



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Aikan Agri

To-faset biogas og kompostering af
organisk affald fra by og land

Miljøprojekt nr. 1586, 2014

Titel:

Aikan Agri

Redaktion:

Morten Brøgger Kristensen

Udgiver:

Miljøstyrelsen
Strandgade 29
1401 København K
www.mst.dk

Foto:

Aikan A/S

Illustration:

Aikan A/S

År:

2014

ISBN nr.

978-87-93178-74-8

Ansvarsfraskrivelse:

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling. Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter. Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

Forord	4
Konklusion og sammenfatning	5
Summary and Conclusion	7
1. Baggrund, koncept og perspektiver	9
2. Materialer og metoder	11
2.1 Udgangspunktet – Aikan anlægget i Holbæk	11
2.2 Udbygning af forsøgsfaciliteter	11
2.3 Screening af forbehandlingsteknologier	11
2.4 Test af forbehandlingsmetoder	11
2.5 Aikan Agri konceptudvikling	13
2.6 Bestemmelse af metanpotentiale og -udbytte	14
2.7 Kompostkvalitet – næringsstoffer og urenheder.....	14
2.8 Hygiejnisering af kompost og perkoleringsvæske	14
3. Resultater og teknologiudvikling	16
3.1 Det konventionelle biogasfælesanlæg for gulle og Aikan anlæg til kildesorteret organisk dagrenovation (KOD)	16
3.2 Mekanisk for-og efterbehandling af KOD	16
3.2.1 Formål og udfordringer i Aikan Agri forbehandlingen	17
3.2.2 Affaldskvalitet Og forbehandlingsbehov	17
3.2.3 Poseåbnere	17
3.2.4 For- og eftersortering.....	19
3.2.5 Blanding og indfødning	19
3.2.6 Effekt af forbehandling på biogasudbytte	20
3.3 Aikan Agri teknologien	21
3.3.1 Formål og udfordringer ved udvikling af teknologien.....	21
3.3.2 Proces design.....	21
3.3.3 Gaspotentialer og -udbytter.....	23
3.3.4 Effekt af inoculum på gasudbyttet fra KOD og gulle	23
3.3.5 Kompost og næringsstoffer.....	25
3.3.6 Hygiejniske resultater og design	26
3.4 Energi- og massestrøm	28
3.4.1 Massebalance	28
3.4.2 Energibalance.....	32
3.5 Aikan Agri – konceptuelle designs og driftsøkonomi	34
4. Diskussion	39
Referencer	42

Forord

Dette projekt er blevet til med støtte fra Miljøstyrelsens pulje for renere teknologi uden hvilken projektet ikke havde været muligt – en stor tak for dette!

Projektets resultater bidrager til at forbedre Aikan teknologiens udbredelsesmuligheder, som en teknologi med fokus på at sikre energiudbytte fra organisk affald og samtidigt øge recirkulering af næringsstoffer.

Projektet har været fulgt af en følgegruppe med repræsentanter fra: Energistyrelsen, Brancheforeningen for Biogas, DAKOFA, RenoSam (Dansk Affaldsforening), Hashøj Biogas, Ringkøbing-Skjern Kommune samt Miljøstyrelsen.

Projektet er udarbejdet af følgende medarbejdere hos Solum Gruppen; Forsøgsarbejder: Bjarne Jørnsgaard, Peter Brønnum og Pernille Hasse Busk Poulsen. Drift: Carsten Mikkelsen og Tonny Beck Galsklint. Økonomi: Henrik Mortensen, Martin Wittrup Hansen og Ask Tonsgaard.

Konklusion og sammenfatning

I dette projekt er der arbejdet med videreudvikling af Aikan® Teknologien med henblik på at kunne integrere løsningen med eksisterende eller fremtidige biogasfællesanlæg. Arbejdstitlen er Aikan Agri®. Formålet var at gøre anlæg, som primært håndterer flydende affald, i stand til at kunne modtage, forbehandle, afgasse og kompostere kildesorteret, organisk dagrenovation (KOD) uden et meget stort behov for frasortering. Udviklingsarbejdet er teknisk udført i fuldskala på Aikan anlægget BioVækst ved Holbæk.

Rapporten belyser en række vigtige driftsaspekter af Aikan Agri teknologien:

Forskellige forbehandlingsmetoder belyses, og fordele og ulemper ved disse beskrives. Ud fra konkrete forsøg vises effektiviteten af de valgte enkle mekaniske metoder, som foreslås anvendt ved små og store Aikan Agri anlæg. Affald med mindre end 15 % urenheder kan behandles uden frasortering, hvorved den samlede mængde kildesorteret organisk dagrenovation (KOD) potentielt kan bidrage til energiproduktion og kompost. Fra affald med større mængder urenheder (>15 %) sorteres mindre end 12 % af det samlede biogaspotentiale fra med restaffaldet. Betydningen af dette kan ikke måles på fuldskala udbyttet, som i forvejen udgør ca. halvdelen af det laboratoriebestemte potentiale. Andre parametre har således større betydning. Kvaliteten af komposten mht. synlige urenheder afhænger primært af eftersorteringen, hvor de finere uorganiske emner frasorteres.

Energiudbyttet fra Aikan Agri anlægget belyses gennem forsøg. Der fokuseres på, hvad KOD kan bidrage med til et biogasfællesanlæg. Resultaterne viser, at der kan opnås knapt 60 m³ metan per ton KOD og ca. 10 m³ metan per m³ kvæggylle. Af rapporten fremgår det ligeledes, at potentialerne i affaldet er ca. dobbelt så store.

Der er gennemført beregning af energi- og massebalancer for hele anlægget. Resultat af energibalancen viser, at ca. 13 % af den producerede energi bruges i driften, når man medtager varmemeforbruget til hygiejnisering af KOD. Der fokuseres i massebalancen også på bevaring af næringsstoffer; dvs. hvor stor en del af det samlede input, som bevares i kompost/afgasset gylle. Resultaterne viser, at der genavendes 84 % af kvælstof, 90 % af fosfor og 93 % af kalium fra gødningsstofferne i det indkomne materiale.

