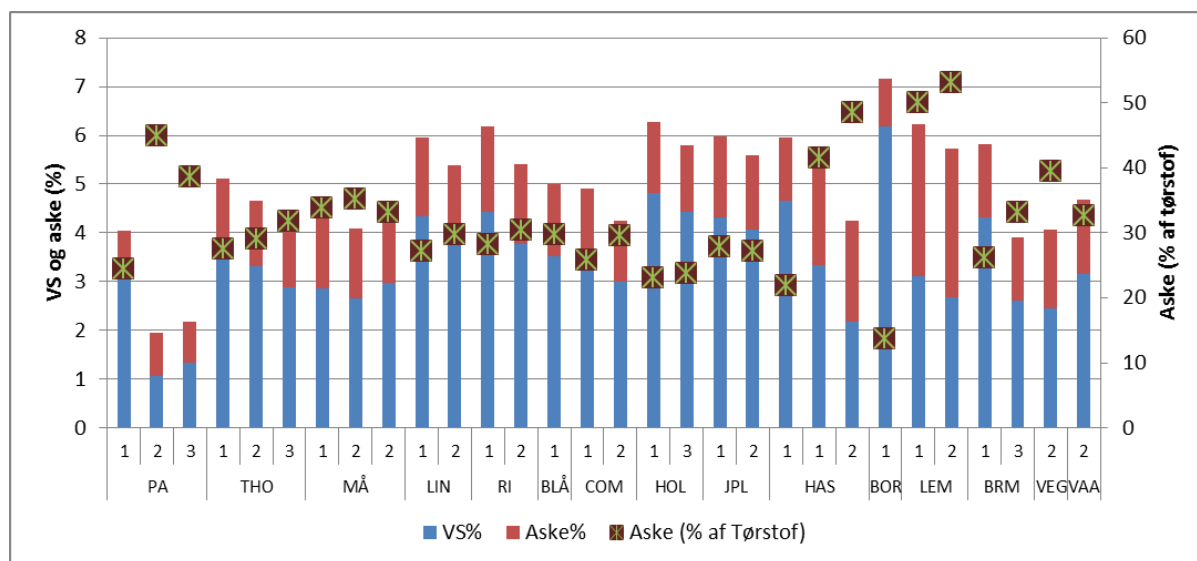
Sammensætning af afgasset biomasse

Tørstof og aske:

I forbindelse med prøvetagning på anlæggene er tørstofindhold og askeindhold bestemt i den afgassede biomasse. Askeindholdet udgør uorganisk tørstof og al biomasse indeholder en vis mængde aske, f.eks. er ca. 20% af tørstoffet i husdyrgødning i form af aske.

I Figur 40 er indholdet af aske og organisk tørstof for anlæggene angivet for de enkelte procestrin. Indholdet i det endeligt afgassede produkt, svarer til det indhold der er i sluttrinnet og summen af organisk tørstof og aske svarer til tørstofindholdet. Det fremgår, at der er stor forskel mellem anlæggene med et tørstofindhold der varierer fra ca. 2-7% med et gennemsnit på ca. 4,5%. I processen er der omsat VS, medens asken er konstant, og askens procentdel af tørstoffet kan være et udtryk for hvor godt anlægget har omsat biomassen, således at høje askeindhold indikerer høj omsætning. Den anvendte biomasse har

dog også betydning for askeindholdet ligesom prøvetagning kan have betydning. For anlæg hvor reaktoren er kraftigt omrørt vil askeindhold kunne være højere, da der ikke sker bundfældning af sand.

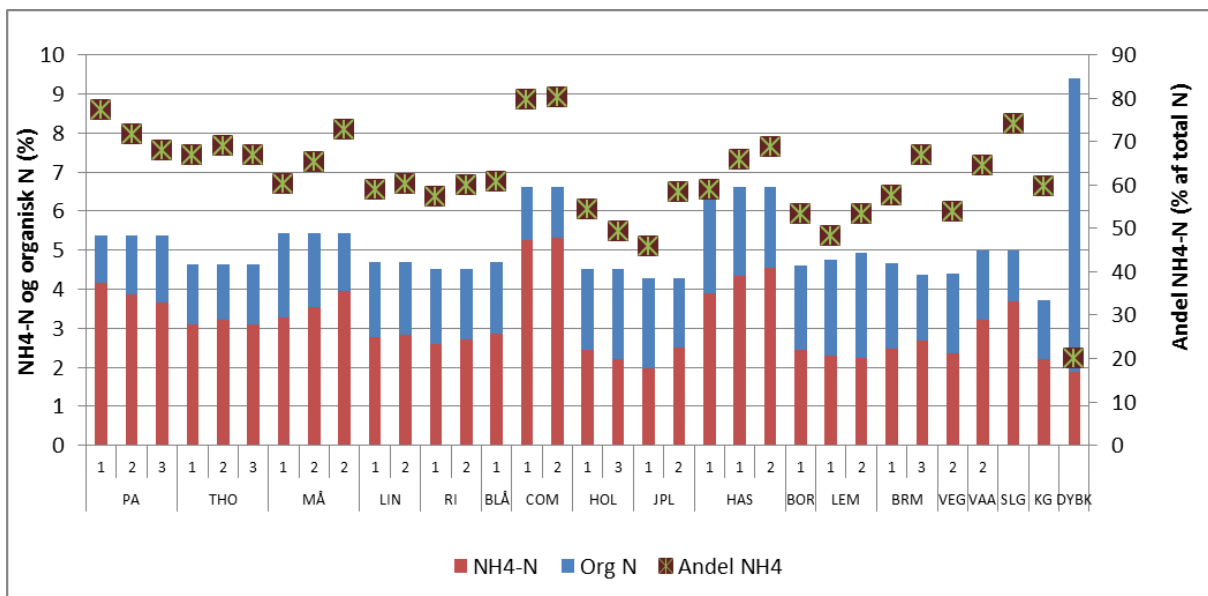


Figur 40 Organisk stof (VS) og aske indhold i afgasset biomasse fra anlæggene og de forskellige procestrin indikeret med tal. Summen af VS og aske svarer til det samlede tørstofindhold

Kvælstof og pH:

I forbindelse med prøvetagningerne på anlæggene er indholdet af kvælstof i form af organisk kvælstof og uorganisk kvælstof målt. Den uorganiske kvælstof består af ammonium og ammoniak hvor summen betegnes som TAN. Total indholdet af kvælstof (TN) er summen af organisk N og TAN.

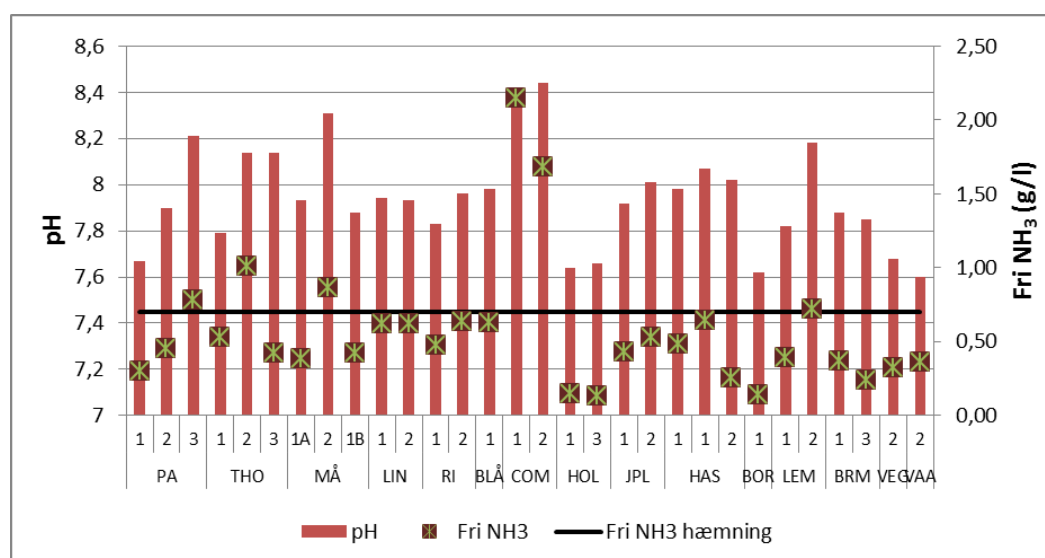
I Figur 41 er indholdet af TAN og organisk N for anlæggene angivet for de enkelte procestrin. TAN er et nødvendigt næringsstof for væksten af bakterier, der er involveret i biogasprocessen og mange undersøgelser har vist, at høje TANKoncentrationer kan hæmme dannelsen af metan. Det er tidligere vist at biogasprocessen bliver hæmmet ved alle pH værdier, når ammoniak koncentrationen overstiger 3 g NH₄-N/l.



Figur 41 Organisk kvælstof og ammonium kvælstof (TAN) i afgasset biomasse fra anlæggene og de forskellige procestrin. Summen af organisk kvælstof og TAN svarer til det samlede kvælstofindhold. SLG, KG og DYBK er normværdier for hhv. slagtesvinegylle, kvæggylle og dybstrøelse kvæg.

Det er imidlertid vigtigt at understrege, at enhver hæmning med ammoniak, ikke er relateret direkte til den samlede ammonium koncentration, men til koncentrationen af fri ammoniak.

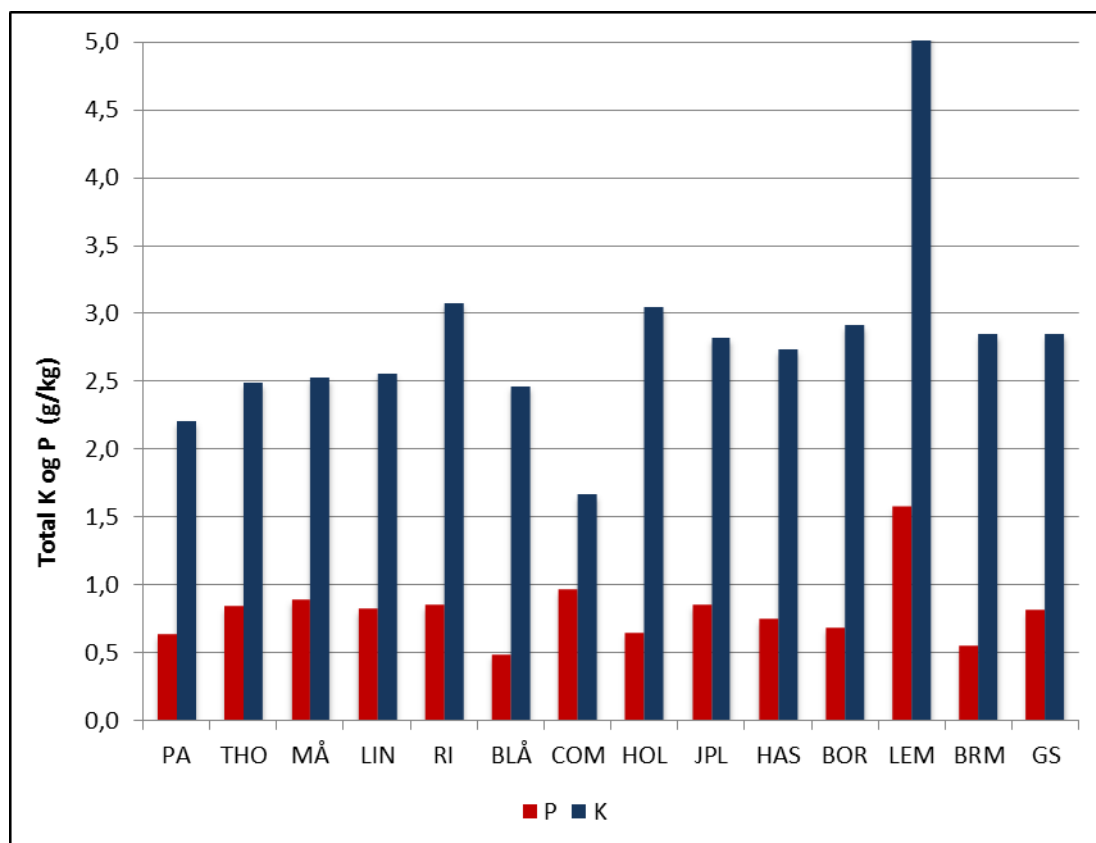
Den fri ammoniak koncentration afhænger – udover den samlede ammoniumkoncentration – af , temperaturen og pH værdien. Tidligere undersøgelser har vist, at en fri ammoniak koncentration på 0,7 g NH₃-N/l kan reducere gasudbyttet til 50% ved termofile forhold. I Figur 42 er pH og fri ammoniak koncentration illustreret. Det fremgår, at pH varierer fra 7,6 til 8,5 og der således et ret stort spænd. Den fri ammoniak koncentration overstiger i flere tilfælde de 0,7 g/l der forventes at give hæmning. Der er en generel sammenhæng mellem høj pH og risikoen for hæmning.



Figur 42 pH og fri ammoniak. Grænsen på 0,7 g/liter fri NH₃ angiver niveau hvor der optræder hæmning

Fosfor (P) og kalium (K):

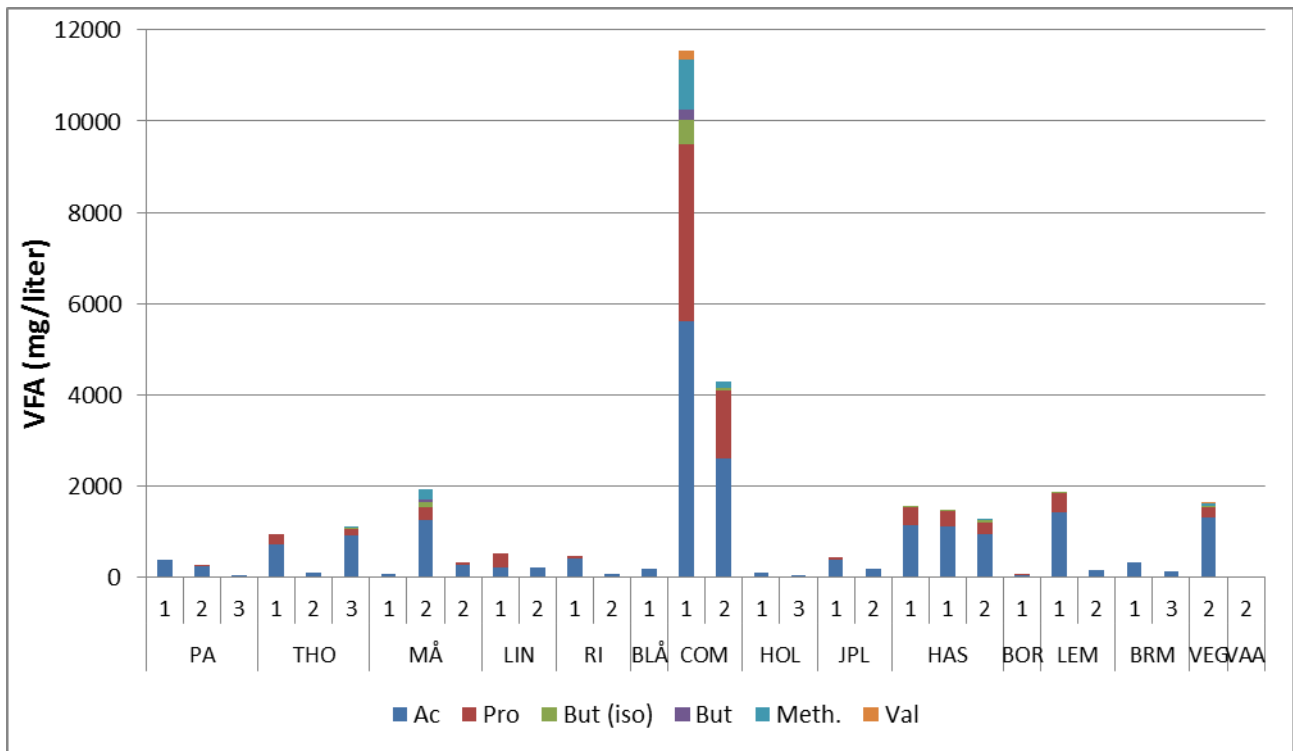
I Figur 43 er indholdet af aske og organisk tørstof for anlæggene angivet efter tørring i tørreskab af det afgassede slutprodukt. Indholdet af P og K er væsentligt i forhold til vurdering af gødningsværdi. Der er i gennemsnit 0,81 kg P og 2,8 kg K i gødningen. Et af anlæggene ligger væsentligt over de øvrige, og har dermed en betydelig højere værdi som gødning.



Figur 43 Fosfor (P) og kalium (K) i afgasset biomasse fra anlæggene

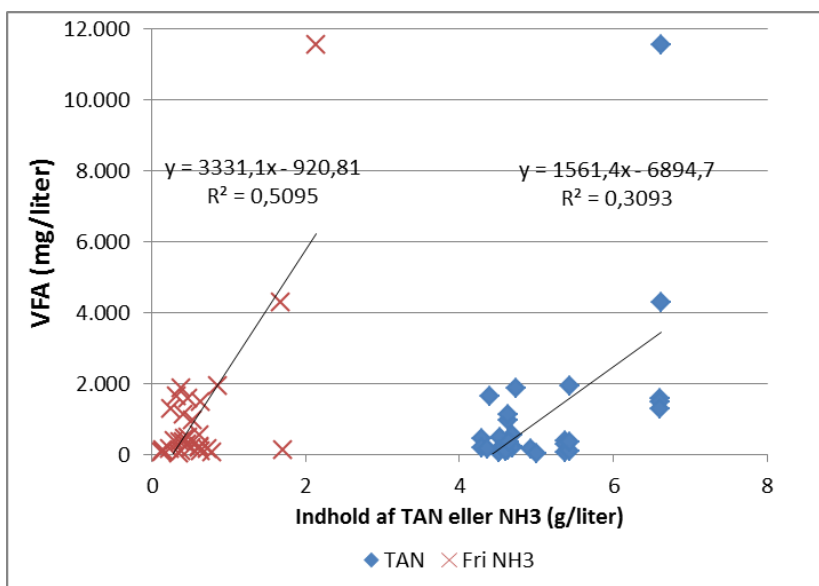
VFA indhold:

I nedenstående Figur 44 er indholdet af organiske syre (VFA) angivet. Generelt anses indholdet af total VFA, og indholdet af de enkelte VFA typer, som den vigtigste proces parameter. Derudover er totalkvælstofindholdet ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NH}_3\text{-N}$) en vigtig parameter, da den som tidligere beskrevet ofte kan være årsag til proceshæmning. Generelt har VFA indholdet været meget lavt på de deltagende anlæg, hvilket indikerer, at der ikke har været deciderede procesproblemer udover et enkelt tilfælde. Kun for et enkelt anlæg har indholdet været over 2000 mg/liter og det pågældende anlæg havde på tidspunktet for prøvetagning et meget højt ammoniak indhold, hvilket sandsynligvis har været årsagen til det høje VFA-indhold. Lave VFA indhold er dog ikke ensbetydende med at processen er optimal, da der stadig kan være et stort restgaspotential, hvilket skyldes at det ofte er hydrolysen der er begrænsende for at opnå en større andel af det potentielle gasudbytte.



Figur 44 Flygtige organiske syrer (VFA) i afgasset biomasse fra anlæggene og de forskellige procestrin indikeret med tal. Ac=eddikesyre, Pro=propionsyre, But (iso)=iso smørsyre, But=smørsyre, Meth=Methylsmørsyre, Val=Valeranesyre. På alle anlæggene er der målt VFA i sluttrinnet men kun på enkelte anlæg er målt i alle reaktorer.

Det er undersøgt, om der generelt er en sammenhæng mellem højt indhold af fri NH₃ eller total N. Sammenhængen er vist i nedenstående **Figur 45**, der viser, at der kun er en svag sammenhæng, og at sammenhængen som ventet er størst i forhold til den fri NH₃.



Figur 45 Indhold af VFA som funktion af TAN og Fri NH₃

3.3 Restgaspotentiale

Restgaspotentialet er det størst opnåelige gasudbytte, der kan opnås ved efterudrødning ved procestemperaturen, hvis opholdstiden i sidste trin forlænges, så den samlede opholdstid i anlægget udvides til minimum 100 dage. Det procentvise sluttab er beregnet ud fra restpotentialet, fundet efter sidste trin i processen med gasindvinding som procent af det maximale potentiale af biomassen (summen af den faktiske anlægsproduktion og restgaspotentialet fundet efter sidste trin med gasindvinding).

Følgende ligning anvendes:

$$B_{o(v)} = B_{p(v)} + B_{res(v)}$$

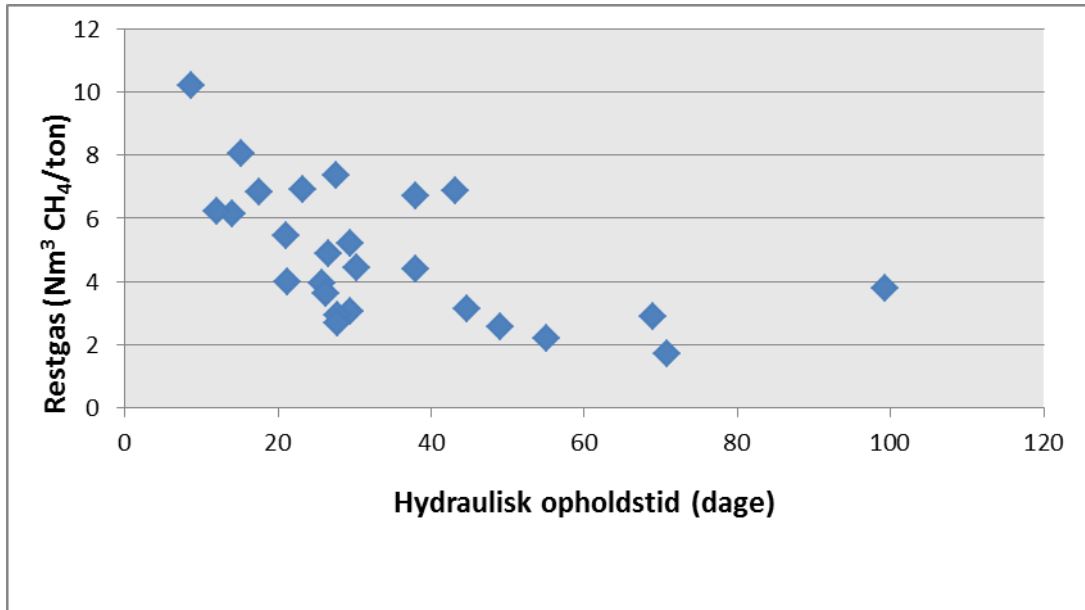
Hvor B_p er den aktuelle produktion som gennemsnit for måneden inden prøvetagning i $\text{Nm}^3 \text{CH}_4/\text{tons}$ anvendt biomasse og $B_{res(v)}$ er restgas potentialet efter det sidste trin med gasindvinding. Subscriptet v indikerer at udregningerne er gjort på vægtbasis. Det er valgt at regne på vægtbasis, da det er dette tal anlæggene har den mest præcise opgørelse for, medens tørstofindholdet ofte varierer over tid i forhold til ændringer i biomasse sammensætning. I Tabel 1 er restgaspotentialet opgjort. Termofil temperatur er defineret som temperaturområdet over 45°C og mesofil temperatur som temperaturområdet under 45°C .

Tabel 1: Restgas potentialer i afgasset biomasse efter de enkelte procestrin. Restgas potentialet i slut trinnet (samlet) er anlæggets reelle restgas potentiale. Det er ikke alle procestrin der er analyseret, og derfor svarer sum af enkelte procestrin ikke til den samlede. Endvidere er opholdstid i enkelte procestrin defineret som sum af opholdstid i det enkelte procestrin og alle tidligere procestrin.