I rapporten er der taget stilling til spørgsmålet om hygiejnisering af KOD og gennemført undersøgelser af procesmodulernes og komposteringsprocessens evne til at hygiejnisere. Det vises, at der kan opnås 70 °C i en time i procesmodulerne via kompostering. I forhold til energi- og massebalancen, er der fundet en endelig løsning på, hvorledes hygiejnisering skal foregå i et Aikan Agri anlæg gennem hygiejnisering af massen før selve den biologiske proces.

Aikan Agri konceptet består af velkendte komponenter, som kan sammenbygges med eksisterende biogasfællesanlæg. Styringen af anlæggets proces er gennem projektet indrettet således, at denne let kan indpasses på eksisterende anlæg.

Der er udviklet en avanceret økonomisk model med anlægs- og driftsøkonomi baseret på erfaringer fra konkret drift af anlægget i Holbæk. Modellen tager højde for finansiering, afskrivninger og rammebetingelser. Modellen kan bruges til en driftsøkonomisk vurdering af anlæg af vilkårlig størrelse. I denne rapport er der udført businessmodelberegninger af 2 barmarksanlæg på henholdsvis 50.000 ton KOD og 300.000 ton gylle eller 20.000 ton KOD og 100.000 ton gylle. Med

de givne rammebetingelser fås en tilbagebetalingstid på henholdsvis 1,3 år og 5,4 år før skat. Der er udarbejdet følsomhedsscenarier i forhold til rammevilkårene, som viser, at ændringer i behandlingspris for KOD og salgspris for gas med 10 % og samtidig forøgelse af afsætningsomkostninger for afgasset gylle og kompost med 30 kr. pr ton har stor betydning. Ved ændring af disse parametre kan tilbagebetalingsperioden ændres til henholdsvis 7,9 år og +10 år.

Summary and Conclusion

In this project the Aikan® Technology (www.aikantechnology.com) has been further developed in order to be able to integrate with existing or future biogas plants for manure, slurry or other fluid feedstock. The working title is Aikan Agri ®. The aim was to make plants, which mainly handle liquid waste, capable of receiving, preprocess, digest and compost Biodegradable Municipal Solid waste (BMSW) without sorting out a vast proportion of biodegradable material with the residuals. The development has been technically executed in full scale at the Aikan plant *Bio Vækst* near Holbæk.

The report highlights a number of important operational aspects of the Aikan Agri technology:

The pros and cons of various pretreatment methods are described, based upon the results from specific trials, the effectiveness of the simple mechanical methods selected for use by small and larger Aikan Agri plants is demonstrated. Waste with less than 15% of impurities can be treated without pretreatment, with the result that the total amount of organic potential in the BMSW can contribute to energy production and the compost yield. Through a rough screening of BMSW with more than 15% of impurities, less than 12% of the total methane potential ends up in the residual waste. The effect of this loss cannot be seen in the full-scale methane yields achieved due to the fact that only half of the laboratory potential is gained beforehand. Consequently, it seems that other process parameters have greater significance, than the sorting of a minor proportion. The physical handling by sorting might influence the methane yield positively. It was found that the purity of the compost, characterized by visible impurities, depends primarily upon the quality of the post-screening at 10 mm drum screen. It must, however, be stressed that this is due to the gentle bag-opening procedure in the pretreatment process, which does not crush glass and plastics to small pieces.

The energy yield from Aikan Agri has been demonstrated through trials. The focus was on how, by means of the Aikan Agri technology, BMSW can contribute to a better economy in manure- and slurry-based biogas plants. The results show that almost 60 m³ of methane per ton BMSW can be achieved. Cattle slurry contributes with 10 m³ of methane (TS: 6-8%). The result also shows that the potentials of the wastes are approximately twice as large.

Energy and mass balances for the entire facility have been calculated. The result of the energy balance shows that approximately 13% of the energy produced is being used in the operation (parasitic load). However, this includes heat consumption for sanitation of BMSW to 70°C for one hour prior to treatment. The focus in the mass balance was conservation of nutrients and organic matter. The mass balance shows how much of the total input has been preserved in compost and digestate. The results reveal that 44.5 % of volatile solids, 84% of the nitrogen, 90% of phosphorus and 93% of potassium can be found in the end-products.

The sanitation aspect has been evaluated. In accordance with Danish legislation, BMSW must be treated to 70 °C for one hour in order to be considered sanitized, whereas slurry or manure from animals, treated separately, has no temperature requirement (due to the fact that slurry and manure is already spread on land by farmers without treatment). The integration of a BMSW system into agriculturebased plants creates the need to avoid cross-contamination between the two fractions. In the concept development it was found that because of the energy requirement the most feasible way was to sanitize the BMSW prior to processing. However, it was also demonstrated that

the Aikan composting process provides 70 °C for more than one hour simultaneously in the entire solid mass. Consequently, if no liquid fertilizer is produced, composting is the most rational sanitation method demanding no external heat energy.

The Aikan Agri concept consists of well-known components also used in slurry- and manurebased fluid biogas systems. The components are combined in a different way. The Supervisory Control and Data Acquisition (SCADA) for the process has been configured so as to be easily adoptable in existing fluid biogas systems.

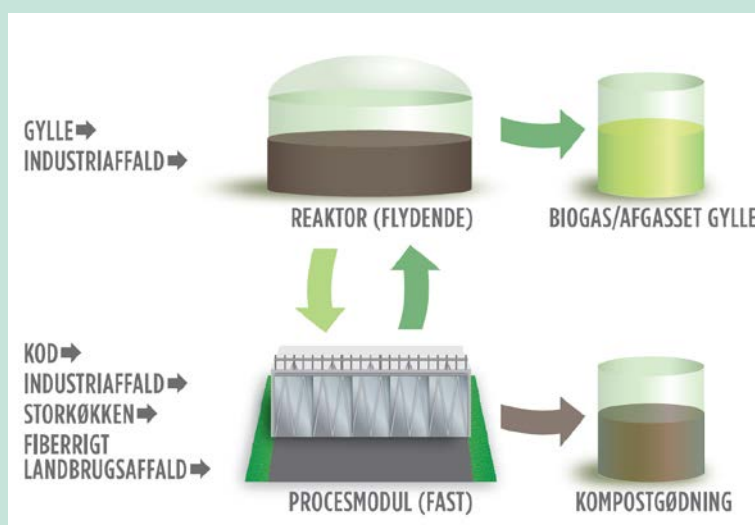
A sophisticated financial model has been developed. The model is based upon practical operation of the plant in Holbæk, and Capex and Opex inputs stem from concrete operation. By modeling financing, depreciation and framework conditions, the model provides an operational-economic assessment of plants of arbitrary size. Business model calculations have been carried out for two plant sizes. A plant for 50,000 tons BMSW and 300,000 ton slurry respectively and a plant for 20,000 ton BMSW and 100,000 ton slurry have been evaluated. The given Danish framework conditions were DKK 4,5 per m³ of methane, gate fee for BMSW of DKK 450, no gate fee for slurry and no marketing costs for compost and slurry. Within these framework conditions, the payback period was as low as 1.3 years before taxes for the large plant, and 5.4 years before taxes for the smaller plant. Sensitivity scenarios for the framework conditions, however, showed that a simultaneous change of reduced gate fee for BMSW by 10 % reduced the sales price for methane by 10%, and increased marketing costs for digestate and compost by DKK 30 per ton. Modifying these conditions changes the payback time to 7.9 years and + 10 years respectively.

1. Baggrund, koncept og perspektiver

Baggrunden for denne rapport er støttebevillinger fra Miljøstyrelsens pulje til miljøeffektiv teknologi. Formålet med projektet har været at udvikle og afprøve forbehandlingsmetoder samt videreudvikle Aikan teknologien, således at den kan indpasses i eksisterende gyllebaserede biogafællesanlæg. Arbejdstitlen for det ny koncept er "Aikan Agri".

Solum Gruppen har med Aikan teknologien udviklet en kombineret anaerob og aerob biologisk behandlingsmetode, som er i stand til at omdanne biologisk nedbrydelige organiske restfraktioner - husholdningsaffald, have-/parkaffald, spildevandsslam, rester fra fødevarerproduktion, landbrugsaffald mv. - til energi og en gødnings-/kompostfraktion, der indeholder værdifulde næringsstoffer, som herved bevares og recirkuleres. Det faste organiske affald, eksempelvis kildesorteret organisk dagrenovation (KOD), blandes med strukturmateriale – typisk grene fra have-/parkoverskud (HPO), inden det indføres i lufttætte procesmoduler, hvor massen nedbrydes i en kompost- og væskedel (perkolat), som er særdeles velegnet til biogasproduktion.

Aikan er en driftsstabil to-faset proces, som løser traditionelle problemer med blokering af pumper og rør pga. urenheder i affaldet. Aikan løser tillige, med det mikrobielle split i hydrolyse og metandannelse, konflikten mellem ønsket om høj ydelse og risikoen for hæmning, som følge af for kraftig indfødning. Perkolatet fra hydrolysetrinnet er et koncentreret, let omsætteligt og stabilt medium af vedvarende, ensartet kvalitet, hvorfor det med fordel kan indgå i andre processer – og helt oplagt som en stabil "booster" i gyllebaseret biogasproduktion, hvor det kan erstatte de organiske restfraktioner, der normalt tilsættes til gyllen, og medvirke til en optimal kontrol og styring af de biologiske processer, som biogasproduktion hviler på. Princippet i Aikan er illustreret i Figur 1.



FIGUR 1

AIKAN PRINCIPPET: FAST OG FLYDENDE AFFALD HOLDES ADSKILT KUN VÆSKEFASEN UDVEKSLES

Den traditionelle Aikan teknologi har en del komponenter til fælles med konventionelle biogasanlæg, såsom f.eks. reaktortanke, energiudnyttelsessystem etc. AIKAN var ved projektets start en verificeret, kommerciel teknologi til behandling af KOD, som sælges og drives på markedsvilkår. 1 ton KOD omdannes i Aikan til 80 Nm³ biogas med et indhold af 70 % metan. Biogas har traditionelt flere fordele som energikilde. Ved kraftvarmeproduktion er elvirkningsgraden 40 % mod 25 % ved forbrænding. Oprenses biogassen til bionaturgas, hvilket den høje metanprocent tilsiger, kan det samlede energipotentialt frigøres. Ved forbrænding af den samme mængde affald realiseres mindre end halvdelen af dette energipotentialt. Bionaturgassen kan bruges til bildrift eller på lignende vis som konventionel naturgas.

Med udvikling af Aikan Agri teknologien kan de langt mere udbredte biogafællesanlæg også anvendes til affaldsbehandling. Det vil være en omkostningseffektiv måde at udbygge behandlingskapaciteten for KOD, madaffald fra dagligvarebutikker og storkøkkenaffald samt udløse synergien med gyllebaserede anlæg.

2. Materialer og metoder

2.1 Udgangspunktet – Aikan anlægget i Holbæk

Aikan anlægget i Holbæk har behandlet KOD siden 2003 (se også; MST 2005). Aikan anlægget bestod ved dette projekts start samlet af 10 procesmoduler med biofiltre, 2 reaktortanke, 1 biogasmotor, 1 faskingsanlæg som backup og aktivt ventilerede eftermodningsmoduler, samt en modtagehal til affald. I 2010 blev anlægget desuden opgraderet med yderligere forsøgsfaciliteter for at kunne videreudvikle processen. Det skete for at muliggøre fuld forsøgsdrift, selvom behandlingsanlæggets kapacitet i øvrigt var fuldt udnyttet. Ved dette projekts start rådede anlægget over 2 forsøgsanlæg:

1. Pilotanlæg med 2 stk. PM på 2 m³ og 2 stk. RT på 1 m³
2. Fuldskala anlæg med 2 stk. PM på 600 m³ og 1 stk. RT på 500 m³

samt laboratoriefaciliteter. Disse fuldt lukkede systemer kunne bruges til test og udvikling af Aikan Agri systemet.