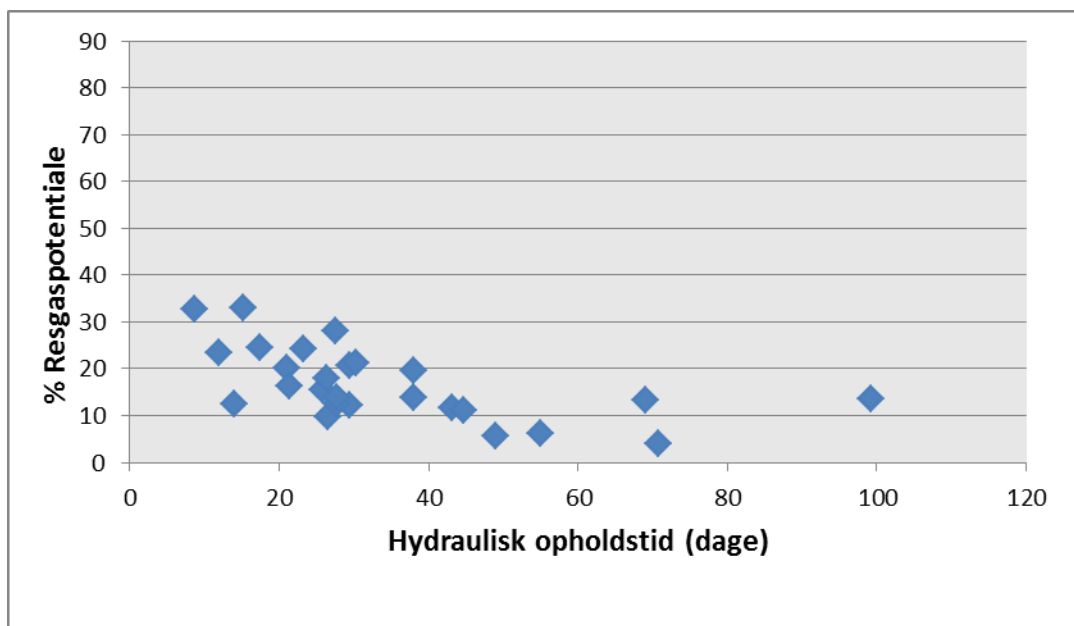
		Temp	Opholdstid dage	Restgas procent	B _o	B _p Nm ³ CH ₄ /ton	B _{res}
PA	Samlet	Meso	70,82	3,9	44,20	42,49	1,71
	primær	Meso	14,00	12,6	48,62	42,49	6,12
	sekundær	Meso	49,00	5,7	45,06	42,49	2,57
THO	Samlet	Thermo	27,72	12,6	23,33	20,40	2,93
	Primær	Thermo	12,00	23,4	26,63	20,40	6,23
	Sekundær	Thermo	21,32	16,3	24,37	20,40	3,97
MÅ	Samlet	Meso	29,52	12,3	24,80	21,74	3,06
	Primær	Meso	21,00	20,0	27,19	21,74	5,45
	Sekundær	Meso	25,80	15,4	25,69	21,74	3,95
LIN	Samlet	Thermo	17,52	24,6	27,69	20,88	6,81
	Primær	Thermo	8,64	32,8	31,08	20,88	10,20
RI	Samlet	Thermo	38,04	13,8	31,88	27,47	4,41
	Primær	Thermo	38,04	19,6	34,18	27,47	6,70
BLÅ	Samlet	Thermo	29,50	20,6	25,17	19,98	5,19
COM	Samlet	Thermo	30,30	21,3	20,75	16,32	4,43
	Primær	Thermo	15,15	33,0	24,34	16,32	8,03
HOL	Samlet	Meso	99,24	13,5	28,08	24,30	3,78
JPL	Samlet	Thermo	43,14	11,7	58,98	52,10	6,88
HAS	Samlet	Meso	26,58	9,7	50,46	45,57	4,89
BOR	Samlet	Meso	23,23	24,2	28,59	21,68	6,91
LEM	Samlet	Thermo	27,70	13,9	19,31	16,62	2,69
	Primær	Thermo	26,30	18,0	20,25	16,62	3,64
BRM	Samlet	Thermo	69,00	13,3	21,81	18,90	2,91
	Primær	Thermo	27,60	28,0	26,26	18,90	7,36
VEG	Samlet	Thermo	44,65	11,1	28,35	25,20	3,15
VAA	Samlet	Thermo	55,00	6,2	35,19	33,00	2,19
Gennemsnit af samlet			42	13,1	31,2	27,1	4,1

Det fremgår af tabel 1, at anlæggene i gennemsnit har et energiudbytte på 27,1 Nm³ CH₄/ton og et restgaspotentiale på 4,1 Nm³/ton input materiale, svarende til ca. 13,1% af det teoretiske. En vis andel af dette ville kunne udnyttes, hvis anlæggenes opholdstid var lang nok. Endvidere vil anlæggets klimaprofil kunne forbedres hvis restgaspotentialet minimeres.

I Figur 46 og Figur 47 er restgaspotentialet som funktion af opholdstiden illustreret. Det fremgår, at der er en stærk tendens til, at stigende opholdstid reducerer det procentvise restgaspotentiale, og en lidt svagere tendens for restgaspotentialet på vægt basis (Nm³/ton). Der er en enkelt måling ved opholdstid på ca. 100 dage, der ikke følger den generelle trend, men der ikke nogen umiddelbare forhold, der kan forklare årsagen til dette.

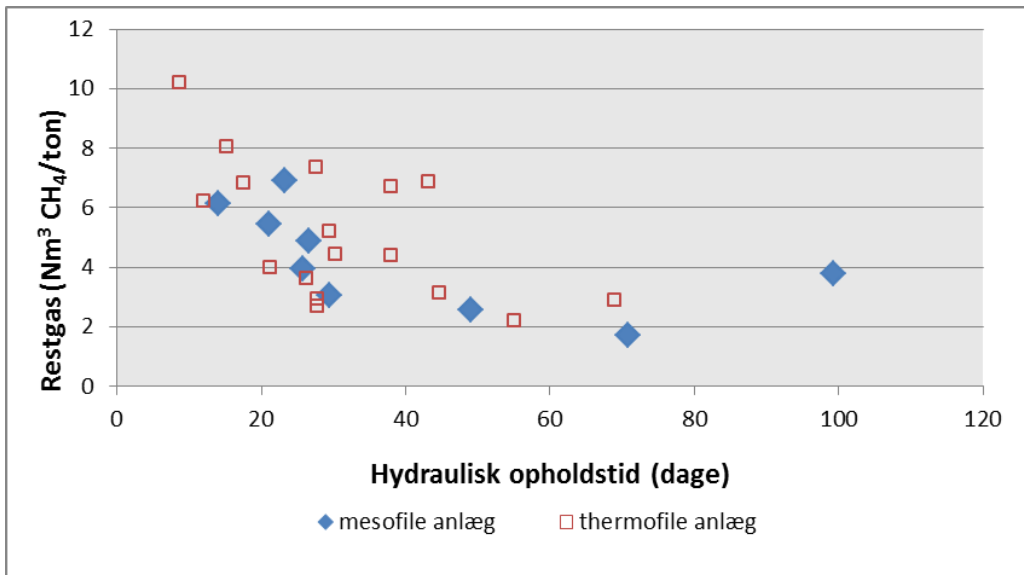


Figur 46 Sammenhæng mellem restgas og opholdstid.

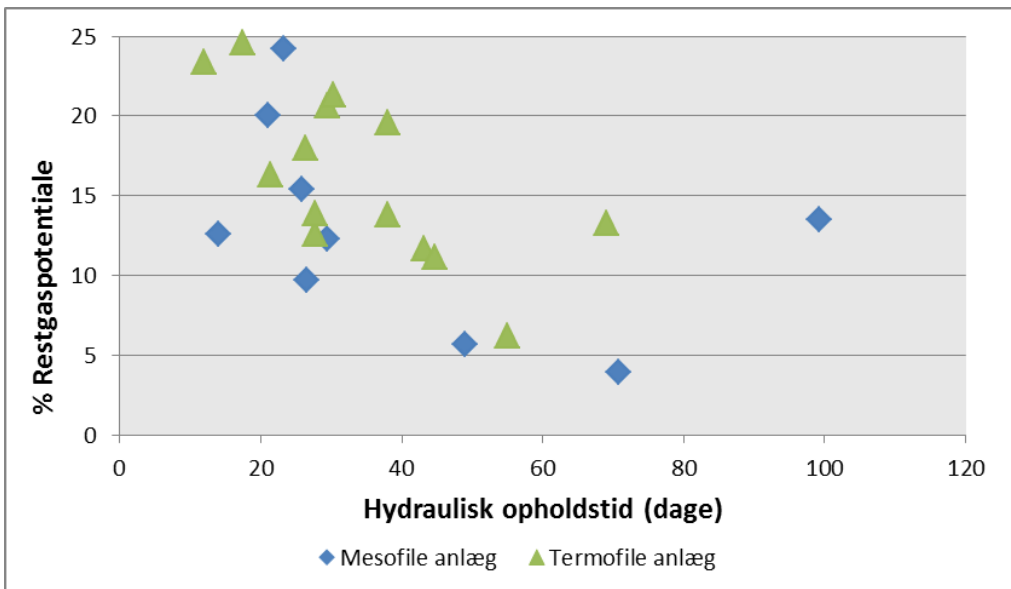


Figur 47 Sammenhæng mellem restgas og opholdstid i pct. restgaspotentiale.

Effekten af proces temperatur i forhold til restgaspotentiale er ligeledes undersøgt (Figur 48 og Figur 49). Der er ikke fundet nogen klar sammenhæng. Det tyder således på, at procestemperaturen ikke har væsentlig indflydelse på restgaspotentialet. Data materialet er imidlertid for sparsomt til at drage en klar konklusion om dette.

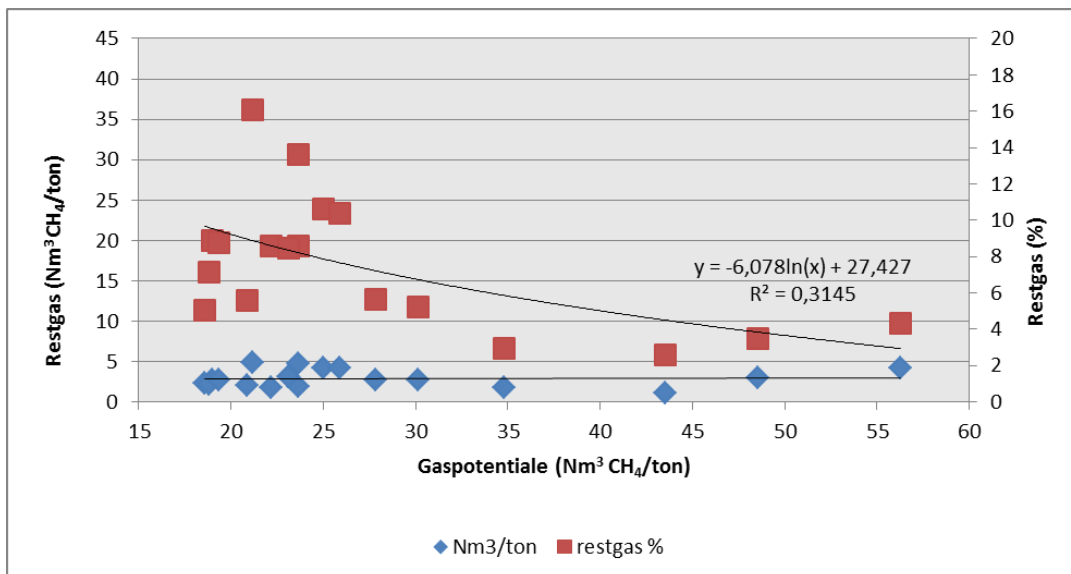


Figur 48 Restgaspotentialer i forhold til proces temperatur



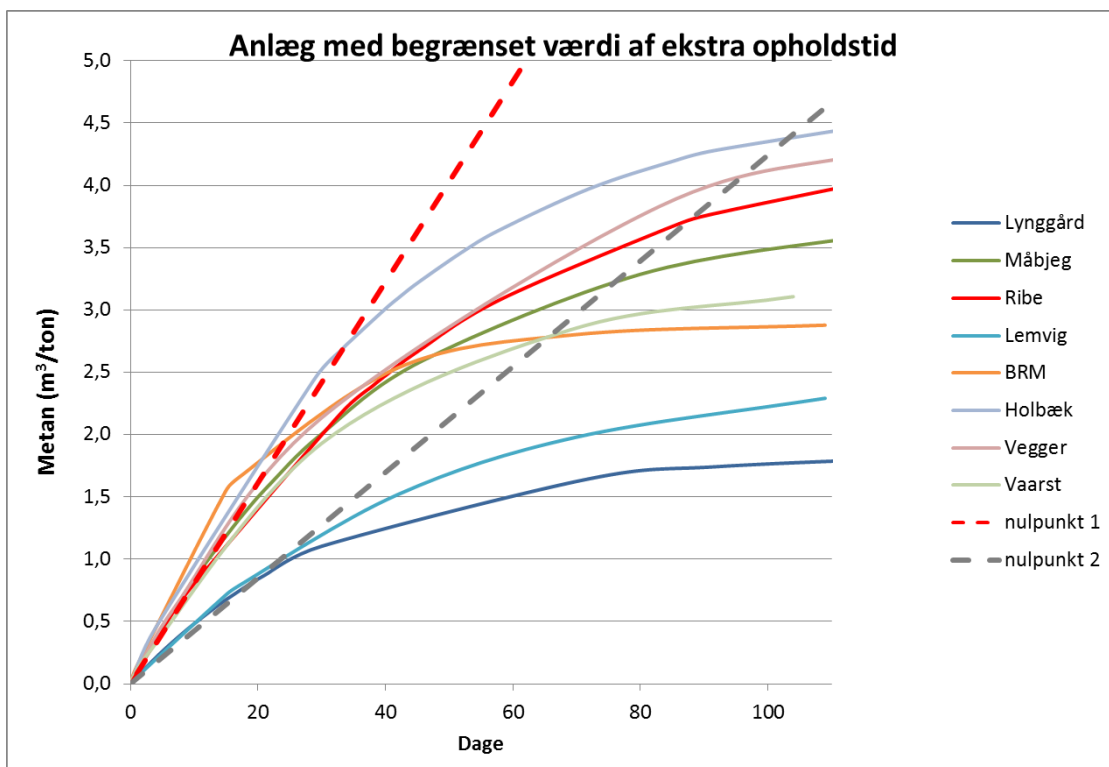
Figur 49 Restgaspotentialer i forhold til proces temperatur (pct. restgaspotentialer)

Det fremgår af Figur 50, at der ikke er en tydelig eller absolut sammenhæng mellem restgaspotentialer pr. tons og gaspotentialer, men en tendens til at anlæg med lavt gaspotentialer, har et højere restgaspotentialer, end anlæg med mere højværdig biomasse.

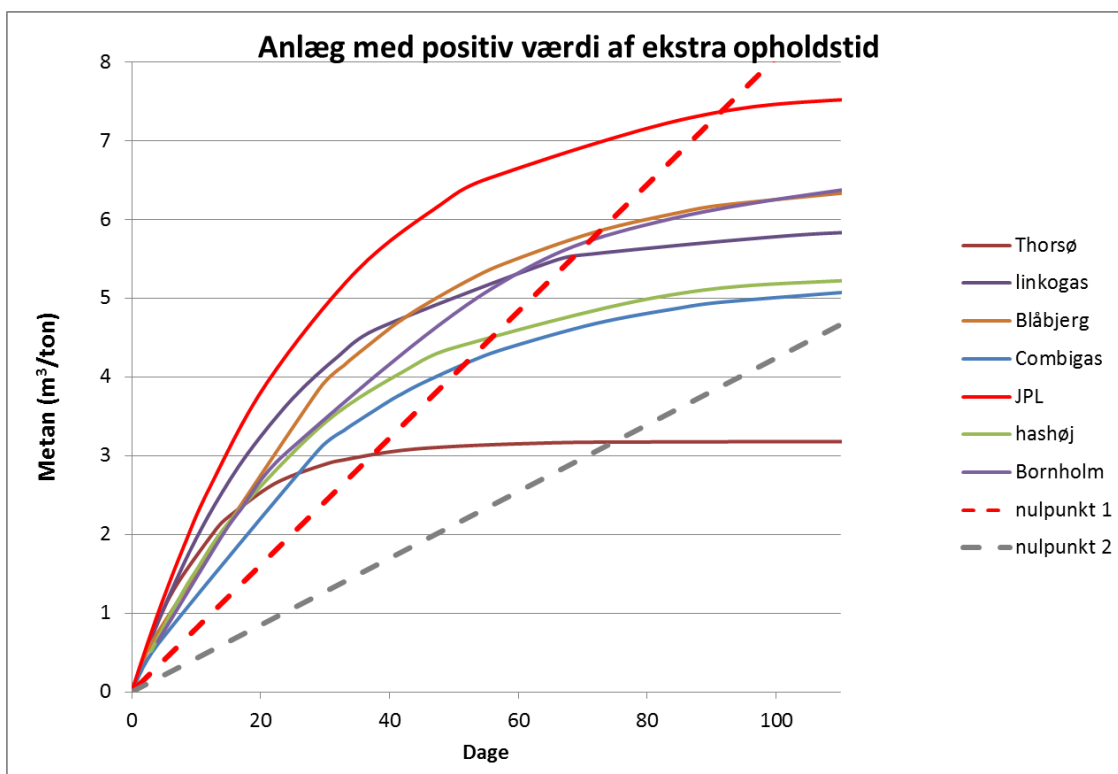


Figur 50 Restgaspotentialer i forhold til gaspotentialet i den biomasse der tilføres anlægget

Hvorvidt et anlæg vil kunne drage fordel af at øge opholdstiden, afhænger af en række faktorer som eksisterende opholdstid og afgasningsprofil for den biomasse anlægget behandler. Der kan i den forbindelse tages udgangspunkt i afgasningskurven for den afgassede biomasse i det sidste udrådningstrin. I Figur 51 og Figur 52 er afgasningsprofilen for forskellige anlæg illustreret. Det skal i den forbindelse understreges, at tallene repræsenterer et "øjebliksbillede" af, hvordan det ser ud på prøvetagningstidspunktet, og afhænger derfor af den biomasse, der har været kørt med de forgående måneder. Endvidere er selve forsøgene udført i batch, ved den temperatur der i anlæggets sidste reaktor trin, medens processen i virkeligheden er en kontinuert proces. Det er antaget at udbyttet over tid, er den samme for begge systemer, og at batch og kontinuerte resultater korrelerer, hvilket ikke kan gøres entydigt, selvom der forventeligt vil være en stærk korrelation. Det kan ikke entydigt konkluderes om man under- eller overestimerer, hvad der kan opnås i en kontinuert proces, men umiddelbart må forventes en mindre overestimering, da der ikke sker tab af friskt materiale, som under udpumpning fra en kontinuert proces.



Figur 51 Afgasningsprofil for afgasset materiale efter sidste trin fra anlæggene, for anlæg med begrænset værdi af ekstra opholdstid



Figur 52 Afgasningsprofil for afgasset materiale efter sidste trin fra anlæggene, for anlæg med stor værdi af ekstra opholdstid. Nulpunkt 1 er break-even ved en værdi af metan på 5,00 kr./m³, Nulpunkt 2 er break-even ved en værdi af metan på 6,0 kr./m³

Nulpunkt 1, i Figur 51 og Figur 52 er break-evenen ved en værdi af metan på 5,00 kr./m³, og etablering af reaktortanke med volumen på 4.000 m³, Nulpunkt 2 er break-evenen ved en værdi af metan på 6,0 kr./m³, og etablering af reaktortanke med volumen på 8.000 m³, alle omkostninger som angivet i tabel 2 er indregnet.

Det fremgår af Figur 51 og Figur 52, at effekten af at øge opholdstiden med eksempelvis 20 dage varierer meget mellem anlæggene, og gevinsten afhænger af prisen for etablering af ekstra reaktor volumen, og hvilken metanpris der kan opnås. Syv af de undersøgte anlæg kan opnå en betydelig gevinst, medens seks anlæg har en mindre gevinst. Kun to anlæg vil ikke have et økonomisk incitament for etablering af yderligere opholdstid. Dette indikerer at leverandører og konsulenter konsekvent (med meget få undtagelser) generelt har underdimensioneret anlæggene m.h.t. opholdstider. Det kan i den forbindelse overvejes om det generelt kan overlades til leverandører (og konsulenter med leverandørinteresser) at fastsætte opholdstiderne for nye anlæg. Disse bør fastsættes 'objektivt' og så kan leverandørerne efterfølgende byde ind på at levere anlæg med givne og forlods fastsatte reaktorvolumener.

Ifølge beregninger og data leveret til projektet af (bilag 11.1, Ellegård, L 2015) er den specifikke etableringsomkostning for reaktorkapacitet ca. 1.285 kr./m³, afhængig af enhedsstørrelse. Overslagsmæssigt kan det antages at specifik etableringspris varierer nogenlunde som:

$$\text{Spec. Vol.omk.} = 1285 * (V/4000)^{-0.3}$$

Dvs. at specifik volumenpris forventes at variere i intervallet 1.580 til 1.040 kr./m³ for tanke i intervallet 2.000 – 8.000 m³, som burde dække de fleste tilfælde.

Det kan imidlertid være svært at kvantificere "indirekte" omkostninger såsom: Ekstra opvarmingskapacitet, større eltavleanlæg, forøget biogaskapacitet etc. Derfor skal ovenstående estimat nok forventes at ligge på den lave side af de reelle meromkostninger (Ellegård, L. 2015).

I nedenstående eksempel, Tabel 2 er gevinsten ved etablering af en 4.000 m³ reaktor beregnet under forudsætning af, at anlægget får yderligere 20 dages opholdstid og 2 m³ ekstra metan pr. ton biomasse. En sådan investering vil give en positiv økonomi. Balancepunktet for hvornår der er positiv økonomi ved en sådan investering er ca. 1,6 m³ CH₄/ton ved ekstra 20 dages opholdstid. Dette opnås for de fleste anlæg, bortset fra de anlæg der i forvejen har meget lang opholdstid.

Tabel 2 Beregning af økonomi ved etablering af ekstra opholdstid.

			Ekstra reaktor kapacitet
Reaktor		Størrelse m ³	4.000
		ekstra opholdstid - dage	20
Gasudbytte		m ³ CH ₄ /m ³ reaktor/år	36
Gas udbytte		m ³ CH ₄ /ton	2
El		21,4 kWh/m ³ reaktor/år	85.600
Investering	Reaktor	Kr.	5.140.000
Kapacitet		ton/år	72.000
El		kr./år	59.920
Varme		kr./år	39.296
Investering	Reaktor	kr./m ³	1.285
Investering	Infrastruktur	kr./år	0
Afskrivning/forrentning	20 år, 5% p.a	kr./år	412.446
Drift		kr./år	31.400
Samlet udgift		kr./år	543.062
Samlet indtægt		kr./år	720.000
Indtjening		kr./år	176.938
Forudsætninger:			
El pris (køb)		0,70 kr./kWh	
Afskrivning/forrentning	20 år, 5% p.a	%	
Værdi af Metan		5,00 kr./m ³	
Drift		6,25 kr./m ³ /år	
Sandfjernelse		1,60 kr./m ³ /år	
Varmetab reaktor		23,3 kWh/m ³ /reaktor	
Varmetab gas		0,035 kWh/m ³ /reaktor	
Varme værdi		0,40 kr./kWh	

3.4 Forbehandlingsteknik til halm og dybstrøelse

Dagens biogasanlæg er primært indrettet til at kunne håndtere gylle og anden pumpbar biomasse. Det betyder at når tørstofindholdet kommer over et vist niveau, kan det give problemer, og opholdstiden er ofte for kort til at opnå et højt udbytte.

Forbehandlingsteknikkerne adskiller sig på en række punkter, og visse typer er velegnede til meget tør biomasse (>75 % TS), mens andre er mere velegnede til mere våde biomasser (20-50 % TS), og atter andre kan håndtere en meget bred vifte af tørstofprocenter. I nærværende undersøgelse er der udført forsøg eller indsamlet data med 8 forskellige teknologier, der kan håndtere dybstrøelse eller halm med et tørstofindhold på 20-85 %.

De typer teknologier, der er inkluderet i undersøgelsen er vist i nedenstående Tabel 3.

Tabel 3 Liste over teknologier der er inkluderet i undersøgelsen. 1 Anlægget er ikke etableret endnu

Teknologier	Anlæg	Data oprindelse	Leverandør
Kædeknuser/X-chopper	Vegger	Taskforce test	Xergi
Ekstruder	Foulum	AU forsøg	Lehmann
Hammermølle	Thorsø	Taskforce test	Hüningen
Samkompostering	Holbæk	Taskforce test	Anders Rosendahl
Haybuster/ensilering	Brdr. Thorsen	Taskforce test	PS Machinery
Brikettering	Foulum	AU forsøg	CF Nielsen
Hammermølle	Lynggård ¹	Leverandør	Euromilling
Opblanding/macerering	Hemmet/brdr. madsen	Tidligere forsøg	Landia

Selve indføddningen af biomassen kan ske ved opblanding i flydende biomasse, som ved gylle i en mindre fortank og efterfølgende indpumpning i reaktoren. Eller det kan ske ved tør indføddning med snegl i toppen af reaktoren. Sidstnævnte metode anvendes udelukkende på Foulum biogasanlæg medens opblanding i fortank bla. udføres ved Combigas og Holbæk biogas.

3.4.1 Hüningen hammermølle

Thorsø Miljø og Biogas A.m.b.a.

Der er udført 2 forsøg på Thorsø biogas med Hüningen hammermølle Billede 19, hvor der er testet 2 forskellige biomasser i form af dybstrøelse og halm.



Billede 19: Hüningens hammermølle hos Thorsø Miljø og Biogasanlæg Amba

De faste biomasser tilføres i container før de doseres til hammermøllen. Containeren har et "bevægeligt gulv", som transporterer biomassen til en snegl. For enden af containeren er der en opriver, der doserer materialet til et sneglesystem, der transporterer biomassen videre til hammermøllen. Containeren fyldes manuelt med en teleskoplæsser eller der aflæsses direkte deri.

Forsøg med kvægdybstrøelse er forløbet planmæssigt, hvorimod det har været en stor udfordring at håndtere halm. Systemet er således på nuværende tidspunkt ikke designet til at behandle halm, da sneglesystemet ikke kan transportere tørt materiale. Der ser imidlertid ikke ud til at være problemer i selve hammermøllen. Da det viste sig, ikke at være muligt at køre halm alene, blev der i stedet arbejdet med en blanding af halm og majs i forholdet 1:4. Biomassen blev opblandet i en fodervogn før dosering til container, og det lykkedes at behandle denne blanding, men med en del driftsstop i sneglesystemet undervejs. Det kan konkluderes at behandling af halm giver udfordringer, og hvis halm skal anvendes i dette system, skal fødesystemet til hammermøllen modificeres.

Energiforbrug:

Energiforbruget i forbehandlingssystemet på månedsbasis beregnes til 7.053 kWh (februar 2015), hvor selve hammermølle er den store forbruger med sine 4.100 kWh om måneden. Alle maskindele og respektive energiforbrug er angivet i Tabel 4. Opgørelserne er foretaget over en måned, hvor der er opgjort og målt tørstof i biomasserne. Det formodes at resultaterne vil være i samme størrelsesorden i efterfølgende måneder.