2.2 Udbygning af forsøgsfaciliteter

I forbindelse med projektet blev der etableret 2 stk. 20 m³ isolerede siloer, som fungerede som henholdsvis afgangstank/biogasreaktor og gyllefortank. Kapaciteten på disse er naturligvis kun til forsøgsbrug, men tankene er dog så store, at en stabil produktion kunne opnås. Anlægget blev indrettet således, at væske kunne pumpes mellem alle de enkelte trin; se afsnit 3.3.2.

2.3 Screening af forbehandlingsteknologier

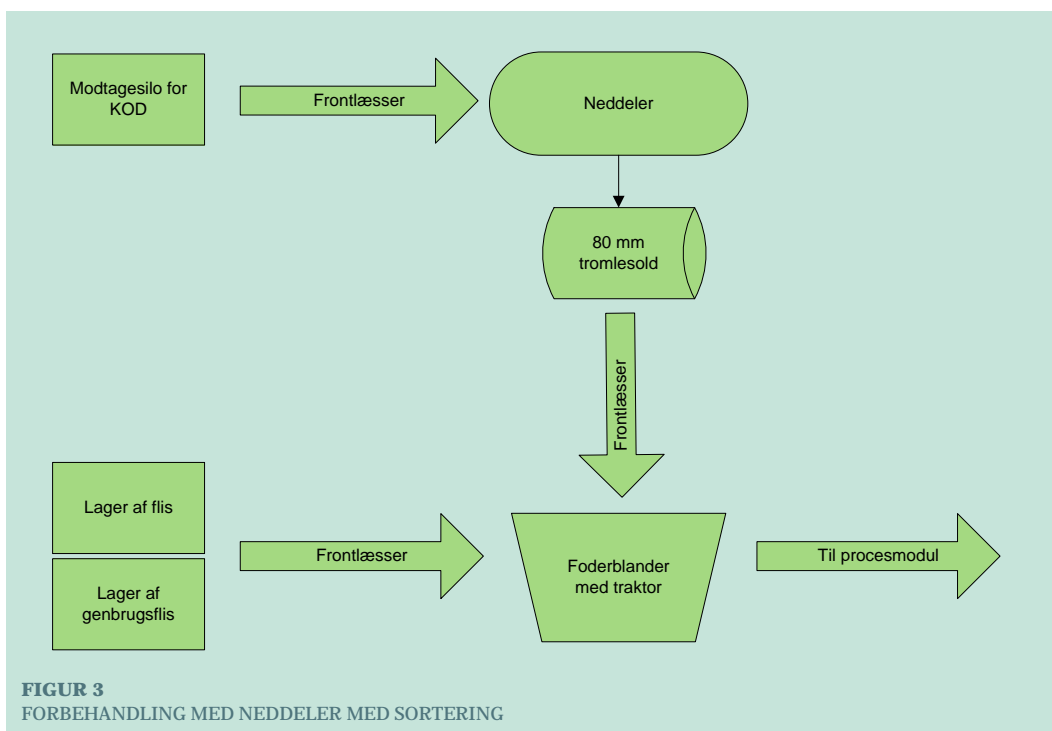
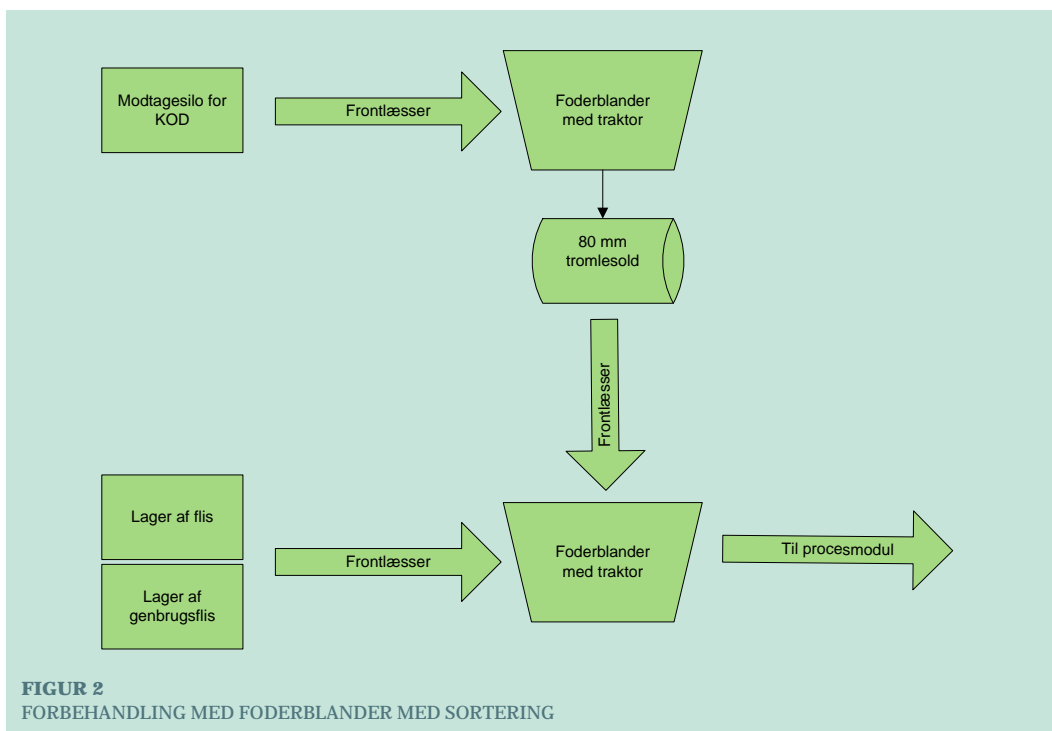
Det har indenfor rammerne af dette projekt naturligvis ikke været muligt at teste alt det forbehandlingsudstyr, som kunne tænkes anvendt til KOD, og som findes på markedet. Fokus har været på at finde det udstyr, som i en kvalitets- og prismæssig sammenhæng ville være relevant i store eller små Aikan Agri anlæg og derpå teste, om det faktisk kunne give det ønskede resultat. Fremgangsmåden ved selve screeningen for udstyr var gennemgang af foreliggende danske rapporter om forbehandling af KOD for at samle inspiration til nye metoder (AFAV 2005, MST 2005). Dernæst at indhente oplysningsmaterialer med specifikationer fra forskellige maskinleverandører med relevans for området og endeligt at indgå i en nærmere dialog om den endelige opsætning.