Tabel 4: Energi forbrug for de enkelte komponenter i februar(kWh)

Enhed	Energiforbrug
Doserings enhed	116
Snegl 1	203
Snegl 2	563
Snegl 3	418
Snegl 4	279
Hammermølle	4100
Hydraulik pumpe	690
Manitou læssemaskine	682
I alt	7.053 kWh

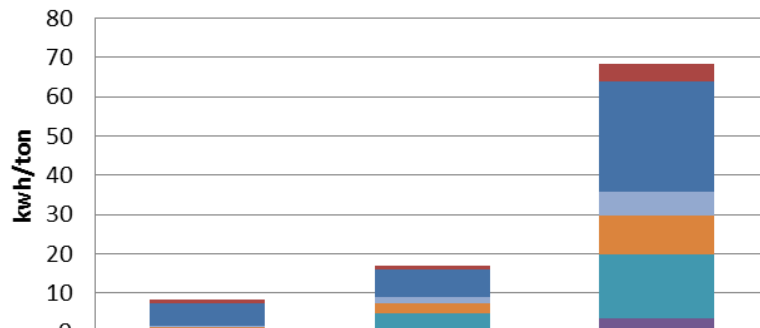
Biomassen der blev afprøvet i løbet af måneden er angivet i Tabel 5. Det samlede energiforbrug pr. ton behandlet materiale i løbet af februar måned er beregnet til 12 kWh/ton.

Tabel 5 Biomasse behandlet i løbet af udvalgt måned

	Mængde	Tørstof	VS
Heste gødning, tons	42	40	80
Kvæg dybstrøelse, tons	370	25	80
Majs ensilage, tons	160	35,8	95
I alt (måned), tons	572	GS: 33,6	GS: 85

Energiforbruget i forsøg med kvægdymbstrøelse og halm/majs blanding er illustreret i Figur 53. Det fremgår at energiforbruget ved behandling af dybstrøelse er ca. 8 kWh/ton, hvoraf hovedparten går til selve hammermøllen (5,5 kWh/ton). Energiforbruget til forbehandling af majs-halm blandingen har været ca. 17 kWh/ton hvoraf hovedparten er gået til haldelen. Hvis hele energiomkostningen lægges på haldelen er forbruget ca. 69 kWh/ton, hvoraf under halvdelen går til selve hammermøllen.

Forbehandling hammermølle



Enheder	Dybstøelse (kWh/ton)	Halm+majs (kWh/ton)	Halm (kWh/ton)
Pumpe	1,02	1,08	4,31
Hammermølle	5,54	7,06	28,26
Snegl 4	0,29	1,50	6,00
Snegl 3	0,46	2,48	9,90
Snegl 2	0,60	4,09	16,37
Snegl1	0,24	0,76	3,03
Dosering	0,08	0,10	0,41

Figur 53: Energiforbrug ved forbehandling fordelt på enheder. Beregning for halm er udregnet ved at lægge hele energiomkostningen fra majs/halm blandingen på halmdelen

Sliddele:

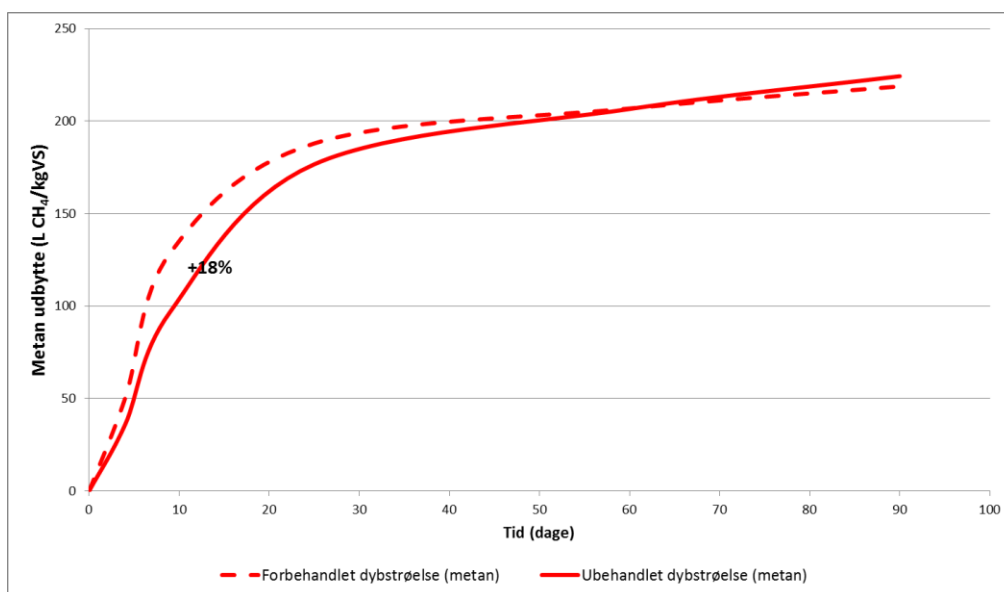
Hammermøllen indeholder de fleste sliddele. Den indeholder 36 knive, 36 piskere, 1 aksel, 84 skiver og 42 afstandsstykker. For hver 700 tons skal 60% af knivene og 60% af de piskerne udskiftes. Prisen er 24 kr. for 1 kniv og 32 kr. for 1 pisker. Det antages at skiver og afstandsstykker har en levetid på ca. 120 måneder da disse ikke er sliddele. De samlede månedlige omkostninger til udskiftning af sliddele vurderes til omkring 1.700 kroner, Tabel 6. Dette omfatter mandetimer, der er nødvendige for at erstatte udskifte sliddele, hvilket udgør ca. 3 timer pr udskiftning (ca. hver 5 uge).

Tabel 6 Sliddele og priser

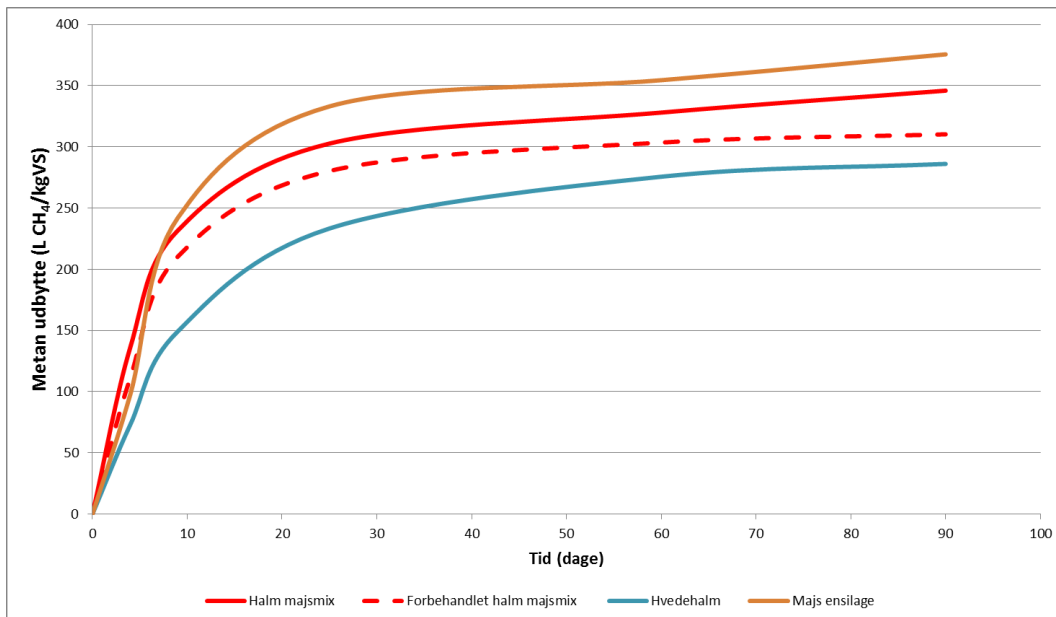
Sliddel	Hyppighed [pr. måned]	Pris pr. del Dkk	Antal/ måned	Udgift pr. måned DKK	Mand- etimer	Pris pr. time DKK	I alt DKK
Knive (60% udskiftes pr. gang)	0,82	24,00	9,6	188,00	3	250,00	801,00
Piskere (60% udskiftes pr. gang)	0,82	32,00	9,6	251,00	3	250,00	864,00
Vasker	0,0083	14,00	84	10,00	3	250,00	16,00
Afstands- stykker	0,0083	11,00	42	4,00	3	250,00	10,00
			134		12	Total:	1.691,00

Biogas forsøg:

I nedenstående Figur 54 og Figur 55 er biogasudbyttet af dybstrøelse, halm, majs og halm-majs mix illustreret.



Figur 54 Metanudbytte af ubehandlet og forbehandlet kvæg dybstrøelse.



Figur 55 Metanudbytte af majs, halm og forbehandlet mix.

Det fremgår, at der er en positiv effekt på gasudbyttet i dybstrøelse i starten af udrådningsforløbet, men den positive effekt aftager over tid. Det maksimale merudbytte er målt til 18% efter 12 dage, men efter 20 dage er merudbyttet reduceret til ca. 6%. Efter længere opholdstid end de 20 dage, er der meget begrænset effekt. Ved opholdstider på over 20 dage, skal behandlingen derfor primært ses som en metode til at få mere dybstrøelse ind i anlægget med og derved blive i stand til at behandle denne type biomasse. I forhold til håndtering af halm, er det ikke muligt at bestemme en effekt på gasudbyttet, da det har været nødvendigt at opblende halmen i majs. Gaspotentialet i blandingen er i forsøget målt til at være højere inden behandling end efter behandling, men resultatet skyldes dog sandsynligvis, at det ikke har været muligt at opblende halm og majs tilstrækkeligt, til at det har været muligt at udtage repræsentative prøver før og efter hammermøllen.

3.4.2 X-chopper fra Xergi

X-chopper fungerer ved, at en metalkæde roterer rundt med stor hastighed og neddeler det tilførte materiale. Det kan fungere batchvis eller som en kontinuert proces. X-chopperen er en videreudvikling af en kædeknuser, der er udviklet af det tyske firma MeWa GmbH. Der er udført 2 forsøg hos Energi Vegger med X-chopper Billede 20, hvor der er testet 2 forskellige biomasser i form af dybstrøelse og halm. Den normale praksis er, at der tilføres gylle til chopperen, således at der holdes et tørstofindhold på ca. 15%. Af forsøgs-mæssige hensyn i forhold til måling af effekt af behandling, er der i forsøget anvendt vand som tilsætningsstof. Forsøgene med kvægdypstrøelse og halm er begge forløbet planmæssigt uden tekniske problemer.

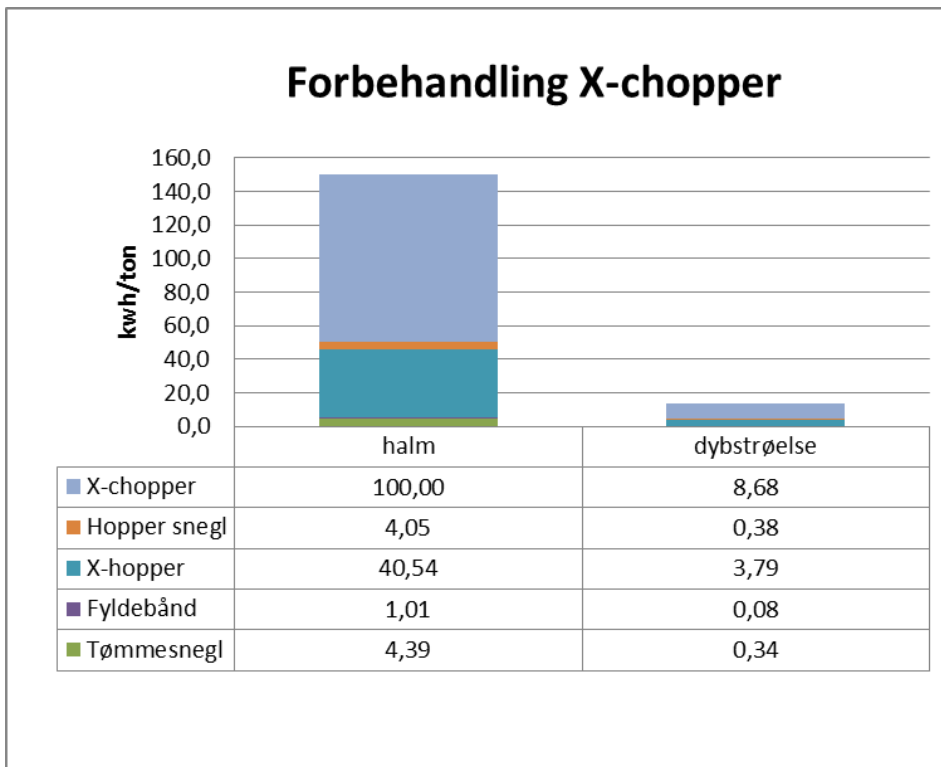


Billede 20: X-chopper og X-hopper på Energi Vegger

De faste biomasser tilføres X-hopperen før de doseres til X-chopperen. X-hopperen har et "bevægeligt gulv", der transporterer biomassen til en snegl. For enden af X-hopperen er der en opriver, der doserer materialet til et sneglesystem, der transporterer biomassen videre til hammermøllen. Containeren fyldes manuelt med en teleskoplæsser.

Energiforbrug:

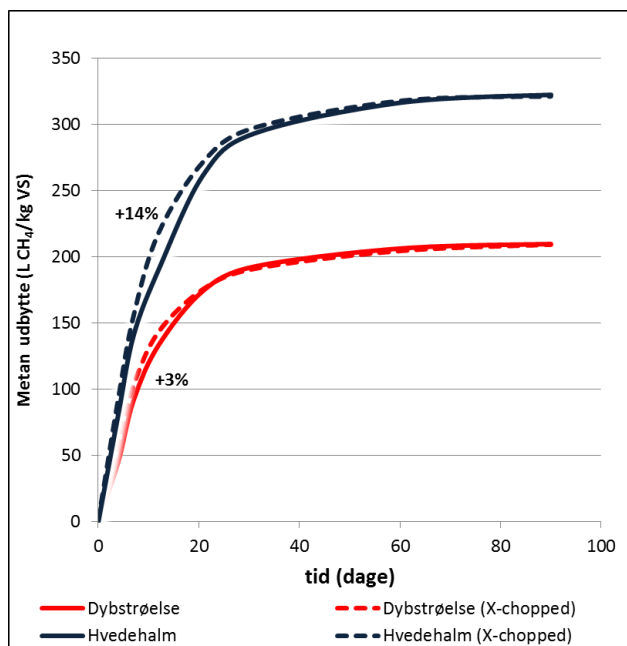
I nedenstående Figur 56 er energiforbruget fordelt på enheder illustreret.



Figur 56 Energiforbrug ved forbehandling fordelt på enheder

Biogas forsøg:

Det fremgår af Figur 57, at der er en positiv effekt på gasudbyttet i dybstrøelse i starten af udrådningforløbet, men den positive effekt aftager over tid. Det maksimale merudbytte er målt til 3% efter 15 dage, men efter 20 dage er der ikke et merudbytte. Ved opholdstider på over 20 dage skal behandlingen primært ses som en metode til at få mere dybstrøelse ind i anlægget, og blive i stand til at behandle denne type biomasse. I halm opnås et merudbytte på op mod 14%, men udelukkende meget tidligt i udrådningforløbet, og efter 20 dage er der meget begrænset effekt.



Figur 57 Metanudbytte af halm, forbehandlet halm, dybstrøelse og forbehandlet dybstrøelse

3.4.3 Ekstruderer fra Foulum biogas

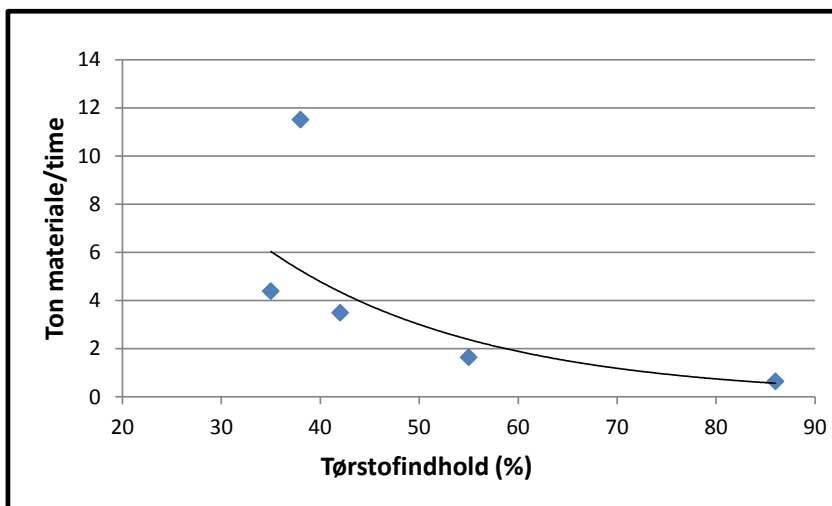
Ekstrudering af fast biomasse har vundet en vis udbredelse i Tyskland. Fordelene ved anvendelse af en ekstruderer er dels, at materialet bliver nemmere at håndtere, at energiforbruget til omrøring reduceres, og at den biologiske omsættelighed og dermed gasproduktionen af materialet øges. Ved AU Foulums biogassforsøgsanlæg, er der etableret et forbehandlings- og indfødninganlæg. Anlægget fungerer ved, at baller af enggræs tilføres en biomikser, der minder om en foderblander. Mikseren er en stor beholder med tre vertikale blandesnegle, der opriver ballerne. Via transportbånd føres biomassen til ekstrudereren, hvor den behandles. Ved hjælp af to snegle presses biomassen sammen under højt tryk. Det udvikler varme. Når biomassen forlader maskinen, lettes trykket pludseligt, hvilket medvirker til at sprænge plantecellerne. Efter ekstrudering ligner biomassen kompost og virker mere våd end forventeligt. Biomassen 'åbnes' således og får en større overflade.

Ekstruderens kapacitet ligger på 1,2-12 tons i timen, men kapaciteten er stærkt afhængig af tørstofprocenten, se nedenstående Figur 58. Fra Ekstrudereren, Billede 21 fører et transportbånd og en snegl biomassen ind i toppen af reaktoren.

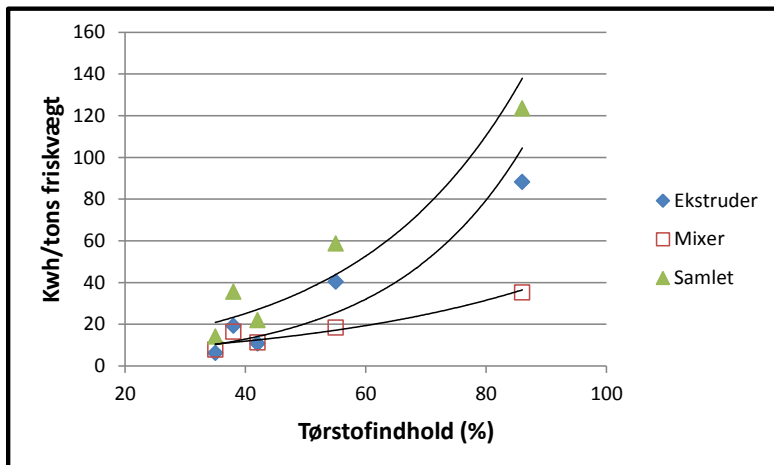


Billede 21: Mikseren til venstre føder den oprevne biomasse ind i ekstruderen (blå), hvorfra den føres videre til reaktor tanken (til højre)

Den samlede investering i Foulum har været på 5,5 mio. kr., hvoraf selve ekstruderen har kostet 1,3 mio. kr. I nedenstående Figur 58 og Figur 59 er energiforbruget angivet som funktion af tørstofindhold. Det fremgår, at energiforbruget stiger eksponentielt med tørstofindholdet. Dybstrøelse har et mindre energiforbrug pr. kg tørstof end f.eks. tør biomasse som halm.



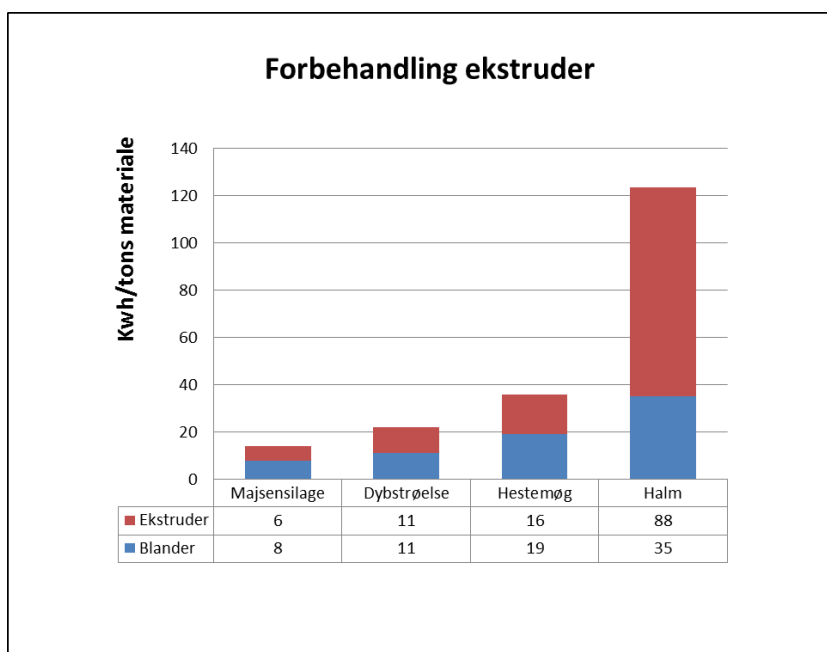
Figur 58 Ekstruderens kapacitet som funktion af biomassens tørstofindhold



Figur 59 Energiforbrug af ekstruder og fødeenhed (mikser) som funktion af tørstofindhold

Der anvendes en del energi til ekstruderingsprocessen (Figur 60) . Men næsten halvdelen af energiforbruget anvendes af mikserenheden. Der er udført udrådningforsøg med en række biomasser, og der er opnået et betydeligt ekstraudbytte ved ekstrudering. Merudbyttet ved ekstrudering af halmrige produkter er målt til 15-27 % ved 20-30 dages udrådning (HRT). Ved langtidsudrådning er ekstraudbyttet 1-10 %. Hvis opholdstiden er tilstrækkelig lang, er der således kun et begrænset merudbytte. Til gengæld giver ekstruderen mulighed for en langt højere belastning af reaktoren ved kortere opholdstider uden problemer med flydelag. Merudbyttet ved ekstrudering af halmen har imidlertid vist sig at falde efter nogle år, og vurderes på sigt kun at være i størrelsesorden ca. 10%. Hvorvidt det skyldes, at anlægget generelt er blevet bedre til at omsætte halmrig biomasse, eller om ekstruderen rent mekanisk ikke er lige så effektiv efter længere tids drift.

På baggrund af 2 års drift på Foulum er vedligeholdelseskostningerne pt. estimeret til ca. 20 kr./tons pga. et forholdsvis stort slid på sliddele.



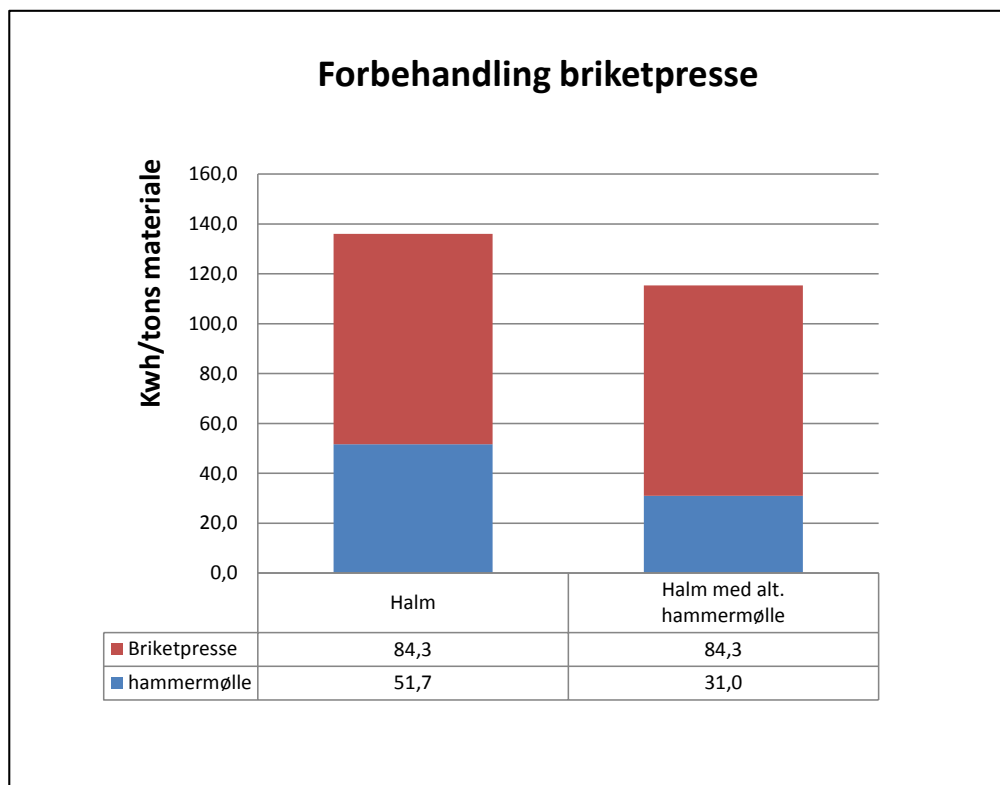
Figur 60 Energiforbrug ved forbehandling af forskellige biomasser med ekstruder fordelt på operationer

3.4.4 Brikettering fra Foulum biogas

På biogasanlægget i Foulum er der udført forsøg med halm brikettering, Billede 22, som forbehandling med en briketpresse fra firmaet CF Nielsen A/S. Før brikettering bliver halmen neddelte i hammermølle med en 20 mm sigte (Cormall). Kapaciteten af briketteringen med det anvendte udstyr er 900 til 1.400 kg/time med briketter med en 75mm diameter. Briketterings teknologien er udviklet af CF Nielsen, og består af en mekanisk induceret damp eksplosionsmotor (55 kW) med gentagen kompression-dekompression cyklusser ved tryk mellem 1.500 og 2.000 bar og ved atmosfærisk.