Vægten på udvælgelse blev lagt med fokus på selve principperne i forbehandlingen, idet der blev udarbejdet en kravspecifikation til udstyret; se afsnit 3.2.1.

2.4 Test af forbehandlingsmetoder

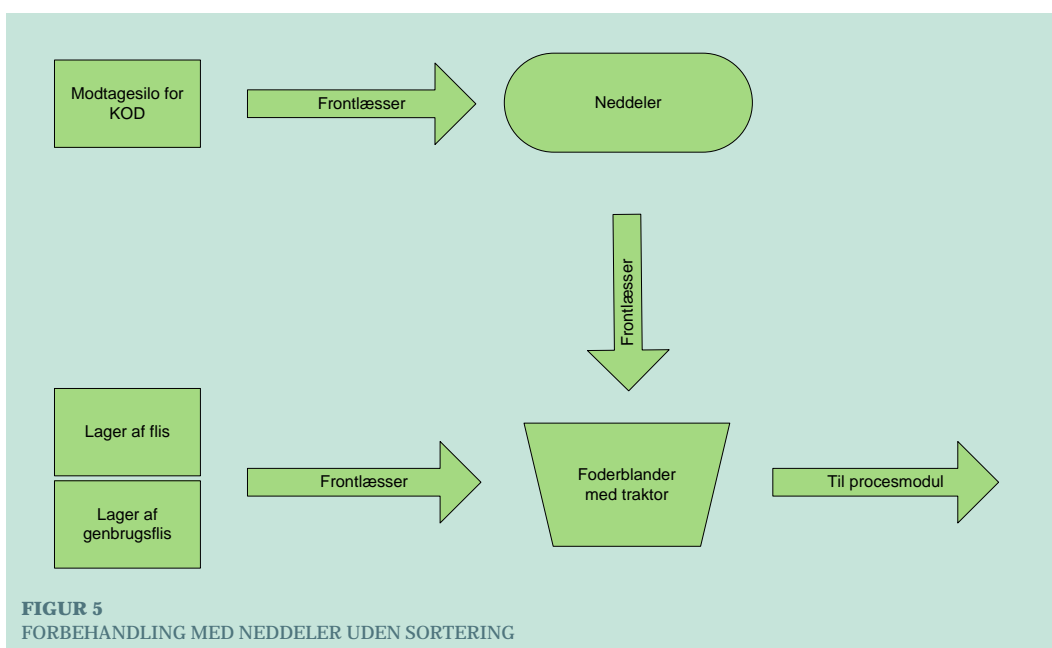
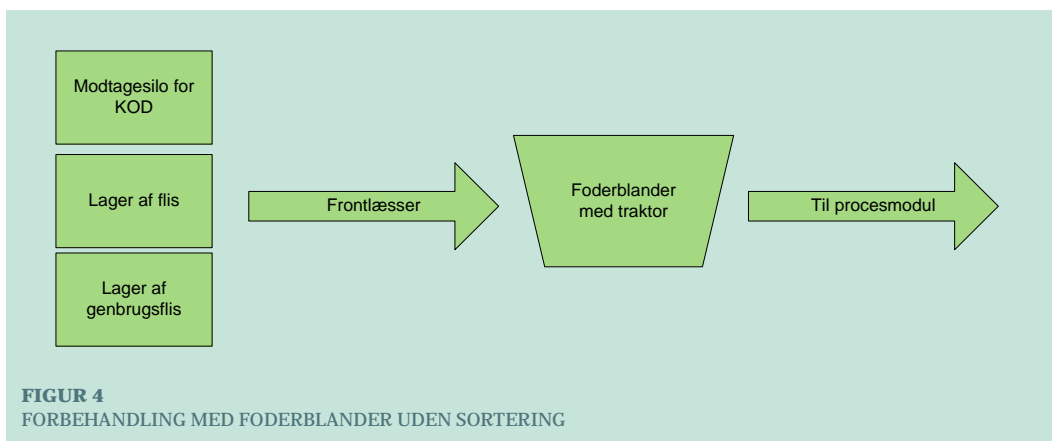
Følgende udstyr blev anvendt; Doppstadt DW 3060 neddeler, Peecon Biga Industrial foderblander drevet af en Valtra traktor, et 80 mm stationært tromlesold (Doppstadt 518), 10 mm tromlesold (Terra Select T6) og vindsigte (KompTech Hurrikan) monteret med magnetseparator. Test af udstyret blev foretaget på BioVækst i fuld drift med 100-200 ton affald, som blev forbehandlet processeret til biogas og sorteret til kompost.

Følgende maskinløsninger blev testet med sortering af KOD med mere end 15 % urenheder: KOD blev åbnet med neddeler eller foderblander, sorteret over 80 mm sold og blandet med strukturmateriale i foderblanderen, som transportererede blandingen til procesmodulerne; se figur 2 og figur 3.



Frontlæsser bruges til at føde foderblander og neddeler. Det skyldes dels, at foderblander og neddeler er mobile, dels at affaldet skal behandles batchvis. Fordelen er, at man kan ændre på rækkefølgen af de enkelte behandlingstrin.

Ved KOD med mindre end 15 % urenheder blev der kørt uden forsoring. Poserne blev åbnet på foderblander/neddeler, og KOD blev blandet med struktur ved hjælp af foderblander; se figur 4 og figur 5.



Efter bioafgasing, kompostering og eftermodning blev komposten, uafhængigt af forbehandlingen, sorteret på tromlesold (10 mm firkantede huller).

For hver kørsel og maskin-setup blev der udtaget prøver af KOD efter forbehandlingen og af komposten efter sortering. For hver kørsel blev biogasudbyttet tillige målt. Se resultater afsnit 3.2.6.

2.5 Aikan Agri konceptudvikling

Aikan Agri konceptudvikling bestod af procesdesign, udbyttmålinger, kvalitetsmålinger, udarbejdelse af teknisk dokumentation og brochuremateriale. Integrationen mellem Aikan og et konceptuelt, traditionelt biogasfællesanlæg til flydende affald/gylle blev undersøgt ved at opstille og afprøve mulighederne ved forskellige sammenkoblinger af de enkelte komponenter, som er bestemmende for strømmen af fast og flydende masse gennem anlægget. Ud fra de praktiske erfaringer med massestrømmen og test af diverse tekniske detaljer blev det mest lovende koncept udvalgt til gennemførelse af den videre procesdesign (se afsnit 3.3.2). Ud fra testkørsler og resultater blev kravene til de enkelte komponenter specificeret, og proces- og instrumenteringsdiagrammer (P&I) og funktionsbeskrivelser blev udarbejdet eller modificeret på basis af eksisterende materiale. Der blev udarbejdet 2 konceptuelle forslag til anlæg med størrelserne gylle/KOD på henholdsvis 100/20 og 300/50 (x1000 ton) som biogasfællesanlæg på bar mark. I mange konkrete scenarier vil en stor række komponenter være til stede allerede på et biogasfællesanlæg.

For barmarksanlæggene blev der beregnet driftsøkonomi på basis af resultaterne med energiudbytte og kompostkvalitet, og antagelsen om rammebetingelser; se afsnit 3.5. Ved tilbygning til eksisterende anlæg blev der ikke regnet driftsøkonomi, da en generisk model sjældent vil have konkret relevans.

2.6 Bestemmelse af metanpotentiale og -udbytte

Metanpotentiale blev fundet gennem litteraturstudier og egne laboratorieundersøgelser ved hjælp af et BioProcess Control AMPTS-anlæg (Automatic Methane Potential Test System), som måler metanudviklingen over tid i reaktorflasker. Der blev desuden målt tørstof (TS) og flygtigt organisk stof (VS) med almindelige standardmetoder (105 °C; 550 °C). Til brug for udtagning af repræsentative prøver af det faste affald blev flere metoder testet. Udfordringen ved at udtage prøver af KOD er, at det meget heterogene materiale kræver, at større partier udtages og formales. Formalingen er vanskelig pga. af den blandede karakter af materialerne. Metoden, som blev benyttet endeligt, var et kop-bor, som kunne bore gennem en affaldsprofil af såvel madaffald og urenheder. Ved at udtage prøver forskellige steder i affaldet fås en repræsentativ samleprøve. Samleprøverne blev blendet og neddelt. Hefter blev TS bestemt (105 °C i 24 timer), hvorpå de nu tørrede prøver blev formalet. Fra disse tørstofprøver blev prøve til metanudbytte taget og udført i henhold til forsøgsbeskrivelsen for BioProcess Control AMPTS.

Det konkrete biogasudbytte under driftsbetingelser blev bestemt gennem fuldskalaproduktion i procesmoduler og reaktorer. Metanprocent og biogasproduktion blev opgjort pr ton henholdsvis KOD og gylle, som blev behandlet, og det samlede udbytte blev opgjort. Produktionskørslerne blev udført med ca. 100 ton KOD og ca. 10 m³ kvæggylle per kørsel. Betingelserne på et konventionelt anlæg vil være omvendt. Der vil ofte være 10 gange mere gylle end KOD, men da reaktoren fødes separat, vil biogasudbyttet blot reflektere fødesammensætningen.

2.7 Kompostkvalitet – næringsstoffer og urenheder

Komposten fra hvert batch blev sorteret på 10 mm sigteværk. Hver batch blev behandlet separat, således at massestrøm kunne beregnes. Der blev udtaget prøver af uvildigt laboratorium efter foreskrevne metode med et antal delprøver, som sammenblandes til en samleprøve. Komposten blev analyseret for næringsstoffer, tungmetaller, miljøfremmede stoffer, synlige urenheder, stabilitet og hygiejne – jf. Slambekendtgørelsens regler og standardiseret produktblad for kompost (MST 1999 -2). Der blev ligeledes udtaget prøver af den anvendte gylle. Denne blev analyseret for næringsstoffer, men ikke for tungmetaller eller mikroorganismer.

2.8 Hygiejnisering af kompost og perkoleringsvæske

KOD skal jf. Bekendtgørelse nr. 1650 af 13. dec. 2006 om anvendelse af affald til Jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen) (MST2010) hygiejniseres ved 70 °C i en time, for at anvendelse kan ske bredest muligt. Alternativt kan kontrolleret kompostering ved 55 °C i 14 dage tages i anvendelse – her er dog den restriktion, at ”på brug med klovbærende dyr skal udspredning og nedbringning af kompost ske før såning”. I Aikan Agri er det tilstræbt, at komposten opnår en temperatur på 70 °C i 1 time. Vi arbejdede i første omgang med, at væske, som sendes fra procesmodulerne til RT, ligeledes hygiejniseres, men vi fandt ved energibalanceregningen frem til, at det er mere rationelt at hygiejniserer KOD, før biogasproduktionen starter.

For at verificere komposteringsprocessen blev der indlagt temperaturloggere i kompostmassen jævnt fordelt i komposten i såvel sider, bund, midten og på overfladen. Der blev tillige målt temperaturer under eftermodning i de åbne eftermodningsbokse med aktiv beluftning. Dette blev gjort, da disse bokse i et nybygget Aikan Agri anlæg vil være overdækkede og således udgøre et sekundært hygiejniseringsstrin. For perkolat fra PM blev der opstillet energiberegninger ud fra hvilke hygiejniseringsenheden blev designet. Aikan anlægget har en velfungerende ekstern varmeveksler, som opretholder temperaturen i reaktortanken. Hygiejniseringsenheden blev designet således, at samme varmeveksler stadig kan benyttes som primær opvarmingskilde. Der

var i projektet ikke penge til at bygge selve hygiejniseringsenheden, og Aikan anlægget i Holbæk producerede ikke på det tidspunkt flydende gødningsprodukter, hvorfor en sådan enhed ville være overflødig. Det viste sig også via energiberegningen, at placeringen af hygiejniseringsenheden skulle være anderledes end først antaget.