Billede 22: Halmbrikettering på forskningscenter Foulum (til venstre) og halmbriket inden den føres videre til reaktor tanken (til højre).



Figur 61 Energiforbrug ved forbehandling af halm med briketpresse, hvor traditionel hammermølle anvendes og med en alternativ hammermølle med lavere energiforbrug..

Merudbyttet ved ekstrudering af halmrige produkter er målt til ca. 10% ved 20-30 dages udrådning (HRT). Ved langtidsudrådning er der kun opnået begrænset ekstraudbytte. Hvis der derimod tilsættes lud under

behandlingen er der opnået ca. 20% merudbytte Hvis opholdstiden er tilstrækkelig lang, er der således kun et begrænset merudbytte, medmindre metoden anvendes sammen med lud.

Der har været meget positive erfaringer fra Foulum med indfødnig af briketter direkte ind i reaktoren med en snegl, og forsøg har påvist at halm i briketter kan fordoble biogasproduktionen i forhold til anvendelse af gylle alene. Forsøgene har kørt med op til 14 procent tørstof ind i reaktoren uden problemer med flydelag, men typisk vil man tilsætte 10 procent.

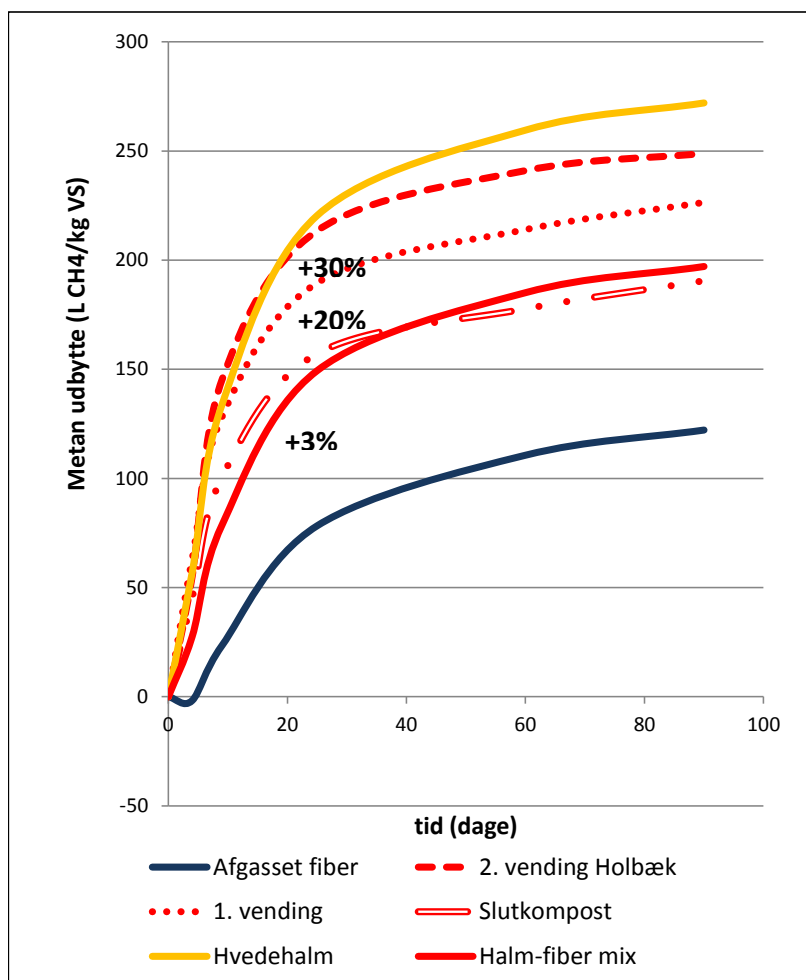
3.4.5 Kompostering af halm

Der er udført forsøg på Holbæk biogas med samkompostering af afgassede gyllefibre og halm.



Billede 23: Kompostering af afgassede fibre og halm på Holbæk Biogas. Fiber (til venstre og midt), blanding af halm og fibre til højre.

Biogas forsøg



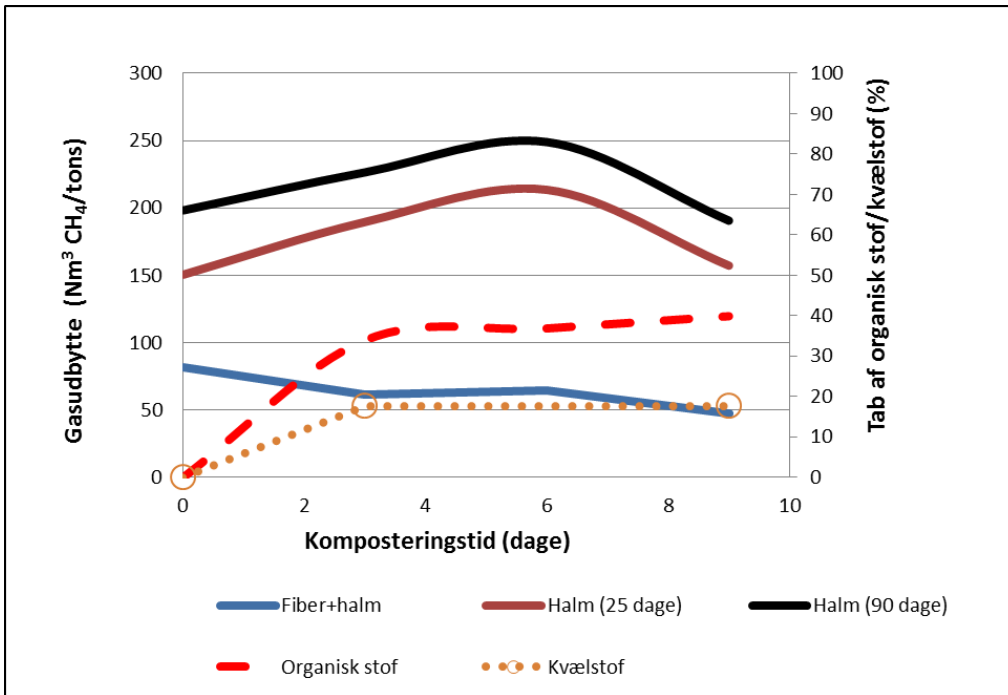
Figur 62 Metanudbytte af halm, gyllefibre og blanding ved forskellige opholdstider ved Holbæk Biogas.

Der er målt gasudbytte og udført massebalancer af gaspotentialet. Endvidere er kulstof-tabet under komposteringsforløbet målt og beregnet. Under komposteringsforløbet er kulstof-tabet beregnet ved en massebalance, hvor det forudsættes at det samlede aske- og fosforindhold er konstant, og ændringer i forholdet mellem organisk stof og aske tilskrives kulstof-tab. Det fremgår af Figur 62, at den ubehandlede halm har det højeste udbytte, medens den afgassede fiber har et lavt udbytte. Blandingen af fiber og halm udtaget til forskellig tid, efter opstart af kompostering, ligger som forventet imellem fiber og halm. Udbyttet af blandingen udtaget ved anden vending ligger imidlertid meget tæt på halm, til trods for, at det indeholder fiber, hvilket viser at der er sket en nedbrydning, der har påvirket biogas-potentialet positivt. Det fremgår af Figur 63, at gaspotentialet pr. kg organisk stof påvirkes positivt af omsætningen indtil 6 dage efter at komposteringen er igangsat, hvorefter det falder. Det tyder således på, at komposteringen bør stoppes efter ca. 5 dage.

Under komposteringen sker der et stort tab af organisk stof i form af CO_2 og CH_4 , hvilket betyder at der samlet er mindre organisk stof til rådighed til biogasprocessen, hvilket skal opvejes mod det højere udbytte pr. kg organisk stof. Det har ikke været muligt at kvantificere, hvor meget af kulstof-tabet der er på CO_2 og

CH₄ form, men det må formodes, at meget lidt er på metanform, da det er en aerob proces, og forsøg med kompostering generelt indikerer, at der produceres meget lidt metan i en aktiv komposteringsproces.

Ligeledes sker der et tab af kvælstof, op mod 20% i form af ammoniak, lattergas og atmosfærisk kvælstof, hvor de 2 første udgør et potentielt klima/forureningsproblem. Det er ikke muligt at sige, hvor meget der bliver udledt af de forskellige kvælstofforbindelser. Det bør overvejes hvordan dette tab vil kunne undgås ved ændret blandingsforhold eller anvendelse af lukket komposteringssystem. Sidstnævnte vil imidlertid fordyre processen betydeligt.



Figur 63 Metanudbytte (venstre). Tab af organisk stof og kvælstof over tid (venstre)

Metanudbytte ved 90 dages udrådning i forhold til komposteringstid fremgår af Figur 63. Beregninger til forskellige komposteringstider er beregnet i forhold til mængden af materiale ved start. Ved beregninger for fiber+halm anvendes oprindelige mængder fiber og halm, medens det i halm (25/90 dage) kun er mængden af halm der tages udgangspunkt i og fiberen betragtes som et "gratis" kulstof input.

I Figur 63 er metanudbyttet ved forskellige komposteringstider beregnet. Ved en samlet massebalance, hvor fiber indgår som en biomasse, sker der et fald af det samlede gasudbytte medens under forudsætning af, at den afgassede fiber alternativt ville blive udbragt som gødning, er der en stigning indtil 5 dages kompostering. Samlet set vurderes teknikken at være interessant, da det er en meget billig metode til at gøre halm til en brugbar biomasse, men der kræves bedre dokumentation og yderligere undersøgelser omkring kvælstoftab.

3.4.6 Finsnitning og ensilering af halm

Der findes en række metoder til snitning af halm, hvor en af de mest kendte er en Haybuster. Metoden anvendes oftest i kombination med traktor, men kan tilsluttes elmotor i stedet. Teknikken fungerer ved at en række slagler neddeler halmen, og den neddelte halm bliver slynget igennem en sold, hvor størrelsen kan varieres fra 13-72 mm. Ved Brdr. Thorsen Biogas I/S anvendes en Haybuster H-1130 til findeling. Inden halmen forlader maskinens transportbånd tilsættes vand via nogle dyser. Formålet med vandtilsætning er at muliggøre en efterfølgende ensilering. Ensileringen foretages for at ændre halmens struktur, så efterfølgende opblanding i biogasanlæg er mulig. Ensileringen foretages ved at sammenkøre halmen i en stor stak, hvorefter ensileringsprocessen starter af sig selv.

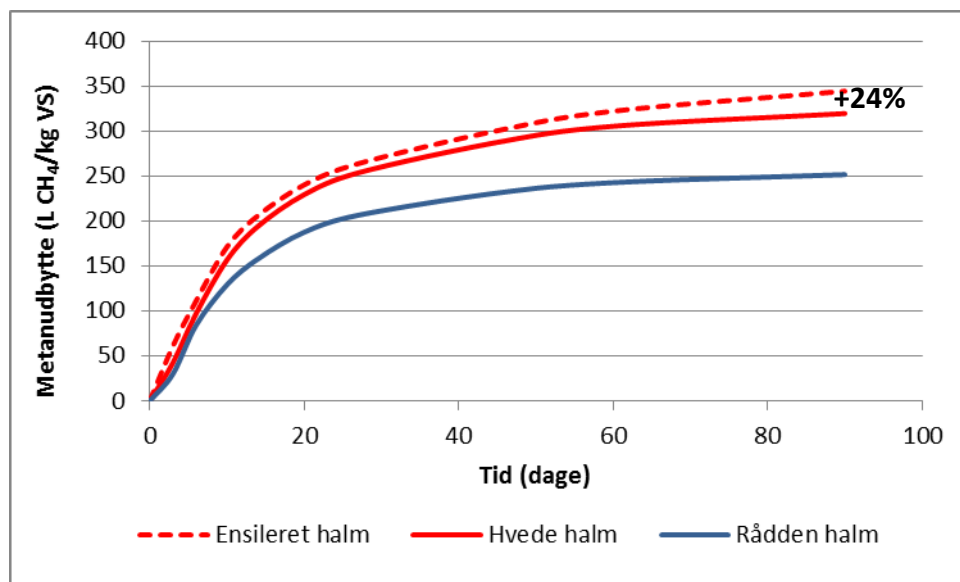


Billede 24: Haybuster halmsnitner, knive og solde i snitner, samt læssemaskine der udtager ensileret halm fra stakken.

Biogas forsøg:

Det fremgår af Figur 64, at der er en positiv effekt på gasudbyttet i halm som bibeholdes i hele udrådningsforløbet. Merudbyttet er ca. 22% og ved 90 dages udrådnings er merudbyttet 26%. Ensileringsprocessen virker således som en meget lovende og billig proces. Der er dog usikkerhed ved de gennemførte målinger, og der bør udføres supplerende målinger for at opnå statistisk sikre resultater. En af usikkerhedsfaktorerne er, at ensilering resulterer i flygtige syrer, som ikke tæller med i tørstofmålingen, hvorved der er en risiko for at tørstofindholdet bliver underestimeret. I forsøget er der ligeledes

gennemført forsøg med halm, der har stået ubehandlet og optaget en stor regnmængde med efterfølgende biologisk nedbrydning over et år. Den rådne halm har et betydeligt lavere gasudbytte end både den tørre og ensilerede halm, men da den er meget enkel at iblande og håndtere, kan den til trods for det lavere udbytte stadig være en interessant biomasse, og hvis nedbrydningen kontrolleres så vandmængden ikke bliver for stor, kan udbytte reduktionen måske begrænses.



Figur 64 Metanudbytte af ensileret, ubehandlet og rådden halm.

Energiforbrug:

Ved den undersøgte opstilling hos Brdr. Thorsen Biogas I/S, drives Haybusteren ved hjælp af en traktor. Energiforbruget er blevet målt til 136 kWh/ton tør halm i form af diesel. Hvis udstyret i stedet drives med en elmotor, kan det forventes, at forbruget kun er ca. 1/3 svarende til 45 kWh/ton halm.

3.4.7 Sammenfatning af forbehandling

Der er afprøvet en række nye teknologier, der er sammenholdt med resultater fra tidligere forsøg. De parametre, der er undersøgt og belyst, er:

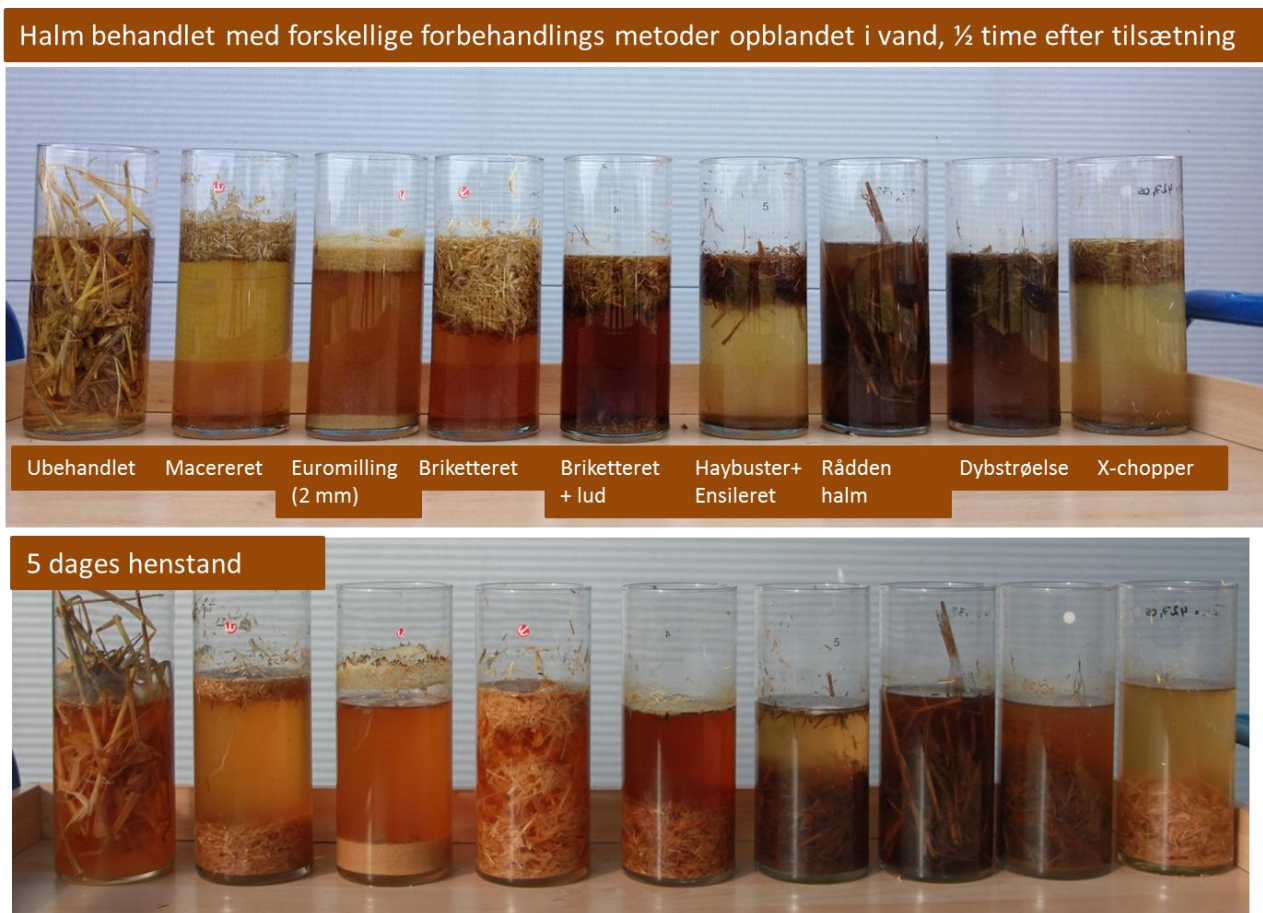
- Flyde/synke egenskaber
- Energiforbrug
- Gasudbytte
- Vurdering af økonomi

Nogle af teknologierne er kun anvendelige til tør biomasse som halm, medens andre kan anvendes til en mere bred vifte af tørstofindhold. Brikettering er eksempelvis kun anvendelig til tør biomasse.

Flyde/synke egenskaber

En vigtig egenskab der efterspørges ved forbehandling er teknologiens evne til at ændre flydeegenskaber i halmrige produkter, så de synker i stedet for at give flydelag i reaktoren. I nedenstående Billede 25. **Fejl!** **Henvisningskilde ikke fundet.** er et udvalg af halmprodukterne samt dybstrøelse tilsat vand, og vurderet

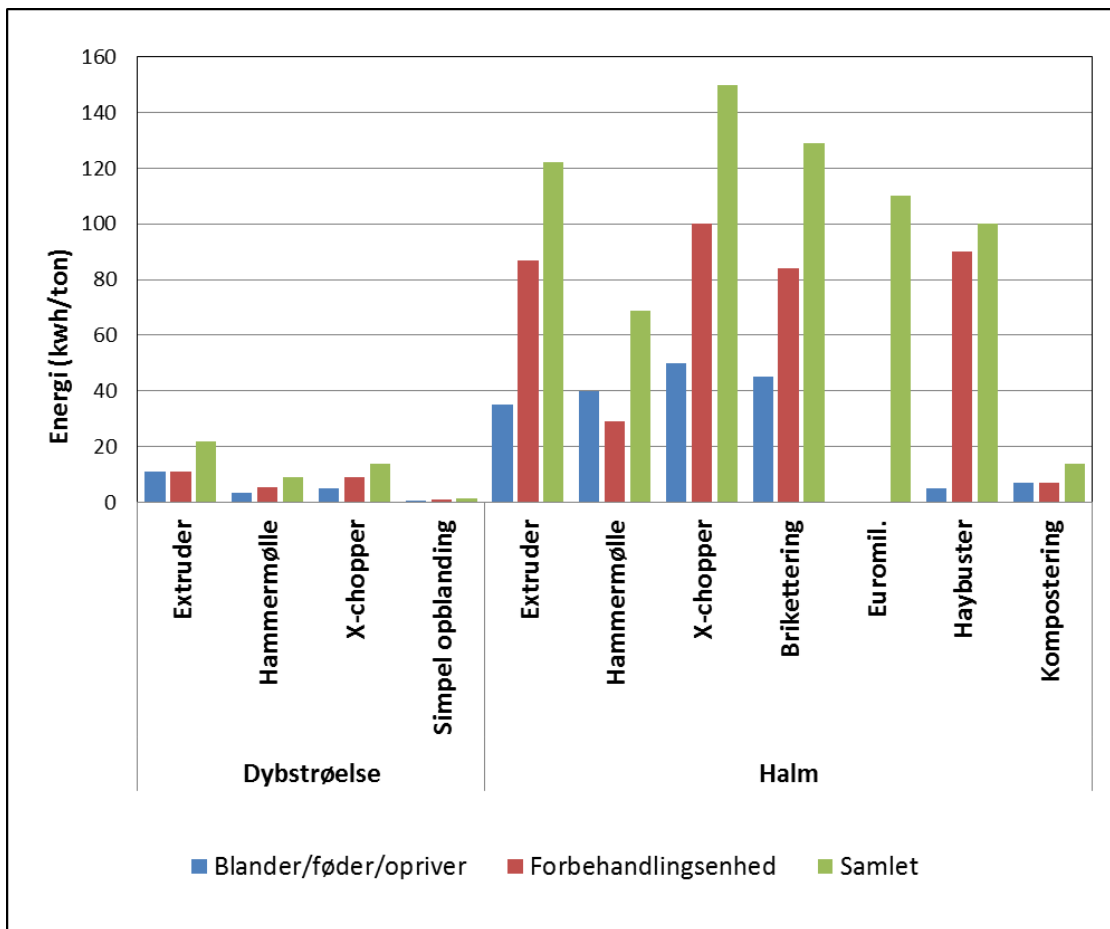
efter henholdsvis en halv times henstand og 5 dages henstand. Det fremgår at alle teknologier giver en positiv effekt på synkeegenskaber. Maceret halm synker dog langsommere end de øvrige, mens kombinationen af brikettering og lud har den hurtigste effekt. Det er imidlertid ikke muligt ud fra småskala forsøgene, at forudsige om der kræves ændringer i reaktorerne og omrøringen på de enkelte anlæg, hvis en bestemt forbehandlingsteknik tages i brug. Det vil sikkert være individuelt for hver enkelt anlæg og biomassesammensætning.



Billede 25 Forskellige halmprodukter tilsat vand og vurderet efter ½ time og 5 dages henstand

Energiforbrug

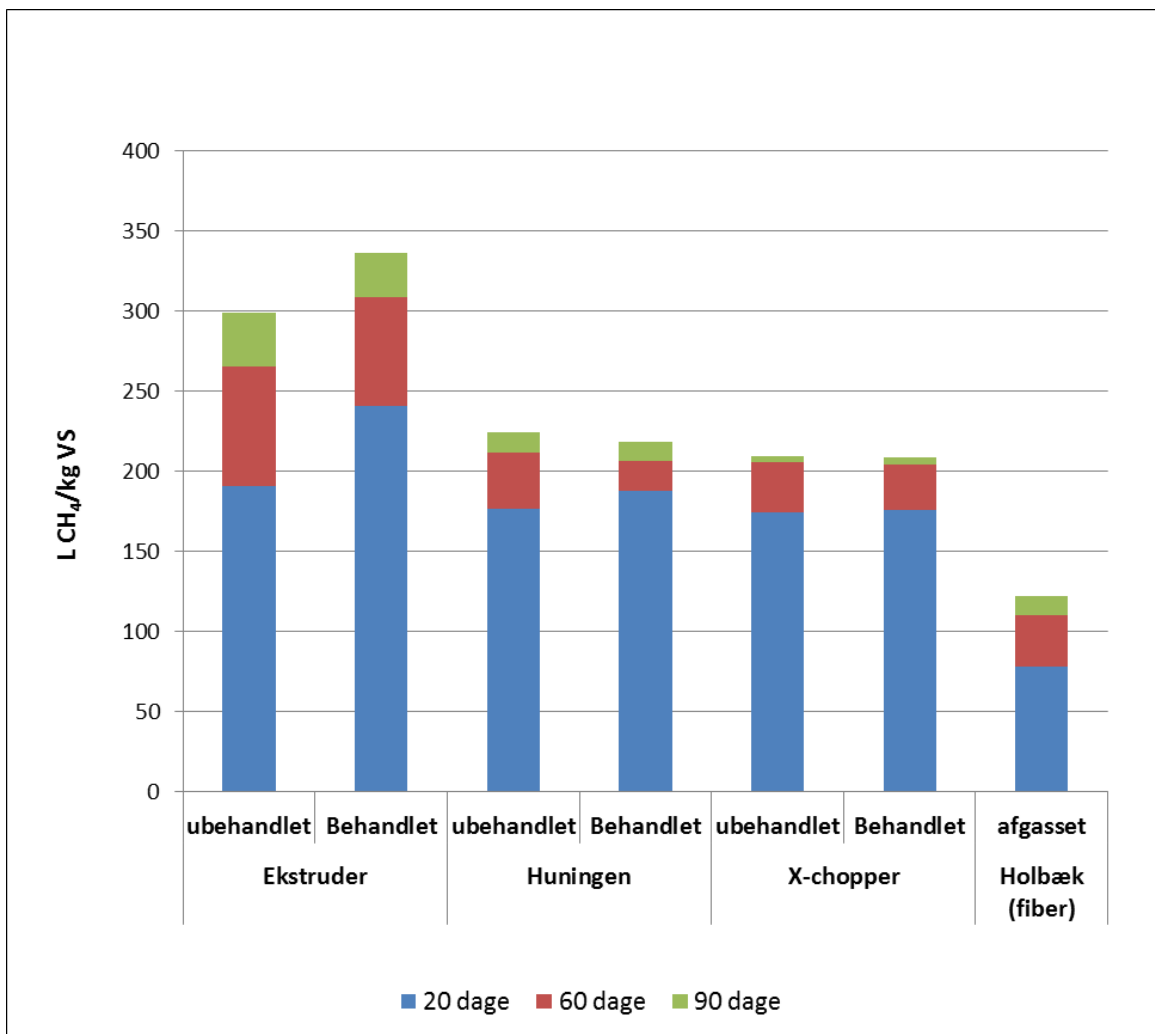
Energiforbruget er vurderet for de forskellige teknologier og så vidt muligt opdelt i blande/føde system og selve forbehandlingseenheden. I nedenstående **Figur 65** er energiforbruget ved forskellige teknologier til behandling af dybstrøelse og halm illustreret. Energiforbrug spænder fra 70-150 kWh/ton i halm og 9-23 kWh/ton i dybstrøelse. I forbindelse med neddeling af halm skal det fremhæves, at flere af teknologierne endnu ikke er optimeret til anvendelse af halm, og en vis reduktion i energiforbrug vil kunne forventes.