3. Resultater og teknologiudvikling

3.1 Det konventionelle biogasfællesanlæg for gylle og Aikan anlæg til kildesorteret organisk dagrenovation (KOD)

Konventionelle biogasfællesanlæg er forskellige i opbygning og funktionsmåde, men grundlæggende er der en række komponenter med specifikke funktioner fælles. Gylle og andet affald aflæsses i en eller flere modtagetanke. På nogle anlæg ledes massen til blanding i en fortank, på andre fødes den direkte ind i reaktoren fra modtagetanken. På nogle anlæg er der også en hygiejniseringsstank, i hvilken massen opvarmes, før den fødes ind i reaktortanken. På andre anlæg sker hygiejniseringen i selve reaktoren. Der kan være flere på hinanden følgende reaktorer, hvoraf den sidste kaldes afgangstanken. Fra afgangstanken pumpes den nu afgassede væske til en eller flere lagertanke, før den køres ud på marken. Der kan være en separationsenhed før eller efter bioafgasningen. Formålet med separationsenheden er, at fraskille fast og flydende gødning, således at den faste del lettere kan transporteres, samt i visse tilfælde at lette pumpbarheden. Biogassen ledes oftest til et gaslager, og den kan undervejs renses for H_2S i en gasvaskerenhed, eller ved lavere koncentrationer af H_2S ved at tilsætte en lille mængde oxygen i selve reaktoren. De konventionelle anlæg, som behandler kildesorteret organisk dagrenovation, har en forbehandling, som adskiller plastikposer, metal, papir og andre urenheder. Det kræver robuste løsninger, og udfordringen ved at nå en total separation er, at meget organisk materiale i reglen bliver hængende i den faste fraserede del af materialet og derfor ikke indgår i biogasproduktionen.

Aikan teknologien består af en enkel robust mekanisk forbehandling, hvor kun de største urenheder fraseres med en tromlesigte ved starten af processen. Det for-sorterede affald blandes med strukturmateriale i form af have-/parkoverskud (HPO) i en foderblender. Affaldet placeres herefter i såkaldte procesmoduler. Væske fra reaktortanken bruges til at "vaske" affaldet i procesmodulerne. Fra procesmodulerne overføres den afdrænedede væske til en konventionel reaktortank, som benyttes til gylle, spildevand og andre flydende fødeemner. Efter afgang bruges de samme procesmoduler til at kompostere den faste rest af affaldet ved at suge luft gennem massen. Luften fra komposteringen ledes via et biofilter med temperaturkontrol bestående af et spraysystem på til- og afgangsluften. Efter behandling i procesmodulerne overføres den faste friske kompost til eftermodningsboksene for lagring. Når komposten er klar til afsætning, sorteres den atter via tromlesigte med magnetseparator og vindsigte. Herved fjernes de mindre stykker urenheder (glas, metal o. lign), som er tilbage, og vindsigten fjerner plastik fra den grove fraktion, som genbruges til struktur.

3.2 Mekanisk for-og efterbehandling af KOD

Organisk madaffald fra husholdninger (KOD), supermarkeder og storkøkkener mv. indeholder altid ikke bio-nedbrydelige fejlsorteringer af plast, glas, metal etc. Mængden af urenheder varierer meget afhængig af, hvor gode de forskellige kilder er til at sortere. På energiudnyttelses anlæg med recirkulering skal der ske en frasering af disse urenheder, inden kompost eller flydende produkter baseret på affaldsråvaren kan overholde gældende kvalitetskriterier; se MST 2010¹.

¹ Kvalitetskriterierne for kompost, samt faste og flydende gødningsprodukter er bestemt af national og europæisk lovgivning samt af eventuelle branchestandarder.

Forbehandling består oftest af flere trin. Trinene kan basalt set opdeles i tørre og våde. De tørre behandlingstrin foretages i neddelere, stempelpresse, skruepresse og forskellige typer sigteanlæg (tromlesold, stjernesigte og rystesold) samt balistiske separatoranlæg, magnetseparatorer og vindsigter. De våde behandlingstrin kan være kogning under tryk, kold "pulpning", opvarmning og tilsætning af enzymer. Fælles for de våde trin er, at affaldet tilsættes vand, vaskes, efterfulgt af en filtrering af urenheder og fast stof. Filtreringen af pulp fra de våde trin kan ske med stempelpresse, skruepresse² og forskellige typer sigteanlæg. Kombinationsmulighederne for forbehandlingstrin er mange, og der findes til og med mange forskellige leverandører af det forskellige tekniske udstyr. Opgaven i dette projekt var at se overordnet på principperne og foretage valg af teknik ud fra disse overordnede principper.

3.2.1 Formål og udfordringer i Aikan Agri forbehandlingen

Formålet med udvikling af forbehandlingen var at forbedre andelen af organisk materiale, som bliver behandlet biologisk, samt at udvikle og afprøve en landbrugsvenlig forbehandlingsmetode for organisk affald, som gør det rentabelt for mindre biogasfællesanlæg med et Aikan Agri koncept, at modtage og behandle organisk affald med fejlsorterede urenheder. Forbehandlingen af KOD har flere formål. Dels skal de indsamlede poser åbnes, således at det organiske affald bliver tilgængeligt. Dels kan man ønske at frasortere affaldstyper, som ikke er bio-nedbrydelige eller skadelige for processen, og endeligt kan det være et ønske at knuse affaldet for at gøre dette mere modtageligt for de nedbrydende mikroorganismer. Aikan konceptet bygger på at holde tørt og vådt affald adskilt. Første princip i forbehandlingen var derfor, at den skulle foregå uden tilsætning af vand. Både visuelt og praktisk er det lettere at adskille urenheder, når disse ikke er knust og homogeniseret med det øvrige affald. Derfor var andet princip, at forbehandlingen skulle foregå så nænsomt, som det lader sig gøre, for at bevare karakteren af de enkelte urenheder før frasortering. Tredje princip var, at forbehandlingen skulle være fleksibel i forhold til forskelle i affaldssammensætningen. Fjerde, og sidste princip, var, at forbehandlingsteknologien skulle være robust og let at reparere eller erstatte i uden at dette gav driftsstop.