Figur 65 Sammenligning af energiforbrug ved forbehandling af dybstrøelse og halm

Gasudbytte

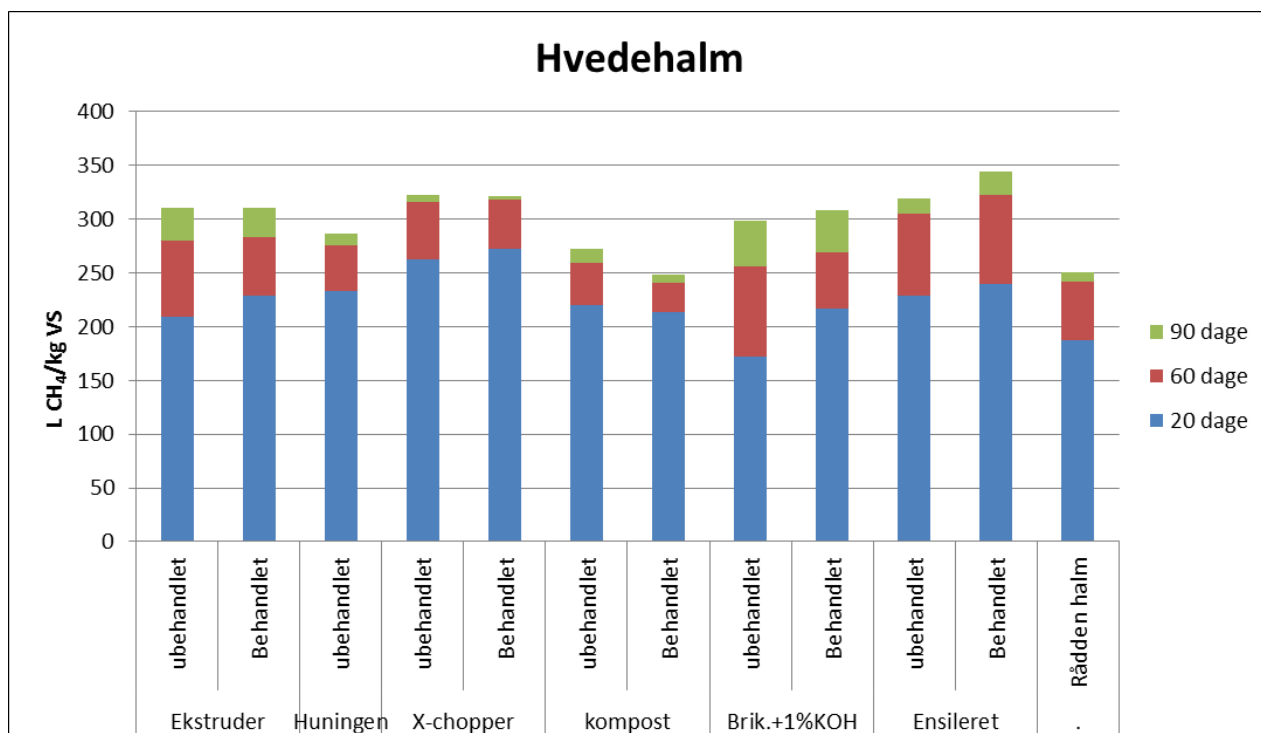
I nedenstående Figur 66 er gasudbyttet i dybstrøelse før og efter forbehandling vist. Det fremgår, at udbyttet i den ubehandlede dybstrøelse varierer en del, specielt er dybstrøelsen, hvortil der er anvendt en ekstruder i forsøget, højere end i de øvrige forsøg. Bortset fra ekstruderne er merudbyttet begrænset ved opholdstider over 20 dage, og efter 60 dage er der ikke et merudbytte. For anlæg med opholdstider på mere end 30 dage, skønnes derfor ikke muligt at få et merudbytte af betydning, og den primære grund til forbehandling vil derfor være håndteringsmæssige forhold, som omrøring/pumpning reduceret flydelag mm., samt muligheden for at få mere dybstrøelse gennem anlægget.



Figur 66 Gaspotentiale før og efter forbehandling af dybstrøelse

I Figur 67 er gasudbyttet i hvedehalm før og efter forbehandling vist. Det fremgår, at udbyttet i den ubehandlede halm varierer en del, og at der efter 20 dage er en effekt af flere af teknologierne, hvor ekstrudering og brikettering med lud, har den største effekt. Efter 60 dage er der imidlertid meget begrænset effekt, bortset fra ludningen i kombination med brikettering og ensilering, hvor der fortsat er en effekt selv ved meget lang opholdstid.

Samlet set vurderes det således, at der ikke opnås effekt af forbehandlingen ved opholdstider over 30-40 dage, bortset fra brikettering med lufttilsætning og neddeling kombineret med ensilering. Ved anvendelse af halmrige biomasser vil der jf. tidligere afsnit, i de fleste tilfælde være økonomi i at have opholdstider på mere end 40 dage, og dermed vil der ikke være effekt af forbehandling, og det væsentligste argument for anvendelse af forbehandling er dermed, at det fysisk er muligt at håndtere mere halm.



Figur 67 Gaspotentiale L CH₄/kg VS før og efter forbehandling af halm. For Hüningen indgår kun det ubehandlede halm, da det ikke var muligt at behandle halm med udstyret, uden tilsætning af betydelige mængder majsensilage

Økonomi i halm

I nedenstående **Tabel 7** er økonomien ved anvendelse af forbehandlede halm beregnet. Det er vanskeligt at sammenligne de forskellige metoder til håndtering af halm, da det afhænger af, hvilke forudsætninger der lægges ind, og det er ikke muligt at udpege en bestemt "vinderteknologi". Valget må i høj grad afhænge af, hvordan det konkrete biogasanlæg er udformet, herunder opholdstiden i reaktorerne. Det beregnede dækningsbidrag dækker ikke den nødvendige arbejdsindsats til håndtering af halm til forbehandlingsenhed. I beregningerne er det forudsat, at der ikke opnås et mergasudbytte på anlæg med lang opholdstid som følge af forbehandlingen, og at behandlingen derfor udelukkende udføres af hensyn til håndteringsmæssige forhold.

Som forudsætning i **Tabel 7** er anvendt et forsigtigt skøn på et ekstra metanudbytte på 200 Nm³/ton halm ved kort opholdstid med forskellige merudbytter for teknologierne og konstant 250 Nm³ metan/ton halm ved lang opholdstid ved samtlige teknologier, en elpris på 0,80 kr./kWh, 15% årlig afskrivning og forrentning samt en værdi af metan på 5 kr./m³.

Tabel 7 Økonomi ved anvendelse af halm til biogas. 1: Udgifter til påfyldning af halmballer i silo eller på transportbånd er ikke inkluderet. 2: Kort opholdstid er defineret som under 25 dage, lang opholdstid mere end 40 dage.

	Enhed	X-chopper	Ekstruder			Brikettering			Hay-buster	Euro mil.
	Kap.	100%	50 %	100 %	-lud 50 %	-lud 100 %	+lud 100%	20%	0,5 t/time	
Ekstra værdi af metan ved kort opholdstid	Kr./ton	70	100	100	50	50	150	20	50	
Metanværdi fra halm	Kr./ton	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	1.000	
El	Kr./ton	-96	-77	-77	-77	-77	-77	-62	-70	
Reparationer/lud	Kr./ton	-30	-61	-61	-25	-26	-96	-10	-26	
Afskrivning/forrentning	Kr./ton	-94	-146	-93	-133	-65	-65	-38	-77	
Biomasse køb	Kr./ton	-550	-550	-550	-550	-550	-550	-550	-550	
^{1,2} Dækningsbidrag (kort opholdstid) bemanding)	Kr./ton	300	266	319	266	332	362	360	327	
^{1,2} Dækningsbidrag (lang opholdstid)	Kr./ton	480	416	469	466	532	462	590	527	
Investering (1000 kr.)	Kr.	2.000	4.000	4.000	1.000	10.000	10.000	2.000	2.000	
Kapacitet	Ton/år	3.456	4.320	7.000	12.000	25.920	25.920	10.000	4.320	

Gevinsten ved anvendelse af halm ligger i intervallet 266-362 kr./ton til dækning af arbejdsindsats, ekstra elforbrug til omrøring og forrentning af det øvrige anlæg for anlæg med kort opholdstid og 416-590 kr./ton ved lang opholdstid.

Økonomi i dybstrøelse

Som forudsætning i Tabel 8 er anvendt et skøn på ekstra metanudbytte på 42 Nm³/ton dybstrøelse ved kort opholdstid og 50 Nm³ metan/ton dybstrøelse ved lang opholdstid, en elpris på 0,80 kr./kWh, 15% årlig afskrivning og forrentning samt en værdi af metan på 5,00 kr./m³. ¹Udgifter til flytning og håndtering af dybstrøelse med læsemaskine er ikke indregnet. ²Kort opholdstid er defineret som under 25 dage, lang opholdstid mere end 40 dage.

Tabel 8: Økonomi ved anvendelse af dybstrøelse til biogas

	Enhed	X-chopper	Ekstruder		Hammermølle
	Kap.	100%	50 %	100 %	
Ekstra værdi af metan ved kort opholdstid	Kr./ton	6	21	21	10
Metanværdi fra dybstrøelse	Kr./ton	209	209	209	209
El	Kr./ton	-10	-14	-14	-5
Reparationer	Kr./ton	-10	-20	-20	-3
Afskrivning/forrentning	Kr./ton	-38	-68	-38	-33
Biomasse køb	Kr./ton	0	0	0	0
^{1,2} Dækningsbidrag (kort opholdstid) bemanding)	Kr./ton	158	128	158	179
^{1,2} Dækningsbidrag (lang opholdstid)	Kr./ton	193	148	178	209
Investering (kr.)	1000 Kr.	2.000	4.000	4.000	2.000
Kapacitet	Ton/år	10.000	10.000	20.000	12.000

Gevinsten ved anvendelse af dybstrøelse ligger i intervallet 128-179 kr./ton til dækning af arbejdsindsats med håndtering af dybstrøelse og forrentning af det øvrige anlæg, Tabel 8. For anlæg med lang opholdstid vil der ikke være værdi af den ekstra gas, da det højere gasudbytte under alle omstændigheder vil blive opnået.

3.5 Indfødning med Powerfeed

Powerfeed systemet er en mellemtag mellem forbehandlingsudstyr og indpumpningsteknik. Det består af et påslag, som i dette tilfælde kan indeholde ca. 45 tons, ved en blanding af fiberfraktion, dybstrøelse og majs. Påslaget fyldes i lag med en læsemaskine, da der ikke sker en egentlig opblanding som i en biomikser. I bunden af påslaget fører et walking floor system, biomassen hen mod lodrette snegle der river biomassen op, inden det falder ned i en vandret snegl, der føder det videre til selve Powerfeederen. Denne presser det ind i en rørstreng, hvor det blandes med flydende biomasse, der fører det videre til reaktorerne. Systemet gør, at den tørre biomasse opblandes med flydende biomasser fra reaktorerne, der transporterer det videre til reaktorerne i et rørsystem.

Med et energiforbrug på 7,5 kWh/ton biomasse, har Powerfeed systemet et lavt energiforbrug.

Der kan monteres en biomikser i stedet for påslaget, hvis der er behov for kraftigere forbehandling før det kommer ind i Powerfeederen.

Energiforbruget blev målt hos Biokraft på Bornholm. Det er planlagt at installere en Vogelsang Rotacut til findeling af biomassen, før det kommer ind i powerfeeden og videre til reaktorerne. Da den ikke var

installeret ved rapportens afslutning, har det ikke været muligt at afprøve Rotacutterens indvirkning på elforbruget.

4.0 Metanindhold i luften fra fortank

Der er foretaget målinger af biogasproduktionen i fortanke på en række biogas anlæg. Metan produktionen i fortanke måles ved enten at montere en gasblæser, der indstilles til et bestemt gasflow, og derefter montere online gasanalyse på afkastluften, eller ved at bruge eksisterende ventilationsrør og måle flow og gassammensætning heri. I begge tilfælde suges der en højere mængde, end den samlede gasproduktion og der vil derfor blive suget en del "falsk" luft med. Dette gøres for at sikre, at den samlede gasproduktion måles, og at ingen gas undslipper målingen. Udover metan måles indholdet af svovlbrinte og kuldioxid for at kunne bestemme gaskvaliteten af hensyn til at vurdere muligheden for at koble det på gassystemet. Gasmængder angives normalt i normal kubikmeter (Nm³, dvs. volumen ved 0°C og atmosfærisk tryk). Flowet der anvendes til beregning af produktionen angives i Nm³/time . Ved estimering af flow i en ventilationskanal ved temperaturer der er forskellige fra 0°C er der behov for omregning ved hjælp af idealgas ligningen. Metan produktionen i fortanken udregnes efter følgende ligning:

$$Q_{CH_4} = Q_{flow} * CH_{4(vol-\%)} * 273 / (273 + T)$$

Hvor Q_{CH_4} er den samlede produktion i Nm³ CH₄/time, Q_{flow} er det målte flow i m³/time og T er temperaturen i gassen. Metan procenten i gassen udregnes under forudsætning af, at der ikke er falsk luft til stede ved hjælp af følgende formel:

$$CH_{4(vol-\%)} = CH_{4(vol-\%)} / (CH_{4(vol-\%)} + CO_{2(vol-\%)})$$

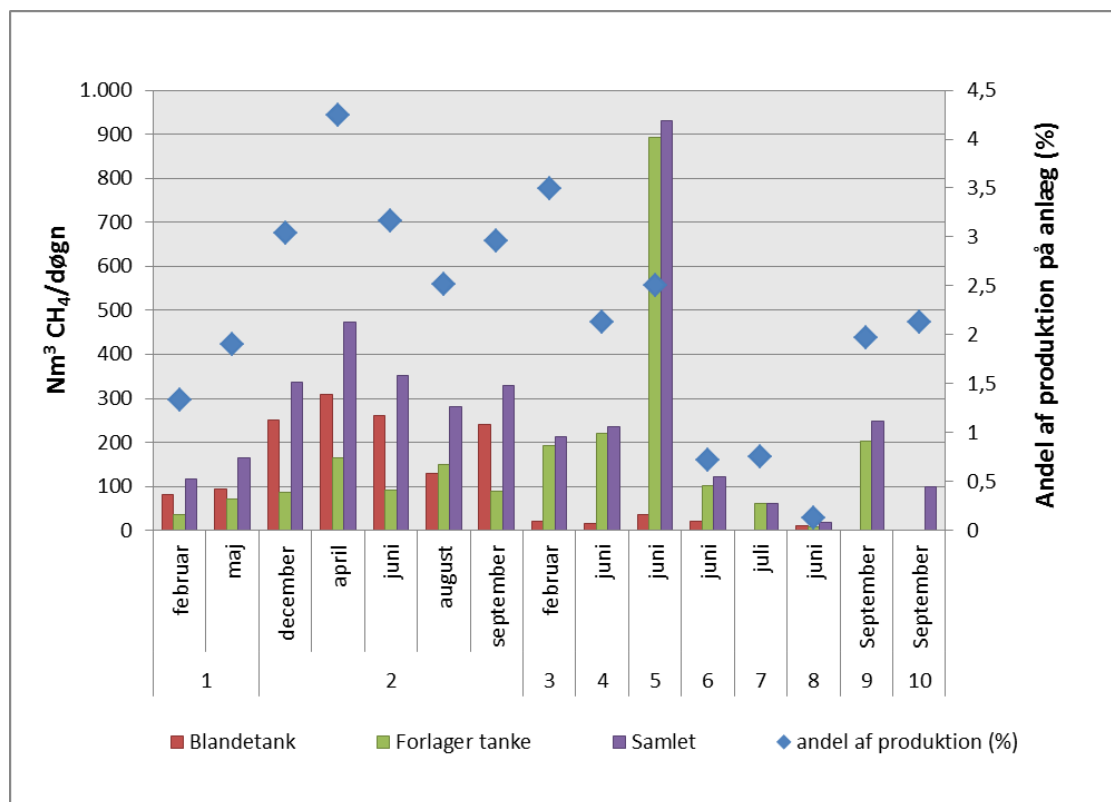
De fleste anlæg råder over flere fortanke og blandetanke. Dette er illustreret på flow diagrammer i kapitel 3.1. I tilfælde af, at der flere tanke, er der målt på alle tanke.

På følgende anlæg er der målt på fortanke og blandetanke:

Brdr. Madsen bioenergi:	1 gang
Energi Vegger:	2 gange
Thorsø Miljø og Biogas :	4 gange
Grøngas:	2 gange
Lemvig Biogas:	1 gang
Maabjerg Bioenergy:	1 gang
Hashøj Biogas:	1 gang
Linkogas:	1 gang
Ribe Biogas A/s:	1 gang
Holbæk Biogas:	1 gang

Endvidere er der igangsat en række forsøg i mindre skala, hvor metan produktion i fortanke med svinegylle, kvæggylle og en blanding undersøges under virkelighedsnære forhold.

I nedenstående Figur 68 er biogasproduktionen angivet for de anlæg, hvor der er målt.

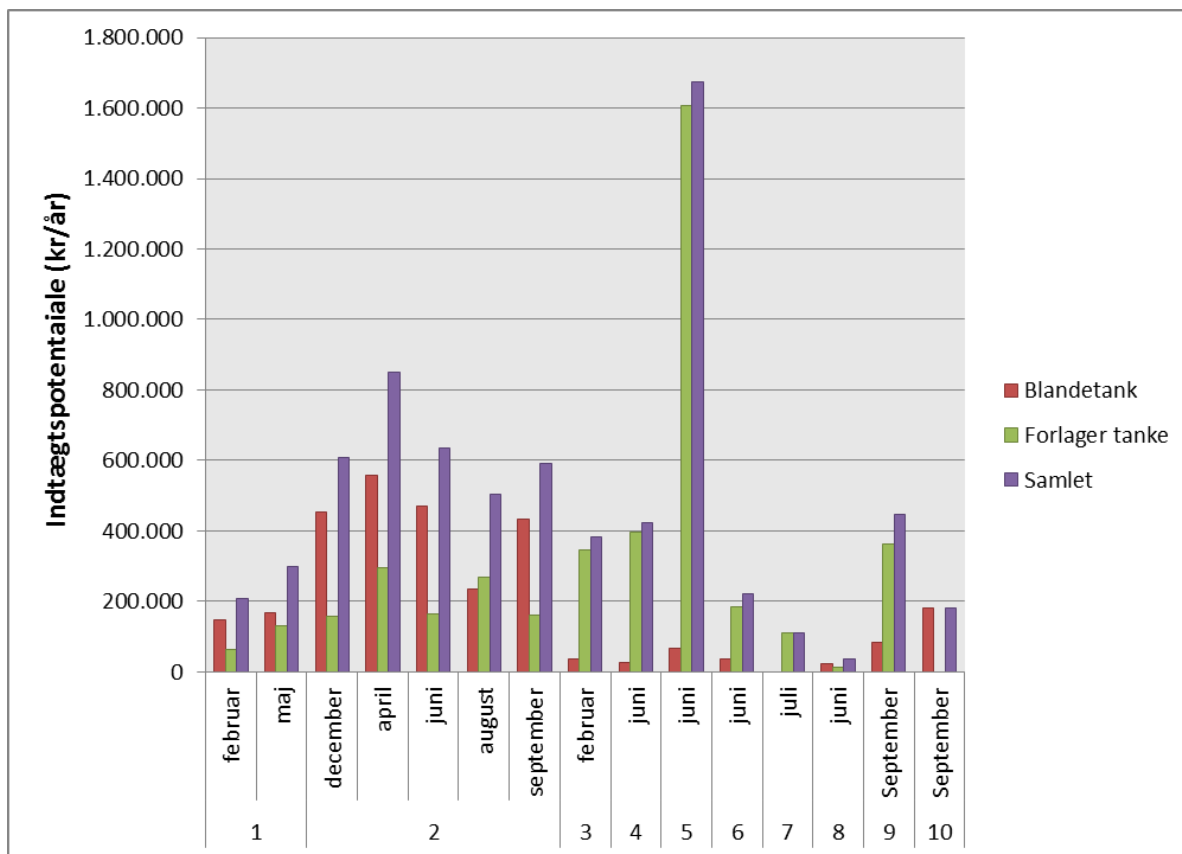


Figur 68 Metan produktion i blandetanke/forlager-tanke per døgn og i procent af samlet udbytte på anlægget

Det fremgår, at der er meget stor forskel på produktionen af metan i fortanke, og fra hvilke tanke på anlægget, det største udbytte kommer. På nogle anlæg kommer der mest gas fra blandetanke, og for andre anlæg kommer den største produktion i forlagertanke. Dette kan skyldes, at anlæggene er meget forskellige. I visse tilfælde er blandetanken den første tank biomassen tilføres til, mens det er anderledes på andre anlæg. Blandetanken er i denne sammenhæng defineret, som den tank hvor fast biomasse og industriaffald tilsættes, mens forlagertank i denne rapport defineres som en tank, der anvendes til opbevaring af pumpbar biomasse.

I gennemsnit har der været metan produktion svarende til 2,1% af anlæggenes samlede produktion, hvor halvdelen af anlæggene ligger over 2% og den anden halvdel under. Hvad grunden til den store forskel kan skyldes er stadig uklar. Ligeledes var der en hypotese om, at temperaturen var meget afgørende. Det ser imidlertid ud til at udbyttet kan falde lidt sidst på sommeren, hvilket måske forklares ved, at en større del af det letomsættelige organiske stof kan være omsat inden afhentning i varme perioder.

Hvis metanproduktionen fra fortanke omregnes til en potentiel indtægt, er det betydelige beløb for flere anlæg, som det fremgår af Figur 69. På 7 ud af 10 anlæg går der mere end 200.000 kr. tabt om året, og for et enkelt anlæg er potentialet 1.6 mio. kr. Beregninger er foretaget ved ekstrapolering ud fra korte måleperioder, og beregningerne skal derfor tages med forbehold.

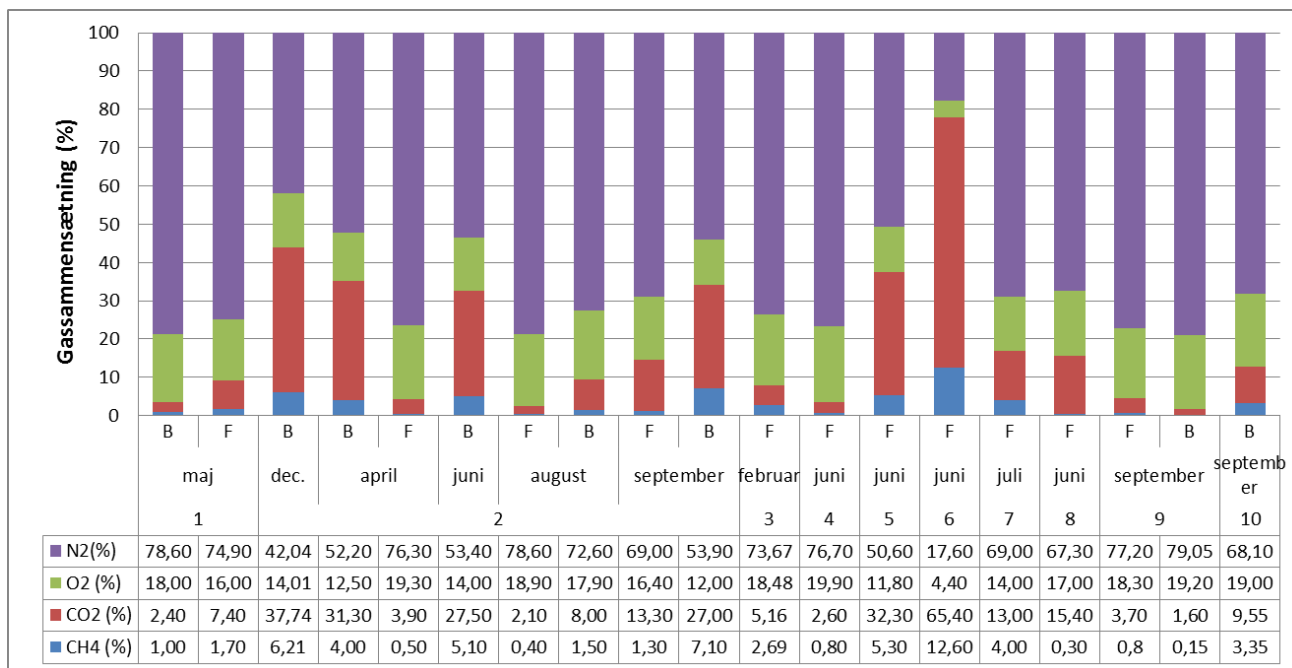


Figur 69 Indtægts potentiale i gas fra fortanke på de undersøgte anlæg under forudsætning af, at der er det samme udslip hele året, som der blev målt den pågældende måned på anlægget. I beregningen er anvendt en salgspris for metan på 5,00 kr./Nm³.

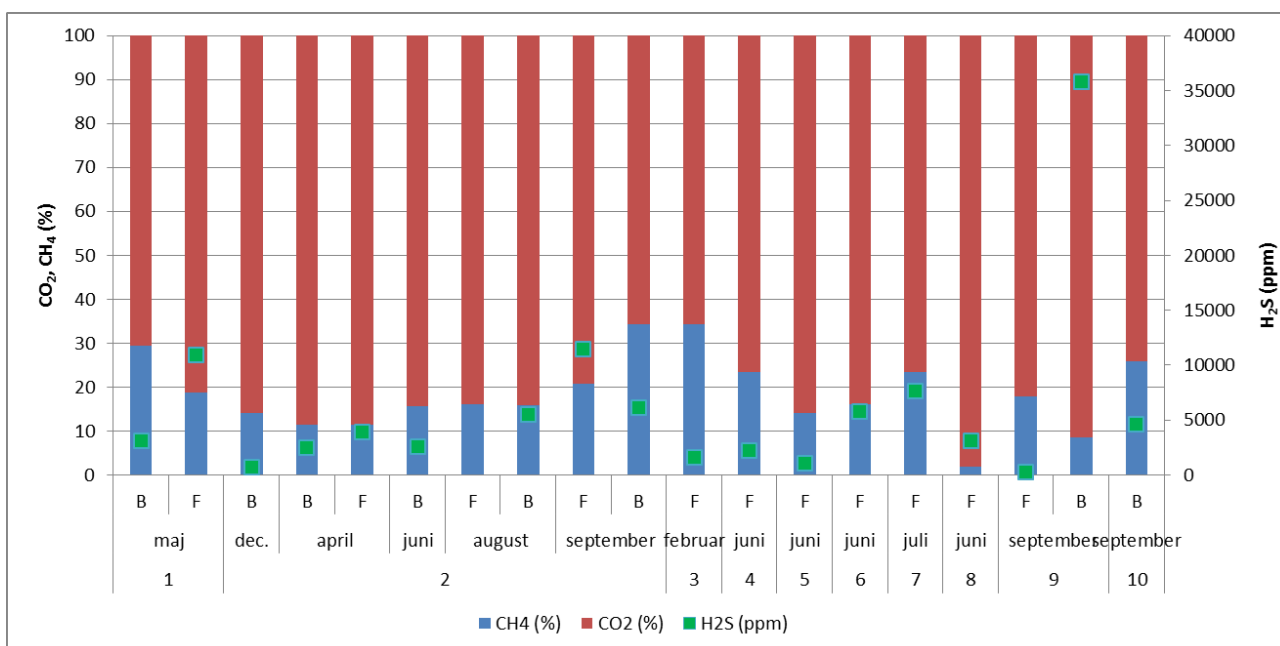
Udvindingen af metan fra fortanke kræver for visse anlæg en del tilpasninger, mens det for andre er forholdsvist enkelt. Det kan eksempelvis være vanskeligt at indvinde gas fra tanke, hvor der sker aftipning af fast materiale, da der altid vil blive suget en stor mængde gas ind ved åbning af aftipningsluger. For andre tanke vil det være en fordel, at tankene er så tætte som muligt, for at undgå for meget falsk luft. Specielt ved anlæg, hvor gassen efterfølgende skal opgraderes, vil det være kritisk hvis gassen indeholder luft af betydning, medens det for anlæg der i forvejen tilsætter luft til biologisk svovlfjernelse er mindre kritisk. Endvidere skal man være opmærksom på, at gassen har et højere CO₂- og svovl indhold end normal biogas (Figur 70). På nogle anlæg må der forventes ekstra investeringer i svovlrensning for at kunne udnytte den "dårlige metan".

For anlæg med tilstrækkelig svovlrensekapacitet, hvor der i forvejen tilsættes luft, og hvor et mindre fald i brændværdi kan accepteres, vurderes det at kræve en begrænset investering, hvorimod anlæg med opgradering er nødt til at sikre, at tankene er tætte for at undgå at der kommer falsk luft med. For de 2 anlæg, der har det største potentiale, er tankene allerede "næsten" tætte, og det kræver derfor kun en begrænset investering at tilkobling til det øvrige gassystem. Man skal imidlertid være opmærksom på at svovl indholdet kan være højt. De fleste anlæg ligger fra 500-6.000 ppm (Figur 71). Udgiften til rensning af svovl vurderes derfor at være større end for "normal biogas", sikkert i størrelsesordenen +200%. Normal svovlrensning vurderes at være ca. 0,10 kr./Nm³ CH₄ ved svovlindhold på ca. 2.000 ppm og ekstraudgiften vil således være ca. 0,20 kr./Nm³ CH₄. I de tilfælde hvor svovl rensekapaciteten er i underkanten, kan en ekstra investering i svovlrensning komme på tale. Investering i svovlrensning vil afhængig af størrelse være i størrelsesordenen 500.000 kr. Samtidigt spares belastning af luftfilteret imidlertid. Hvis anlægget

opgraderer, eller generelt har problemer med for tynd gas, vil der ligeledes være en ekstra omkostning. Da gassen generelt kun indeholder 17-35% CH₄ skal der fjernes dobbelt så meget CO₂ som i normal biogas hvilket må forventes at fordoble omkostning til opgradering, hvilket betyder at opgraderingsudgiften vil blive ca. 2,00 kr. pr. Nm³ CH₄. På anlæg med opgraderingsanlæg, kan det derfor overvejes udelukkende at bruge gas fra fortanke til proces varmeproduktion på anlægget og kun lige akkurat tilsætte tilstrækkeligt normal biogas til at der opnås en brændbar gas.

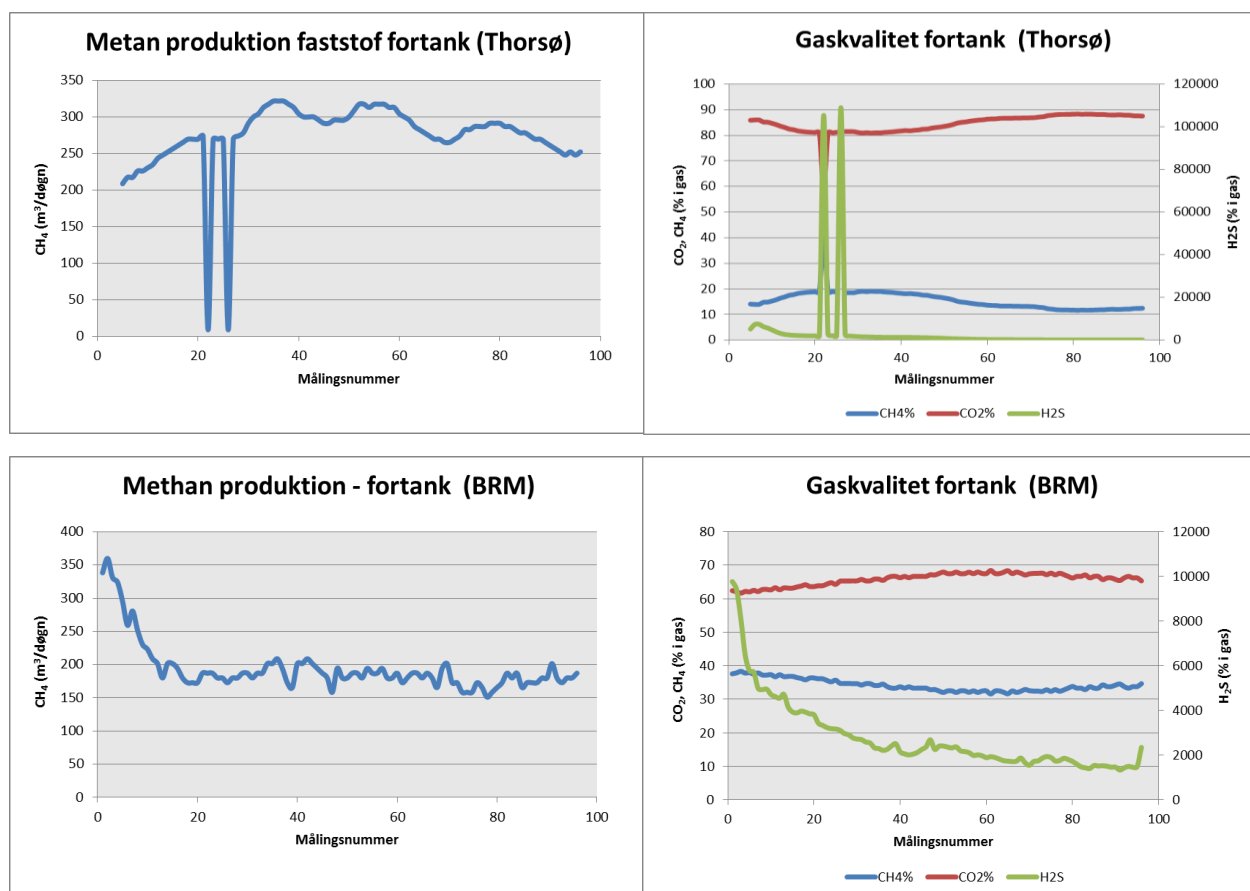


Figur 70 Gassammensætning ved målinger af gas fortyndet med luft



Figur 71 Gassens sammensætning under forudsætning af at tanke er tætte og "falsk" luft kan undgås

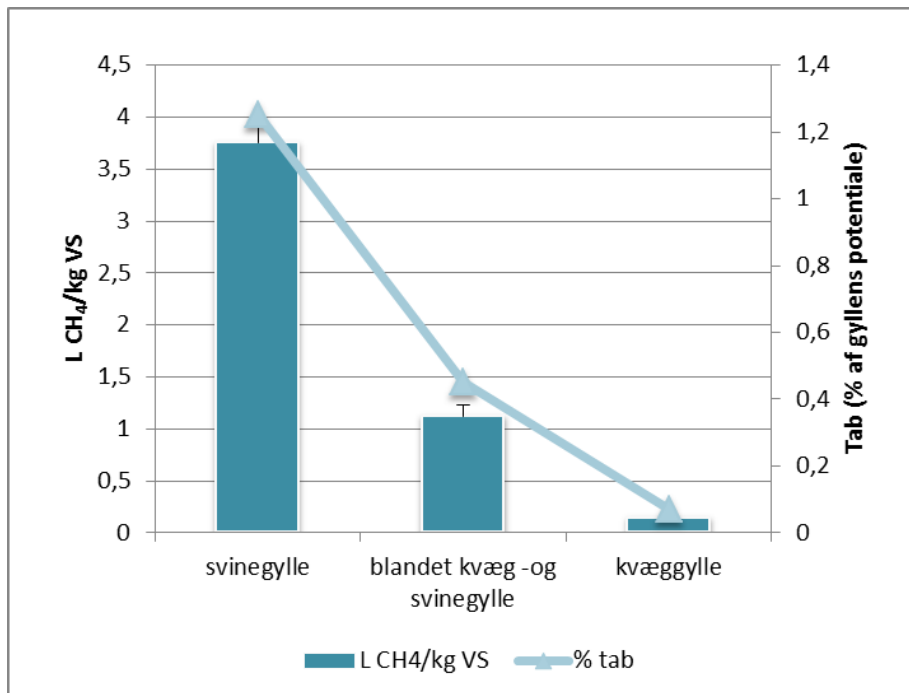
Eksempler på data over tid er vist i nedenstående Figur 72, hvor der er foretaget 30 målinger pr. døgn over 3 dage.



Figur 72 Metan produktion og gaskvalitet i fortanke. Gaskvaliteten er beregnet ved at udelade mængden af atmosfærisk luft gassen er opblandet i.

Ved opsamling og udnyttelse af den producerede gas i fortanke vurderes det, at der kan opnås en betydelig klimagevinst. En del af den biogas, der produceres i fortankene, ville formodentlig alligevel blive produceret, hvis gyllen ikke blev tilført til et biogasanlæg, men opbevaret i traditionel gylletank på gårdene. Men der vil under alle omstændigheder være en klimagevinst ved at udnytte den producerede biogas. I denne sammenhæng er det imidlertid vanskeligt at vurdere, hvilken andel af gassen, der kommer fra industriaffald. På nuværende tidspunkt opsamles gassen fra fortanke kun på ét anlæg, mens gassen på de fleste andre anlæg ledes til luftfilter. På anlæg med kemiske luftfiltre vil metanen gå uomsat igennem filtret, mens det må forventes, at en vis andel af metanen bliver omsat i biologiske filtre.

Der er udført nogle indledende forsøg med simulering af processen i en fortank. De foreløbige laboratorieforsøg er udført med en opholdstid på 3 dage ved 20 C over 2½ måned (Figur 73). Det fremgår at produktionen fra svinegylle udgør ca. 3,7 L CH₄/kg VS svarende til ca. 1,3% tab medens det for kvæggylle er under 0,1%. De målte tab er under hvad der er målt i praksis, hvilket kunne tyde på at tilsætning af mere højværdige biomasser og fast husdyrgødning kan "stimulere" produktionen. Måske kan opholdstiden i visse tilfælde også være større end de 3 dage i fortankene på anlæggene.



Figur 73 Metanproduktion pr. kg VS og metantab i forhold til gyllens potentiale i laboratorieforsøg

Samlet kan det konkluderes:

- Der er betydelige metantab fra fortanke, i størrelsesordenen 2% af gasproduktionen og på visse anlæg højere.
- Der kræves investering i gastætning af tanke og øget svovlrensekapacitet hvis gassen skal opsamles
- Opsamling fra tanke med aflæsning af faststof kræver nytænkning
- Metantab fra fortanke kan reduceres ved kort opholdstid, lav temperatur og isolering af industribiomasse i separate tanke
- Kvæggylle uden tilsætning af anden biomasse giver et lavt metantab. Hvis der er behov for opbevaring af gylle gennem længere tid inden det tilføres biogasanlægget, kan det derfor være en fordel at lagre kvæggylle i stedet for svinegylle.

5.0 Udfordringer med sand i biomassen

Almindelig gylle indeholder 1 - 1½ % sand. Både kvæg- og svinegylle har et sandindhold der stammer fra foder, strøelse, slitage på beton mm. Biogasanlæggene er derfor vant til at håndtere sand, og de udfordringer der følger hermed i forhold til at tømme fortanke, øget slitage på pumper og ventiler mm. Udfordringen fremover bliver at mange kvægstalde etableres med sengebåse, hvor der bruges sand som liggemateriale, da der er store økonomiske fordele herved for kvægbruget. Da sandforbruget til en ko typisk er 10 kg sand i gennemsnit om dagen, taler vi om betydelige mængder sand i gylle. Rågyllen kan

indeholde 10% sand + tørstof, hvorved tørstofindholdet kommer op på 10-18% tørstof. Der er forskel på hvilke sandtyper der anvendes, men indtil videre er der præference for sand med små partikler, såkaldt "fillersand" med partikelstørrelse <math><25\text{my}</math>. I staldene skal sandet helst følge med gyllen ud, og ikke lægge sig i kanalerne. I biogasanlægget vil det være lettere at frænses sand med stor partikelstørrelse. Der er derfor behov for, at leverandører af gylle til biogasanlæg og biogasanlæggene sætter sig sammen for at drøfte sandtyper, hvordan sandet skal frænses, hvem der afholder omkostninger dertil osv.

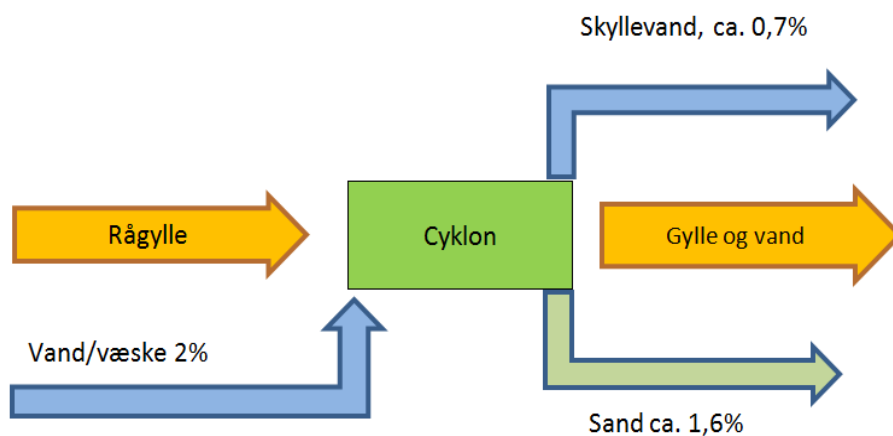
5.1 Sandseparation med Cellwood cyklon på biogasanlæg

Firmaet Lobe importerer en cyklon til kontinuerlig frænsning af sand. Anlægget kan opstilles på biogasanlæg eller på husdyrejendomme. Anlægget er afprøvet hos Linkogas i april 2015 for at undersøge, hvor effektiv den er til frænsning af sand, og hvor stor kapacitet den har.



Billede 26: Cellwood cyklon med kontinuerlig frænsning af sand

Rent teknisk virker den ved, at rågyllen sendes gennem en cyklon, hvorved sandet bundfælder ned i en cylinder med vand. Når cylinderen er fyldt og sandet har fortrængt vandet, lukkes en spadeventil øverst, og en anden spadeventil nederst i cylinderen åbner så sandet kan falde ud. Herefter lukkes nederste ventil igen, cylinderen fyldes med vand, før den øverste spadeventil igen åbner og processen kører videre. Sandet falder nedenunder i den væske der er fulgt med ud af cylinderen, og sandet snegles op mens det undervejs afvandes. Overskydende vand/væske ledes bort fra anlægget, eller kan evt. genbruges som liggemateriale i stalden (**Figur 74**).



Figur 74 Flowdiagram over cyklon. Skyllevand kan genbruges som en del af de ca. 2% væske.

Test nr. 1

Testen havde en varighed på 60 minutter, hvor der blev recirkuleret ca. 75% af gyllen, det vil sige kun 25% frisk urensset gylle gennem cyklonen. Dette skyldes, at der var tale om meget tyk gylle som ikke kunne pumpes direkte gennem cyklonen, og hvor den samtidig fraseparerer sand. Da det var den mindste model af cykloner, kan det måske afhjælpes ved hvis der anvendes større modeller med højere kapacitet.

For at undersøge hvor meget sand, der var i rågyllen blev den skyllet for at få tørstoffet skyllet væk fra sandet, Billede 28. Resultatet viste efterfølgende et sandindhold på 0,96 kg i 10,1 kg gylle. Det svarer til et sandindhold i rågyllen på ca. 10%, hvilket stemmer overens med askeprøven i rågyllen.

Tørstofindholdet i rågyllen der efter første rensning viser et fald fra 17,5% til 13,21% er misvisende, da der kun er fjernet ca. 0,6% sand, Tabel 9. Der er korrigeret for, at der løbende påfyldes vand i gyllen som følge af det vandforbrug cyklonen har.

Tabel 9 Cyklonens effektivitet ved separering af sand i tyk kvæggylle

Test nr. 1 Tyk kvæggylle fra ejendom med sand i sengebåsene

Varighed	60	min
Recirkulering	75%	
Kapacitet urensset gylle	15	tons/time
Vandforbrug	2,07	m ³
Heraf rens vand	0,68	m ³
Elforbrug	6,3	kWh
Frarensset sand	96,19	kg
Frarensning	0,59%	pct.

Rågylle, urensset	17,50%	tørstof	9,97%	aske		
Rågylle, rensset en gang	13,21%	tørstof	6,55%	aske		
Sandprøve første gang	54,68%	tørstof	49,23%	aske	5,45%	organisk ts.

Cyklonen viste en god fraseparering og forholdsvis rent sand i første separation, Tabel 10. I anden og tredje separation blev sandmængden reduceret, og andelen af organisk tørstof blev højere. De resterende sandpartikler blev mindre desto flere gange det var igennem cyklonen. Det vurderes at cyclonteknikken kan anvendes på biogasanlæg til fraseparering af en del af sandet, men der bør også være en teknik til reduktion i sandmængden hos leverandørerne, som jo har en stor økonomisk gevinst ved sand i sengebåse.

Der var ca. 25m³ rågylle i buffertanken og efter tre timer er sandindholdet reduceret med ca. 3,2 %. Der er korrigeret for at der løbende påfyldes mere vand i gyllen.

Tabel 10: Cyklonens effektivitet ved kvæggylle iblandet med svinegylle

Test nr. 2 ca. 25m³ gylle (kvæggylle 75% iblandet med 25% svinegylle)

	1. separation		2. separation		3. separation		
Varighed	60	min	60	min	60	min	
Recirkulering	50%		50%		50%		
Kapacitet urensset gylle	30	tons	30	tons	30	tons	
Vandforbrug	1,97	m ³	1,85	m ³	1,66	m ³	
Heraf rens vand	ca. 0,68	m ³	ca. 0,68	m ³	ca. 0,68	m ³	
Elforbrug	3,9	kWh	3,9	kWh	3,9	kWh	
Frarensset sand	425	kg	265,5	kg	170,4	kg	
Frarensning af sand	1,62%		0,97%		0,60%		efter 3. rensning
Tørstof før rensning	8,60%		6,40%		5,82%		5,22%
Aske i urensset gylle	3,75%		1,94%		1,56%		1,29%
Sandprøve tørstof	69,65%		55,78%		50,17%		
Sandprøve aske	67,32%		50,56%		43,60%		
Andel organisk ts.	2,33%		5,22%		6,57%		



Billede 27: Opstilling af Cellwood cyclon med buffertank til rågylle



Billede 28: Skyllet sand i rågylle fra kvægproduktion med sand i sengebåsene. Sandet udgør ca. 10% af vægten.

5.2 Erfaringer med sandseparering i USA

Store kvægbedrifter i Wisconsin og Michigan anvender sand i sengebåsene, samtidig med at de afgasser gyllen i traditionelle biogasanlæg. Med bedrifter op til 8.000 køer, er der tale om store mængder sand der skal fjernes.

Sandsepareringen sker med forskellig teknik, men generelt kombineret med henblik på at få en rejectvæske, der kan anvendes til at fortynde den tykke kvæggylle, da det gør det lettere at få sandet til at bundfælde.

Et af de nyere systemer, som er set i Michigan, har først en fortank, hvortil rågyllen pumpes eller køres med selvkørende vogn. Gyllen pumpes over i en sandkanon, hvori gyllen blandes med tynd rejectvæske i forholdet 1 gang gylle og ca. 3,5 gang reject. Sandkanon har en langsomtgående snegl, der trækker de groveste sandpartikler fra. Gyllen løber videre til en sandbane, hvor sandet bundfælder. Efterfølgende pumpes væsken videre til en separator, hvor fiberdelen separeres fra. Rejectvæsken løber ned i en tank, hvor det resterende sand sedimenterer, og væsken anvendes dels til genbrug i sandkanonen eller pumpes i lagune. Fiberfraktionen spredes direkte på marken, eller den blandes i rejectvæsken igen og anvendes i biogasanlæg.



Billede 29: Teknikhal med system til frrensning af sand. Anlægget kan håndtere gylle fra ca. 1.500 køer

5.3 iblanding af halm og dybstrøelse i fortank hos leverandør

Ribe Biogas har en leverandør, der har afprøvet en metode med at findele dybstrøelse med en fuldfoderblander og dosere det ned i fortanken, før det afhentes af biogasanlæggets tankbiler. Fordelen for landmanden er, at det øger tørstofindholdet i rågyllen, hvilket kan give en tørstofbonus, eller minimere risikoen for at skulle betale for manglende tørstof. Biogasanlægget har fordel af, at dybstrøelse og gyllen, kan afhentes med samme bil, og den første forbehandling af dybstrøelse er sket allerede før det ankommer til biogasanlægget. En anden og ikke uvæsentlig fordel er, at en form for forbehandling af dybstrøelse hos landmanden reducerer risikoen for fremmedlegemer i biomassen på biogasanlægget.

Ved nogle anlæg skal landmanden selv betale for levering af dybstrøelse (ca. 50 kr./ton). Det forventes at denne udgift kan fjernes eller reduceres, hvis dybstrøelsen er iblandet gyllen.

Det forventes ikke at være en løsning, der kan erstatte al teknik til forbehandling af halm og dybstrøelse på biogasanlæg, da der stadig skal suppleres med yderligere tørre biomasser, men en del af de tørre biomasser fra landbruget kunne tilføres biogasanlægget på denne måde.

Potentiale ved iblanding af halm i fortank

Tabel 11: Potentialet ved at iblande halm i svinegylle og kvæggylle

Svinegylle 5% ts	mængde		Tørstof pct.	tørstof		metan pr. ton		metan	
Svinegylle 290l metan/kg VS	37,5	ton	5%	1.875	kg	11,5	m ³	431,3	m ³
Halm 85% ts	2,5	ton	85%	2.125	kg	150	m ³	375,0	m ³
Blandingsgylle	40	ton	10,0%	4.000	kg			806,3	m ³
							gns. metanindhold		20,2 m ³

Kvæggylle 7,5% ts	mængde		Tørstof pct.	tørstof		metan pr. ton		Metan	
Kvæggylle 250l metan/kg VS	38,75	ton	7,5%	2.906	kg	15	m ³	581,3	m ³
Halm 85% ts	1,25	ton	85%	1.063	kg	150	m ³	187,5	m ³
Blandingsgylle	40	ton	9,9%	3.969	kg			768,8	m ³
							gns. metanindhold		19,2 m ³

Effekten af iblanding af halm i gyllefortanken på bedrifterne er at værdien pr. ton øges fra ca. 57 kr./ton til ca. 100 kr./ton. Det betyder at transportomkostningerne pr. m³ biogas i flydende husdyrgødning fra landbrug reduceres, og der kan måske opnås reducerede forbehandlingsomkostninger på anlægget.

For landmanden betyder det, at hvis hans svinegylle har 5% tørstof og efter tilsætning af halm leverer med 10% tørstof, så vil han opnå en gevinst på 25 kr. pr. ton gylle, hvis biogasanlægget udbetaler 5 kr. i bonus pr. pct. ekstra tørstof i gyllen.

Det svarer til 1.000 kr. for tilsætning af 2,5 tons halm eller 40 øre/kg halm.

Det vil ikke helt være tilstrækkelig betaling for halm, men landmanden sparer transport af halm til biogasanlæg, og så vil han i princippet kunne få noget af halmens kulstof og næringsstoffer retur med den aftassede biomasse, hvilket han ikke gør ved salg af halm fra halmvarmeværker.

Til gengæld kræver det ekstra omrørerkapacitet i fortank og oprivningsudstyr til halmen, samt arbejds løn.

For at efterprøve dette er der gennemført forsøg med tilsætning af snittet halm i to fortanke, hos henholdsvis Brdr. Thorsen Biogas og CombiGas.

Resultater fra forsøg med iblanding af halm i fortank hos Combigas

Combigas har en 70m³ nedgravet fortank i på 3 meters dybde, hvori der sidder en 15 kW Landia omrører. Normalt recirkuleres biomasse fra forhydrolyse tanken, men i forbindelse med dette forsøg blev der ikke recirkuleret.

Halmen der blev anvendt var tørt hvedehalm, som var snittet af Varde Maskinstation med finsnitter efterspændte en minibigballepresser. Halmen var derfor meget fint snittet, og var meget let at skille ad. Halmen blev doseret ned i fortanken med en teleskoplæsser. Der blev taget tørstofprøver før og efter iblanding af halm.



Billede 30: Finsnittet hvedehalm i minibigballer



Billede 31: Dosering i fortank med teleskoplæsser



Billede 32: Iblanding af halm ved start



Billede 33: Halm mængde ved slutningen



Billede 34: Halm i vand ved start



Billede 35: Halm i vand efter to timer

Ved iblanding af finsnittet halm i minibigballer, som ved forsøget hos CombiGas, bliver halmprisen 110 øre/kg levere på anlægget, hvilket er for høj en pris. Dertil skal lægges maskinførertid for iblanding af halm og øget elforbrug til omrøring. Prisen kan formodentlig reduceres ved at anvende andre metoder til

snitning af halm. I Tabel 12, er der indregnet en halmpris på 50 øre/kg og omkostninger til forbehandling på 23,1 øre/kg, som i eksemplet ved Brdr. Thorsen Biogas.

Som det fremgår vil der være et overskud på godt 7,- kr./ton til aflønning af arbejdskraft til iblanding af halm, men med nedenstående forudsætninger, skal det også dække mérindtjeningen på biogasanlægget. Der er dog mulighed for besparelser i transportomkostninger, ved at det kun er flydende biomasser der transporteres. Disse er ikke indregnet. Indtjeningen skal være større for at det er rigtig interessant. Dette kan evt. ske ved øget tilsætning af halm, anvendelse af kasseret halm, eller en endnu billigere metode med findeling af halmen mm.

Tabel 12: Øget gasudbytte ved iblanding af halm

Combigas finsnittet tørt halm

Metan pris	5,00	kr./m ³ CH ₄		
Rågylle i fortank ved start (svinegylle)	45	tons		
Tørstofindhold i rågylle ved start	3,27%			
Tørstof	1.472	kg ts		
Metanindhold	341	m ³ CH ₄		
Halmmængde iblandet (tør halm 85% ts)	1.313	kg		
Halmmængde i tørstof	1.116	kg ts		
Tørstofindhold i biomasse efter halmtilsætning	5,59%			
Tørstof	2.588	kg ts		
Biomasse mængde efter iblanding	46,3	tons		
Metanindhold	600	m ³ CH ₄		
Øget metanindhold	259	m ³ CH ₄	5,6	m ³ CH ₄ /ton
Værdi af øget metanindhold 5 kr./m ³ CH ₄	1.295	kr.	27,95	kr./ton
Betaling for halm 0,5 kr./kg/tør halm	657	kr.	14,18	kr./ton
Forbehandling 231 kr./tons tør halm	303	kr.	6,55	kr./ton
Overskud til iblanding	335	kr.	7,23	kr./ton

Resultater fra forsøg med iblanding af ensileret halm hos Brdr. Thorsen Biogas I/S

Brdr. Thorsen Biogas I/S har en 200m³ fortank der er 4 meter dyb, hvori der sidder en 7,5 kW neddykket omrører. Fortanken har en bred låge, der kan åbnes tilstrækkelig til at en frontlæsser kan læsse halm deri. Halmen, der blev anvendt, var primært affaldshalm, som var snittet med en Haybuster med sold, og derefter kørt sammen i en stak som ved ensilering. Når halmen er tør, tilsættes der vand under snitning for at få ensileringsprocessen i gang. Efter ensilering er halmen lettere at omrøre i fortanken, og har lettere ved at suge væske.

Nedenstående billeder fra 36 til 41 viser snitning af halm med en Haybuster og efterfølgende fordeling i ensilagestak. Halmen der blev snittet den pågældende dag var i forvejen våd. Halmen blev dumpet ned i fortanken med en frontlæsser.

De to glas viser ikke nogen nævneværdig forskel, om det har stået i to timer eller nylig er tilført. Til trods for dette var halmen let at iblande rågyllen i fortanken.

Det fremgår tydeligt af billederne nederst, at der er en anderledes tyk konsistens efter tilførsel af halm, men at det stadig er så tyndtflydende at det stadig kan flyttes med tankbil.



Billede 36: Snitning af våde baller med Haybuster



Billede 37: Ifyldning af ensileret halm i fortank



Billede 38: Ensileret halm i vand ved start



Billede 39: Ensileret halm i vand efter to timer



Billede 40: Iblanding af halm i svinegylle ved start



Billede 41: Halmmængde ved slutningen

Den ensilerede halm hos Brdr. Thorsen Biogas I/S, kunne tilsættes langt hurtigere og omrøring var lettere. En medvirkende årsag hertil var, at halmen havde et tørstofindhold på ca. 30%, da der var tale om kasseret halm, og der var tilsat vand for at få ensileringsprocessen i gang. Som det fremgår af Tabel 13, er der er overskud på ca. 8 kr./ton efter tilsætning af halm. Som ved ovenstående beregning skal det dække både arbejds løn og overskud hos leverandør og biogasanlæg. Det vurderes alligevel som en løsning, der forholdsvis let kunne implementeres mange steder til at øge tørstofindholdet især ved svinegylle. Dybstrøelse vil være at foretrække til iblanding, da det vil være gratis. Det er dog sjældent at svineproducenter har dybstrøelse i større mængder.

Tabel 13: Værdi af tilsætning af halm hos Brdr. Thorsen Biogas I/S

Metan pris	5,00	kr./m ³ CH ₄		
Rågylle i fortank ved start	25	tons		
Tørstofindhold i rågylle ved start	5,9%			
Tørstof	1.480	kg ts		
Metanindhold	343	m ³ CH ₄		
Halmmængde iblandet (halm 30% ts)	2.460	kg		
Halmmængde i tørstof	738	kg ts		
Tørstofindhold i biomasse efter halmtilsætning	8,1%			
Tørstof	2.218	kg ts		
Biomasse mængde efter iblanding	27,5	tons		
Metanindhold	515	m ³ CH ₄		
Øget metanindhold	171	m ³ CH ₄	6,2	m ³ CH ₄ /ton
Værdi af øget metanindhold	856	kr.	31,18	kr./ton
Betaling for halm 0,5 kr./kg/tør halm	434	kr.	15,81	kr./ton
Forbehandling 231 kr./tons tør halm	201	kr.	7,30	kr./ton
Overskud til iblanding i fortank	221	kr.	8,06	kr./ton

Teknik til iblanding af halm og dybstrøelse

Hvilken teknik der kan anvendes afhænger af, hvor findelt halm er før den skal ned i fortanken, om den er ensileret forinden, og om det er våde kasserede baller der anvendes. Det vil også afhænge af, hvor kraftig omrøring der er i fortanken. Teknik som på Billede 42, kunne være muligt at opstille ved fortanken. Den består af et påslag med en stor snegl i bunden, som kan skubbe biomassen ind i en fortank, eller som vist på billedet, direkte ind i en reaktor. Det kan give udfordringer med at tørre biomasser vil danne bro, men formålet ville være at reducere tidsforbruget, som landmanden skal bruge til iblanding af halm og eller dybstrøelse. Ved de fleste leverandører vil tilsætning af en væsentlig andel af faste biomasser i fortanken, kræve en form for iblandingsteknik og bedre omrøring.



Billede 42: Påslag der vil kunne monteres i siden af fortank hos landmand til indfødnings af dybstrøelse og halm

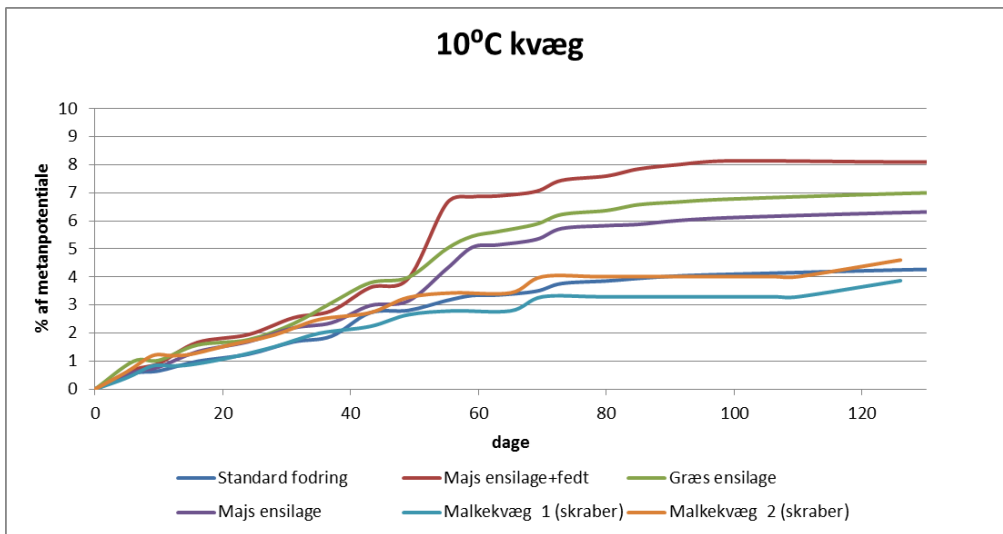
Iblandning af halm i staldene

En anden metode til forøgelse af tørstoffet i rågylle, er at øge tilførslen af halm til dyrene i staldene. Derved er dyrene med til at forbehandle halmen, og iblander det samtidig i gylle. Staldsystemerne vil dog sætte begrænsninger på, hvor meget halm der kan tilsættes, uden det giver problemer med at få gylle ud af staldene. Hvis halmtilførslen kunne øges, især i svinestaldene, ville det mindske behovet for forbehandlingsudstyr til iblandning af halm i fortanke på ejendommene. Landmandens incitament til at hæve tilførslen af halm vil være øget velfærd for dyrene, og en afregning i form af bonus fra biogasanlægget, ved at kunne levere gylle med et højere tørstofindhold i gylle. Afregningen skal helt eller delvist kunne dække udgifter til halm og evt. øget arbejdsforbrug. De nuværende bonus/strafsystemer for tørstofindhold i rågylle tager normalt ikke tilstrækkelig højde for en øget tilførsel af halm, og det bør derfor undersøges om der skal være en større bonus for øget tørstof.

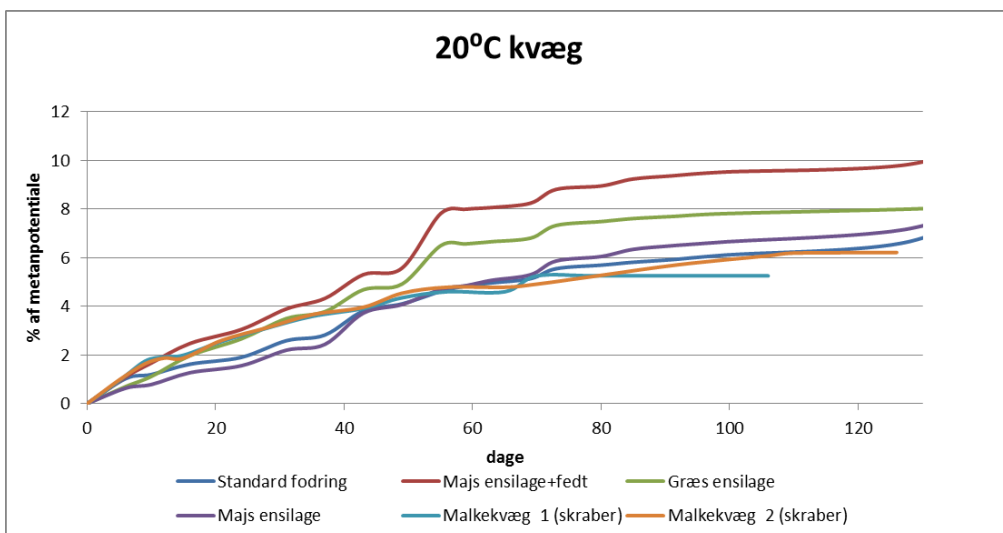
5.4 Bedre udnyttelse af gylle ved frisk afhentning

Gylle opbevares i kortere eller længere tid i stalde og fortanke på gården inden afhentning. I figur 75-78 er tabet af metan fra forsøg i kvæg og svinegylle vist. I forsøget har især tabet fra slagtesvin været meget højt ved sommer temperatur, der i visse tilfælde vurderes at kunne nå op på ca. 20°C. Tabet kan være helt op til omkring 1% om dagen, og da gødning vurderes at kunne være 15-30 dage, kan der i værste tilfælde mistes helt op til 30-50 % af det potentielle biogasudbytte. Tabet fra so- og smågrisegødning er mindre, men kan stadig give betydelige tab. Tabet fra kvæggylle er langt mindre og ved 1 måneds opbevaring tabes kun 2-3 procent. Der bør derfor være stort fokus på at minimere lagringstid af svinegylle. Tabet kan reduceres betydeligt i svinegylle ved gylle afkøling eller forsuring. Ved forsuring forringes gyllens egnethed i biogasanlæg imidlertid.

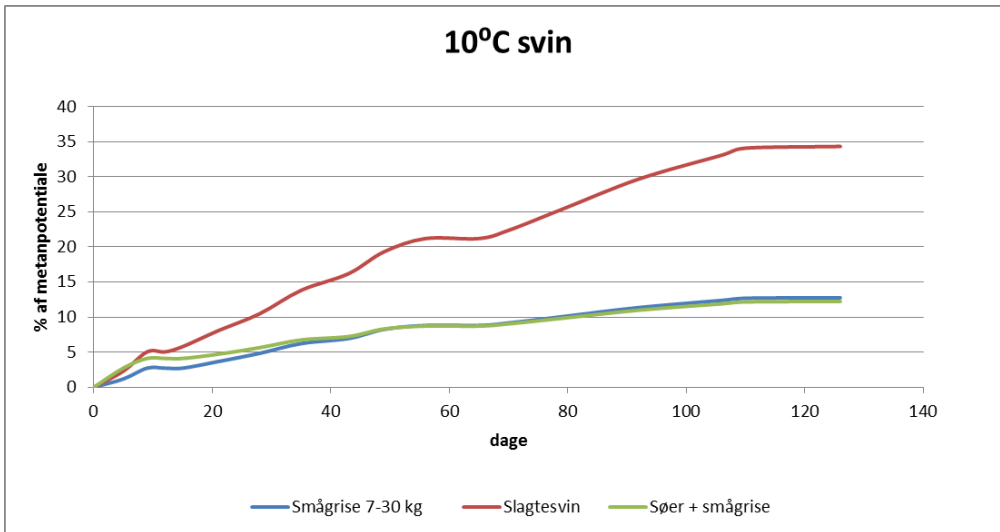
Mange biogasanlæg henter ugentlig, eller flere gange om ugen, hos den samme leverandør, for at få gylle så frisk som muligt, og med mindst muligt biogastab, men det vurderes, at der stadig er et betydeligt uudnyttet potentiale i at mindske tabet før levering til biogasanlæg gennem hyppig afhentning af frisk gylle.



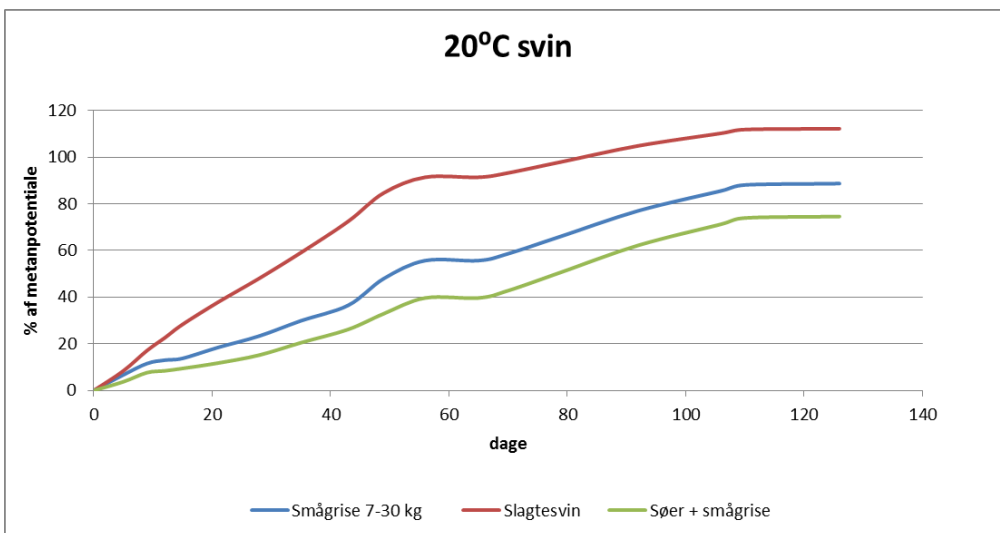
Figur 75: Procentvis tab ved 10⁰ C i kvæggylle ved forskellig temperatur, opholdstid i stald og fodring



Figur 76: Procentvis tab ved 20⁰ C i kvæggylle ved forskellig temperatur, opholdstid i stald og fodring



Figur 77: Procentvis tab ved 10⁰ C i svinegylle ved forskellig temperatur, opholdstid i stald og fodring



Figur 78: Procentvis tab ved 20⁰ C i svinegylle ved forskellig temperatur, opholdstid i stald og fodring

6.0 ny teknik til biogas

Dette afsnit omhandler et udpluk af nogle teknikker, der kunne være interessante at undersøge i forhold til at optimere biogasanlæg. Det har ikke været muligt at afprøve dem i dette projekt. Nedenstående omtale af dem beror i høj grad på firmaoplysninger og ikke uvildige afprøvninger.

6.1 Ionisering af rågylle

Vogelsang BioCrack er en elektrokinetisk disintegrations teknik, hvor elektroder i et rør tilsætter volt til biomassen imens der pumpes forbi. Denne påvirkning åbner op for biomasse, og øger tilgængeligheden for metanbakterier, for derved at øge gasproduktionen. BioCrack systemet monteres med en rotacut til at findele biomassen før den pumpes igennem BioCracken. Der er erfaringer for, at det har en gavnlig effekt på at lette omrøring og pumpning af biomassen.

6.2 Forbehandling med Plurry Maxx neddelere

Plurry Maxx fra Röhrling Energi-Anlagen, Tyskland er opbygget som en cylinder med roterende knive indeni til neddeling af de biomasser der fyldes i, lidt som en stor blender. Formålet med vådneddeleren er at give biomassen et større overfladeareal, for derved at reducere opholdstiden i reaktoren.

Vådneddeleren er opgivet til en kapacitet op til 20m³ pr. time med et elforbrug på op til 37 kWh.

6.3 Brikettering

Der er udviklet en større brikettemaskine end den, der står hos Aarhus Universitet, Foulum. Den nye er opgivet til væsentlig højere kapacitet (3-4 tons pr. time) og samtidig et væsentligt mindre energiforbrug og vedligehold per tons halm end i mindre modeller. Energiforbruget er opgivet til 50-60 kWh per tons halm. Det er bl.a. en større brikettediameter på op til 120mm mod tidligere 70-90mm, som giver den større kapacitet. Den større diameter gør også, at halmen ikke længere skal formales før brikettering, men der kan håndteres strå længder op til 5 cm mod tidligere 1-2 cm. Brikettemaskinen forhandles af BioFuel Technology A/S

6.4 Pillepresning af halm direkte på marken

På den tyske messe Agritechnica viste maskinfabrikanten Krone i 2015 en mobil pillepreser model Premos 5000, der opsamler materialet med pickup direkte på marken og presser det i 16mm piller. Den kan presse forskellige materialer som halm, græs eller hø. Kapaciteten er opgivet til ca. 5 tons i timen ved en fremkørselshastighed på to til tre kilometer i timen. Den kan også anvendes som stationær pillepreser ved at opstille et fødebord, hvor bigballer kan stilles på, hvorefter de trækkes ind i pillepresseren.

Presning af piller direkte på marken giver en højere vægtfylde, og dermed mulighed for lavere transport- og lageromkostninger. Hvis pillerne let kan opblandes i væske eller fødes direkte ind i reaktoren uden yderligere forbehandling, vil der være perspektiver i maskinen. Kapacitetsmæssigt ligger den noget under en bigballepreser der typisk presser 12-20 tons i timen.

Agrotech vurderer at ved en beregnet timepris på 2.585 kr. og en kapacitet på 3 tons i timen, vil omkostningerne ligge på ca. 86 øre/kg, faldende til ca. 52 øre/kg ved 5 tons i timen. Umiddelbart er det en

dyr løsning, også selv når de normale presseomkostninger på ca. 12 øre/kg fra trækkes. Til gengæld giver det andre fordele, som at pillerne kan anvendes direkte i reaktoren, og at de har en større vægtfylde.

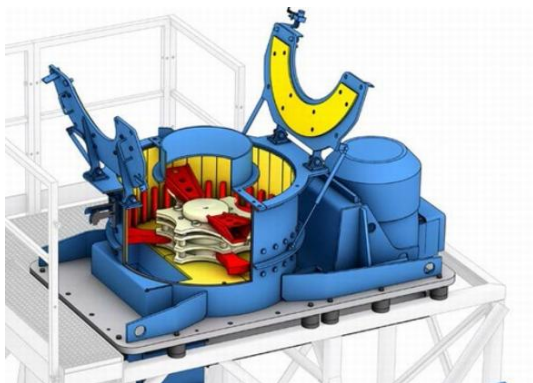


Billede 43: Krone Premos 5000 mobil pillepresser til direkte opsamling i marken

6.5 RGB Biogrinder

Teknikken består i at hammerslagler knuser den biomasse som indføres i beholderen. Principmæssigt ligner den kædeknuseren fra MeWa og Xchopperen fra Xergi.

Den er opgivet til en kapacitet op til 12 tons/time med en 75 kW motor.



Billede 44: Principskitse af RGB biogrinder

6.6 MeWa kædeknuser

Teknikken i MeWa Bio-QZ kædeknuser er meget enkel med en kæde der knuser materialet i stedet for slagler eller hamre. Kapacitetsmæssigt fås den med motorer op til 250 kW og kan præstere behandling af mere en 10 tons i timen afhængig af biomassetype.



Billede 45: MeWa kædeknuser opstillet på anlæg



Billede 46: Biomassen knuses med en kæde

6.7 Luftrensning på lastbiler

På et af de medvirkende anlæg, køres forsøg med anvendelse af aktivt kul til luftrensning fra gylletankbiler. Når luften i tankbilen fortrænges af ny gylle, skal det igennem filteret med aktivt kul for at blive rensset. Formålet er at kunne reducere lugtgener ved påæsning, og det kunne reducere eller fjerne behovet for at have læsse/lossehaller til lastbiler der transporterer flydende biomasser. Forsøget er et samarbejde med tankproducenten VM Tarm a/s.

6.8 Stempelpumper

Under besøget i USA blev det observeret, at de ofte bruger stempelpumper til at pumpe rågyllen fra de stalde, hvor de har sand i sengebåsene. Erfaringerne fra brugerne er, at en stempelpumpe har meget lidt vedligehold, og kan pumpe meget tyk gylle. Om denne type har en fremtid på biogasanlæg er uvist, men på kvæggårde, hvor rågyllen er tyk, vil det være en mulighed. Nogle gårde bruger vaskevandet til iblanding i gylle, for at det er lettere at få ud af stalden. At anvende denne type i kombination med skrabe anlæg kunne være en mulighed, for samtidig at undgå fortynding af kvæggyllen inden det transporteres til biogasanlægget.

Stempelpumper har ikke roterende dele, men et stort stempel, som i kombination med klaplemme til åbne/lukkefunktion henholdsvis suger gylle ind med vacuum, og fortrænger det efterfølgende ud i rørene. De fås i mange størrelser og med forskellige kapaciteter.



Billede 47: Jamesway stempelpumpe der suger fra åben fortank og pumper til sandkanon

7.0 Driftsmæssige effektiviseringspotentialer

I nærværende rapport er der fundet en del effektiviseringsmuligheder på anlæg, hvoraf nogle vil være økonomisk fordelagtige at gennemføre, og andre er mere tvivlsomme i forhold til økonomi.

Eksempler:

Øge reaktorvolumen og dermed opholdstiden for at reducere restgaspotentialer. Det er fundet at syv anlæg kan opnå en betydelig gevinst ved øget reaktorkapacitet, medens seks anlæg har en mindre gevinst. Flere anlæg er i øjeblikket i gang med, eller overvejer at etablere øget reaktorkapacitet.

Der er ikke fundet én forbehandlingsteknik som er suveræn i forhold til andre. Valg af forbehandlingsteknik afhænger af hvilke biomasser der anvendes, opholdstiden i anlægget mm. Der er forskel på om teknikken skal forbehandle for at øge gasudbyttet ved kort opholdstid, eller det skal være en metode til at faste biomasser kan indføres i reaktoren, og den lange opholdstid sørger for afgasningen. Der er flere eksempler på beregning af omkostninger til forbehandling i økonomirapporten.

Ved flere anlæg vil der være god økonomi, foruden de miljømæssige fordele, i at opsamle metan fra fortanke og blandetanke. Det har vist sig, at flere anlæg har en ikke ubetydelig metanproduktion i fortanke, som i dag ledes gennem lugtrensingsanlægget i stedet for at blive anvendt som biogas. Det er dog ikke uden problemer at anvende metanen, da den har lav metanprocent og højt svovlindhold.

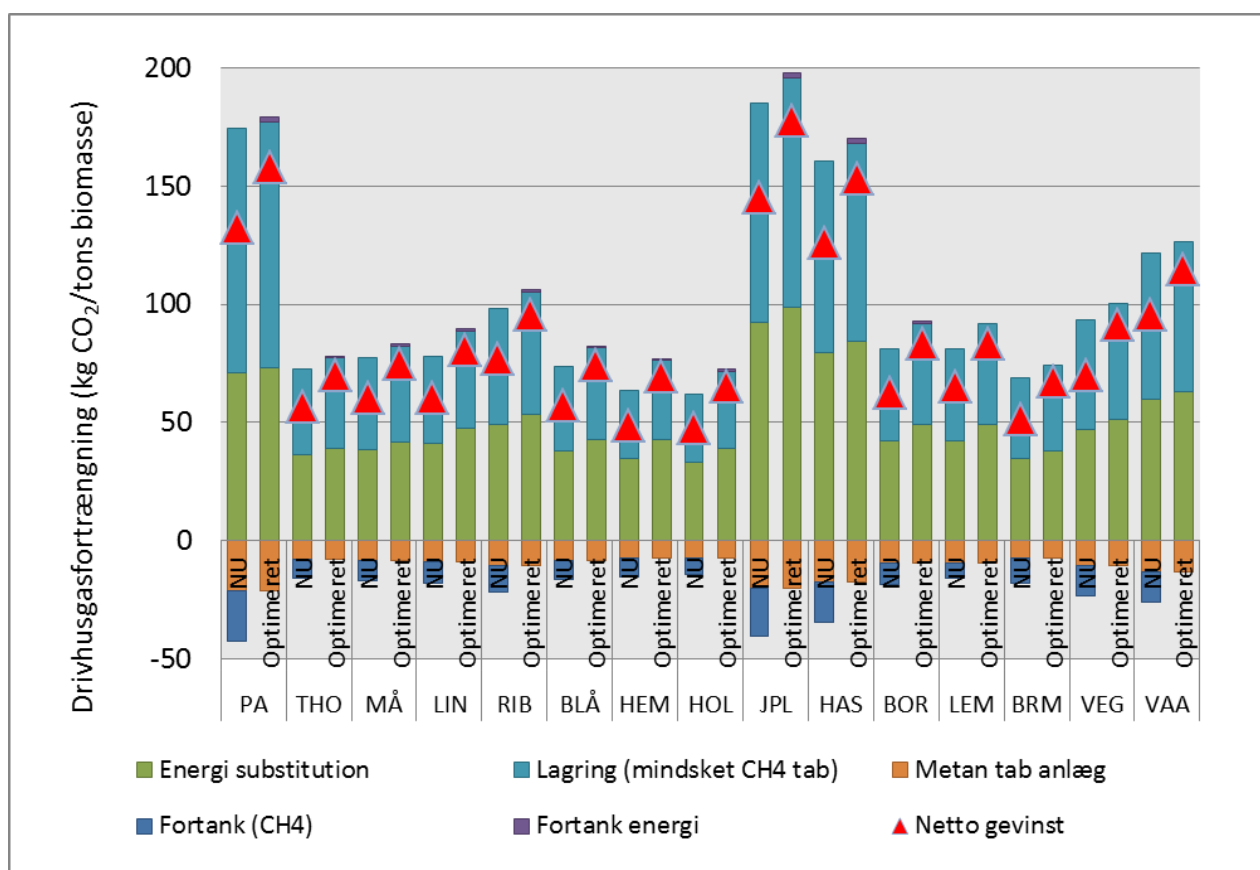
Ved tilførsel af halm eller dybstrøelse i fortanken på bedriften, vil det være muligt at øge gyllens tørstofindhold, ude ved leverandørerne. Det vil stadig være muligt at transportere det med tankbiler, i modsætning til i dag, hvor det flyttes som faste biomasser. Det forventes kun at være en del af de faste biomasser, som med fordel kan iblandes hos leverandørerne. Det vil mange steder kræve investering i øget omrørekapacitet, og udstyr til iblanding af de faste biomasser i fortanken.

Sand i biogasanlæg er en stor udfordring, og medfører store omkostninger når de skal tømmes. Der findes efterhånden teknik der kan separere sand fra gylle, både til opstilling hos leverandører og på anlæggene. Det er meget vanskeligt at separere alt sandet fra med kendte teknikker, og det kræver derfor stadig udvikling, og et samarbejde om at finde sandtyper som både er godt for køerne og lette at separere fra.

8.0 Anlæggenes klimagevinst

Der er identificeret en række optimeringsmuligheder til at øge anlæggenes klimaprofil ved at forlænge opholdstid. I nedenstående Figur 79 er anlæggenes klimagevinst beregnet under en række forudsætninger, og et optimeret scenarie er beregnet hvor halvdelen af restgas potentialet opsamles og gas fra blande og fortanke nyttiggøres. De undersøgte anlæg sparer miljøet for ca. 60-180 kg CO₂/ton biomasse. Opsamling af gas fra fortanke og udnyttelse af halvdelen af restgas potentialet kan spare klimaet for yderligere ca. 20% drivhusgasser.

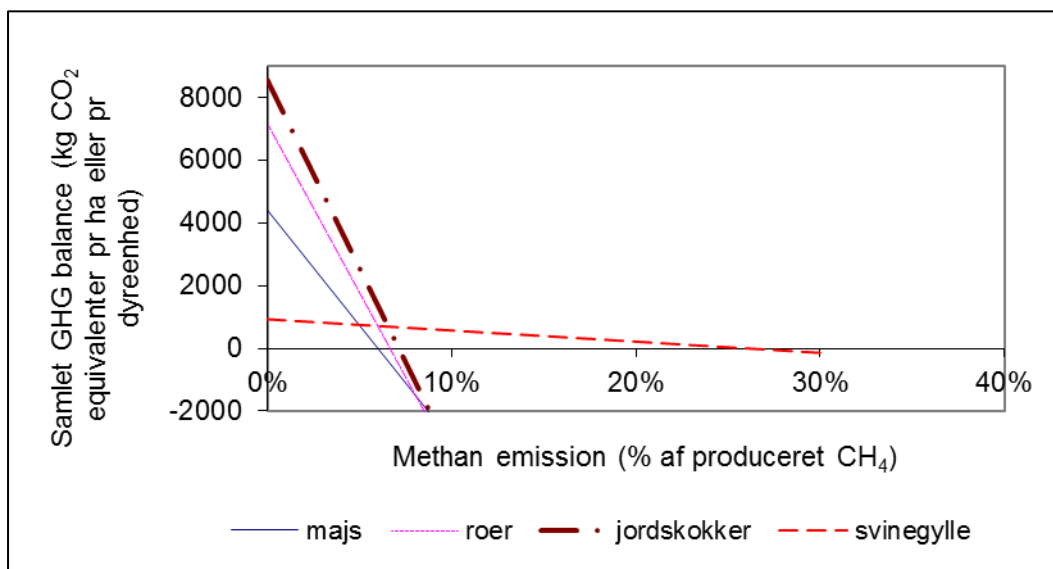
Det er i Figur 79 forudsat at gas i fortanke udnyttes/afbrændes, og 50% af rest gas udnyttes i det optimerede scenarie. GWP_{CH₄}⁶ er sat til 25. Metan tab anlæg er sat til 2% af produceret gas. Evt. negativ effekt af afgrøder er ikke indregnet.



Figur 79: Drivhusgasforbrændning for anlæggene i et nu scenarie og et fremtidigt scenarie

⁶ GWP står for global warming potential og er den faktor en drivhusgas bidrager med i forhold til CO₂ på global opvarmning.

For at opnå en høj klimagevinst skal alle kilder til metan udslip i hele håndteringskæden reduceres mest muligt. Generelt er klimagevinsten langt højere ved anvendelse af husdyrgødning end ved andre typer biomasse, og for anvendelse af afgrøder kan der kun accepteres minimale tab, jf. Figur 80. Det fremgår således, at det først er når tabene i gylle overstiger 25%, at der er en negativ CO₂ balance medens der allerede ved et tab i størrelsesordenen 7% ikke længere er en positiv klimagevinst ved anvendelse af afgrøder til biogasproduktion.



Figur 80: CO₂ balance ved afgangning af afgrøder (kg CO₂/hektar) og svinegylle (kg CO₂/dyreenhed). (Møller mfl. 2008)

9.0 Perspektiverne for branchen

Der er identificeret en række punkter hvor der er brug for yderligere dokumentation og teknologudvikling:

1. Tab af metan i gylle inden afhentning. Tidligere forsøg viser, at der især i svinegylle kan være en stor gevinst, ved at afhente gylle på ejendommene, så ofte som muligt. Det bør undersøges nærmere hvor stor mérudbyttet i biogas er, og hvorvidt det er muligt i nuværende staldsystemer, at afhente rågylle så ofte, at det kun er få dage gammelt.
2. Effekt af inoculum på biogasudbyttet fra tungtomsættelig biomasse. Det ser ud til at der er stor forskel på, hvor godt de forskellige biogasanlægs sammensætning af bakterier i reaktorerne kan udnytte biogaspotentiallet i halm og dybstrøelse. Det kan forventes at have betydning ved opstart af nye anlæg, hvor de får deres podemateriale fra til opstart. Det bør undersøges om et anlæg ved skift til andre biomasser, kan have fordel af at hente podematerialer fra andre biogasanlæg, der i forvejen behandler disse biomasser. Vil biogasproduktionen kunne øges ved i højere grad at designe bakteriemassen i reaktorerne til den specifikke sammensætning af biomasser, som anlægget skal køre med.
3. Billige forbehandlings metoder, herunder ensilering af halm. Ensilering af halm ser ud til at være en metode, der med fordel kan anvendes, for derved at kunne tilføre større mængder halm. Ludbehandling ser også ud til at have en positiv effekt. Det bør undersøges om der er andre metoder til behandling af biomasser med højt tørstofindhold, som kan gennemføres med lavt energiforbrug.
4. Optimering af svovlrensning. Det har vist sig at flere anlæg har udfordringer med svovlrensning, ikke mindst i forbindelse med rengøring af svovlrensningsanlæg. Hvis flere biogasanlæg i fremtiden får tilføre mere gylle som er forsuret i staldene, vil svovlindholdet i biogassen stige yderligere og stille større krav til svovlrensningen.
5. Udfordringer med sand i biogasanlæggene. Mange anlæg lever med de udfordringer som sand i gylle medfører. Mange anlæg har store udgifter til rensning af fortanke, for det sand som kommer ind med rågyllen. Det har også betydning for reaktorvolumen, idet sandet bygger op til et vist niveau i reaktorerne og dermed reducerer opholdstiden. Efterhånden som mange stalde anvender sand i sengebåsene, forventes problemet at blive større, eller man kan blive nødsaget til at afvise kvægproducenter, der anvender sand i sengebåsene, som leverandører til biogasanlæg. Der findes teknik til frarensning af sand i gyllen, men der bør følges op på om teknikken er tilstrækkelig udviklet til, at der kan opnås en høj frarensning af sand. Samtidig skal det undersøges, i hvor høj grad frarensning skal ske på gårdene og/eller hos biogasanlæggene.

10.0 Litteratur

Kurt Hjort-Gregersen, Agrotech, Udvikling og effektivisering af biogasproduktionen i Danmark, rapport, økonomi, nøgletal og benchmark..Energistyrelsen Biogas Taskforce.

Jakob Lorenzen, Dansk Fagcenter for Biogas, Organisatoriske udfordringer for den danske biogasbranche. Energistyrelsen Biogas Taskforce.

Biogas i Danmark, status, barrierer og perspektiver, Biogas Taskforce 2013.

Henrik B. Møller, Institut for Ingeniørvidenskab, PlanEnergi/Aarhus Universitet. Halm, dybstrøelse og andre tørstofrige biprodukter til biogas- forbehandling og potentialer.

Møller, H.B., Marika Murto, Mari Seppälä, Jukka Rintala, Angelidaki, I. 2008. Manure an energycrops for biogasproduction, status and barriers. Norden, Nordic Council of Ministers.

11 Bilag

Bilag 11.1 Notat vedr. omkostning for udvidet udrådningskapacitet

2015.05.22.BWSC/LSE

Af: Lars Ellegaard, BWSC

Notat vedr. omkostning for udvidet udrådningskapacitet

På styregruppermøde d. 19. Maj 2015 blev det besluttet at foretage en vurdering af lønsomheden ved udvidet opholdstid set ift. resulterende ekstra biogasudbytte/minereret resttab.

Som grundlag herfor er nedenstående foretaget et estimat af typiske etablerings- og driftsomkostninger for etablering af ekstra udrådningskapacitet.

Estimat afhænger selvfølgelig af en række projektspecifikke forudsætninger, herunder hvorvidt der er tale om ekstra kapacitet etableret ifm. nyetablering eller som en senere udvidelse på et eksisterende anlæg, entreprisform samt hvor stor en udrådningsstanke der er tale om.

Det samme gælder efterfølgende driftsforhold.

Estimat er derfor behæftet med en vis usikkerhed som må verificeres for et givet projekt.

Etablering omkostningsestimat – 4000 m3 udrådningsstank

Forudsætninger:

- Tnaktype	:	Svejst ståltank, C-stål
- Væskevolumen	:	4000 m3
- Ca. dimension	:	Ø16*H=20 m (H=1.25xD)
- Isolering	:	200 mm mineraluld + trapezplade
- Omrøring	:	Tophængt(e) vertikalomrører(e)

Omkostningsestimat (DKK):

- Tankfundament	:	300.000 (fladt, ringfund.+opfyldn./asfalt)
- Ståltanksentreprise, isoleret	:	3.500.000

- Lejdere, gangbroer mv.	:	100.000	
- Omrør(er), inst. ca. 15 kW	:	325.000	(ca. 450.000 hvis delt i to)
- Div. armaturer	:		60.000 (tryk/overfyldssikr., skueglas)
- Ventiler & instrumenter	:	85.000	
- Kran og udstyrsmonter	:	55.000	
- Diverse ekstern tilslutning	:	200.000	(rør, el mv.)
- <u>SRO integrering</u>	:	<u>50.000</u>	(programmering, I/O kort etc.)
- Subtotal	:		4.675.000
- <u>Projektering og tilsyn mv.</u>	:	<u>468.000</u>	(10%)
- Total	:		5.143.000
- Specifik omkostning	:		1285 kr/m³

Den **specifikke etableringsomkostning, 1285 kr/m³**, afhænger naturligvis af enhedsstørrelse. Overslagsmæssigt kan det antages at specifik etableringspris varierer nogenlunde som :

$$\text{Spec. Vol.omk.} = 1285 * (V/4000)^{-0.3}$$

Dvs. at specifik volumenpris forventes at variere i intervallet 1580 til 1040 kr/m³ for tanke i intervallet 2000 – 8000 m³, som burde dække de fleste tilfælde.

Afhængigt af "omstændigheder" kan der være svært kvantificerbare "indirekte" omkostninger såsom : ekstra opvarmingskapacitet, større eltavleanlæg, forøget biogaskapacitet etc., så ovenstående estimat skal nok regnes at ligge på den lave side af de reelle meromkostninger.

Driftsomkostninger

Ud over afskrivning af etableringsomkostning vil der selvfølgelig være visse driftsomkostninger forbundet med at holde et udrådningensvolumen i drift, som skal modregnes forventet mergasudbytte.

Væsentligt er ekstra elforbrug til omrøring mv., varmetab en smule løbende service og vedligehold samt evt. omkostninger til periodevis sandtømning.

Disse driftsomkostninger er forsøgt kvantificeret nedenstående.

Elforbrug

Ekstra elforbrug vil i al væsentlighed være behov for omrøring.

Pumpearbejde burde ikke forøges, da der totalt på anlægget ikke skal flyttes/pumpes mere biomasse.

Når der er tale om tophængte vertikale røreværker er en typisk installeret effekt ca. 3.5 W/m³ reaktor (4000 m³ ~ 15 kW), med et faktisk gennemsnitsforbrug ca. 65% heraf, dvs. ca. 2.4 W/m³ reaktorvolumen.

På årsbasis (8760 h) bliver det til **ca. 21.4 kWhe per m3 reaktor per år** eller 85.400 kWhe/år for en 4000 m3 reaktor).

Hvis et anlæg er dimensioneret for håndtering af biomasser med et højt TS indhold kan omrørerbestykning og effektforbrug evt. være noget højere (måske +50%).

Hvis ekstra udrådningskapacitet installeres parallelt med sædvanlig kapacitet vil den formentlig skulle bestykses omrørermæssigt som basisanlæg.

Hvis ekstra udrådningskapacitet derimod installeres som efterudrådningskapacitet, hvilket også ville være optimalt mht. maksimering af merudbytte men forudsætter et tilstrækkeligt/stabilt primæranlæg, kunne omrøringsbehov nok reduceres til fx 50-65% af ovenstående.

Varmeforbrug

Varmeforbrug er afhængigt hvorvidt biogasanlæg er termofilt eller mesofilt.

Opvarmning af en rådnetanke består sædvanligvis af 3 delbidrag:

- Varmetab
- Afdampningstab (biogas)
- Opvarmning/slutopvarmning af biomasse

Som ekstra udrådningskapacitet vil biomasse opvarmning ikke være aktuelt (der håndteres ikke ekstra biomasse) og afdampningstab vil kun svare til ekstra opnået gasproduktion, uanset om den aktuelle tank måske producerer mere ved også at "aflaste" øvrige basis udrådningsstanke.

For den estimerede 4000 m3 rådnetank vil årsgennemsnitligt varmetab (omgivelsestemp. 8 oC) for **termofil drift (53 oC)** typisk være 16.5 kW, svarende til 4.13 W/m3 reaktor eller **36.1 kWh/m3 reaktor per år**.

Afdampningstab vil være ca. 90 W per m3/h biogasproduktion, eller **0.09 kWh/m3 biogas**.

Hvis tank var belastet med hydraulisk opholdstid 15 døgn og en biomasse med specifik biogasproduktion fx 40 m3/ton biomasse ville specifik biogasproduktion være ca. 2.7 m3 biogas per m3 reaktor per døgn, og afdampningstab dermed ca. 10 W/m3 reaktor.

Det er som det ses væsentlig mere end varmetab, men da den marginale merproduktion ved ekstra opholdstid typisk er langt mindre end ovenstående eksempel bør afdampningstab regnes ift. forventet merproduktion (dvs. 0.09 kWh/m3 ekstra biogas produktion).

For et **mesofilt anlæg** vil de tilsvarende specifikke varmetab, for en 400 m3 tank, være :

- **Varmetab** **ca. 23.3 kWh/m3 reaktor per år**
- **Afdampningstab** **ca. 0.035 kWh/m3 biogas**

Hvis det er upraktisk at regne afdampningstab separat som funktion af opnået mergasudbytte (udbytte resultat indgår i omkostningsestimater) foreslås det at håndtere afdampningstab som et 50% tillæg til varmetab (baseret på den iagttagelse at efterudrådningstank i Lemvig typisk producerer ¼ af tilsvarende primærtanke).

Det specifikke varmetab (kWh/m³ reaktor) afhænger af tankstørrelse da overflade/volumen forhold er størrelsesafhængigt (og vil i øvrigt også afhænge af tankproportioner hvor et kubisk højde/diameter forhold er optimalt).

Størrelsesmæssig afhængighed kan estimeres som :

$$\text{Specifikt varmetab} = \text{Ref. varmetab} * (V/V_{\text{ref}})^{-0.33}$$

Dvs. for en termofil rådnetank vil det specifikke varmetab for en termofil tank (36.1 kWh/m³ per år for en 4000 m³ tank ref. ovenstående) variere i intervallet 45.4 og 28.7 kWh/m³ per år for tankstørrelser i intervallet 2000 – 8000 m³.

For mesofile tanke vil interval tilsvarende være 29.3 – 18.5 kWh/m³ per år.

Specifikt afdampningstab er uafhængigt af tankstørrelse.

Service og vedligehold

Selv om der på en rådnetank typisk kun er omrører(e) som roterende udstyr, og disse stort set kan være vedligeholdsfri, må der påregnes lidt løbende vedligeholdelseskostninger forbundet med at holde et større udrådningstvolumen i drift.

Det kan være i form af en smule omrørerservice, vedligeholdelse/udskiftning af instrumenter og ventiler samt løbende eftersyn og reparation af tag og sideinddækning.

Da det er svært at kvantificere foreslås det at sætte denne omkostning til 0.5% af etableringsomkostning, dvs. ca. kr. 25.000 årligt for en 4000 m³ tank eller **kr. 6.25 per m³ reaktor per år.**

Sandtømning

Erfaringsmæssigt kan det være nødvendigt med 5-8 års mellemrum at tage en udrådningstank ud af drift og tømme den for sand.

Det indebærer både en omkostning til tømning og bortskaffelse af sand og et vist produktionstab i den periode tanken er ude af drift.

Man kan spekulere over om længere opholdstid for den samme biomasse egentlig totalt set betyder mere sandaflejring, men selv hvis der er tale om totalt set samlet sandmængde kan en ekstra udrådningstank

godt indebære en vis meromkostning til sandtømning (men ikke hvis ekstra volumen er i form af generelt større tanke på et nybygget anlæg).

Ekstra udrådningsevnen ift. det der normalt anses for nødvendigt for at opretholde en stabil proces (typisk ca. 15 dages HRT for et termofilt anlæg og 22.5 dage for et mesofilt anlæg) burde betyde at driftstab kan holdes på et begrænset niveau hvis anlæg er hensigtsmæssigt indrettet (flere udrådningstanke), da resterende anlæg under tømning af én tank stadig vil kunne opretholde næsten normal produktion uden belastningsreduktion.

Som det fremgår af ovenstående er det svært at kvantificere den eventuelle meromkostning til sandtømning ved ekstra udrådningsevnen.

Hvis man (lidt tilfældigt) antager at en normal udrådningstank på 4000 m³ skal snadtømmes hvert 8 år med en omkostning på kr. 150.000 (dvs. 18.750 kr/år) og at ekstra udrådningsevnen kun vil indebære ca. 1/3 af denne omkostning kunne man regne med ca. 6250 kr/år for en 4000 m³ tank eller **ca. 1.6 kr/m³ reaktor per år til ekstra sandtømning.**

Bilag 11.2 Resultater fra afprøvning af sandcyklon hos Linkogas

ID	DM	Ash
Linkogas 23/4-15	%	%
nr 1 Rågylle kogylle med sand i båse	17,51	9,97
nr 2 Sand ved 1. separation	54,68	49,23
nr 3 Rågylle efter første separation	13,21	6,55
nr 4 Rågylle blandet med svinegylle	8,60	3,75
nr 5 Vaskevand til afløb (rensevand)	0,87	0,22
nr 6 Rågylle efter 1. sep	6,40	1,94
nr 7 sandprøve efter 1. sep.	69,65	67,32
nr 8 sandprøve efter 2. sep	55,78	50,56
nr 9 rågylle efter 2. separation	5,82	1,56
nr 10 rågylle efter 3. separation	5,22	1,29
nr 11 sandprøve efter 3. sep.	50,17	43,60
Lobes egne afprøvnings dagen før.		
010 rågylle højagergård	7,85	2,96
011 Sand 1. separation	67,28	65,31
012 kvæggylle u. sand rågylle	7,46	1,87
013 sand 1. separation	56,04	47,40
014 sand 2. separation	49,17	40,33