3.2.2 Affaldskvalitet Og forbehandlingsbehov

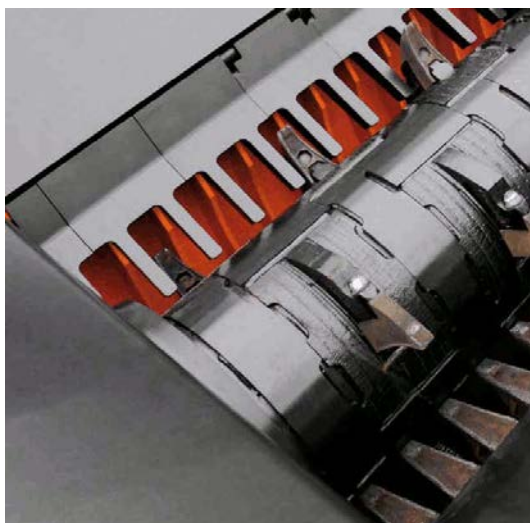
Mange års erfaringer med drift på Biovækst har vist, at affaldets kvalitet svinger fra under 5 % urenheder til 35 % urenheder baseret på friskvægt, og vi havde viden om leverandører med rent affald og leverandører med mindre rent affald. Det vil være situationen på de fleste anlæg - at man vil få affald i forskellige kvaliteter. Målet er at få så meget biogas og en kvalitetskompost ud af affaldet uanset kvalitet. Der sker altid et tab af materiale under forbehandling, da organisk materiale klæber til de frasorterede urenheder. Til gengæld kan det være vanskeligt at frasortere store mængder urenheder i slutfasen tilfredsstillende, med mindre det gøres i flere trin, og store mængder plastik, som gennemgår en fuld biologisk proces, kan risikere at afsætte uacceptable niveauer af miljøfremmede stoffer, selv om biogas- og komposterings processerne i sig selv nedbryder disse. Det skal nævnes at komposteringsprocessen er bedre til at nedbryde miljøfremmede stoffer end biogasprocessen (MST 2002, MST 1999 og Rambøll 2008). Derfor bør affald med få urenheder behandles anderledes end affald med mange urenheder. Det var med andre ord et krav til forbehandlingsteknikken, at den let kunne omstilles. Dette sker ved at kunne variere mellem brug af forskellige komponenter.

3.2.3 Poseåbnere

KOD er næsten altid emballeret i poser, når den kommer fra husholdningerne. Poserne skal altid åbnes for at gøre affaldet klar til biologisk nedbrydning. De kan være bionedbrydelige poser baseret på papir eller majsstivelse o. lign. eller de kan være af plastik. Nogle poseåbnersystemer er følsomme for typen af poser, fordi de bionedbrydelige majsstivelses poser vikler sig ind i knivene, men dette var ikke tilfældet for det udstyr, som benyttes i Aikan Agri. Poseåbning kan ske med knive, slagler eller valser, og disse kan igen være monteret med eller uden mulighed for justering af

² Sibåndspresse, som anvendes til afvanding af spildevandsslam, kan ikke anvendes grundet de mange urenheder. Sibåndspresen er beregnet til fine partikler.

modhold. Slagler er ikke formålstjenlige, da slagler, som de findes på hurtiggående neddelere som f.eks. Doppstadts AK serie (www.doppstadt.com) eller KompTech Axtor (www.komptech.com), knuser glas og plastik mv., således at det ikke kan frasorteres senere. Knive og valser findes på langsomtgående knusere af typen Terminator fra KompTech eller Doppstadts DW serie.



Billede 1: Valse med knive og modhold Doppstadt 3060

Princippet er, at knivene er monteret på valsen, som kører langsomt rundt. Knivene trækker affaldet gennem valsens modhold, se billede 1.

Denne metode til åbning af poser snitter ikke poserne eller affald i småstykker. Glas bliver dog knust om end ikke i små stykker.

Affaldsposerne blev i dette projekt åbnet med to forskellige metoder, dels den nævnte langsomtgående neddeler, Doppstadt DW 3060 og dels med knive alene uden modhold.

Knive uden modhold kan være placeret på snegle eller valser. Eller flere mindre aksler, som kan fungere som modhold for hinanden (se billede 2).

I dette projekt brugte vi en Peecon Biga Industrial foderblander med knive monteret på lodretstående roterende kegler (se billede 3). Metoden er batchvis, da man fylder et blandekar og tømmer dette, før en ny portion fyldes i. Intensiteten af behandlingen afhænger af, hvor længe affaldet opholder sig i blandekaret.



Billede 2: Modsatkørende knive, som fungerer som modhold for hinanden (www.transdynamics.ca)



Billede 3: Blandekegler med knive Peecon Biga Industrial

Foderblanderen har den fordel, at den er mere skånsom overfor glasemner. Glas kan dermed bedre frasorteres, men kapaciteten på foderblanderen var mindre end kapaciteten på den langsomtgående neddeler. Da foderblanderen i forvejen bruges i Aikan til blanding og indkørsel i procesmodulerne, er den et særdeles godt bud til anvendelse på mindre biogasfællesanlæg. Energiforbruget pr ton er til neddeler løsningen ca. dobbelt så stort som foderblanderløsningen - så også dette kan være en grund til at vælge denne foderblanderløsning på mindre anlæg.

3.2.4 For- og eftersortering

For-sorteringen i dette projekt var meget enkel og bestod i en fastmonteret tromlesigte (Doppstadt 518) med et 80 mm sold med runde huller og et samlet soldeareal på 22,5 m². Hastigheden på tromlen var 12 rpm. Mobilt sorteringsanlæg blev fravalgt, fordi KOD er meget aggressivt, og erfaringen har vist, at transportbælterne bliver hurtigt møre.

Stjernesigter og rystesold er ikke velegnede til våde materialer som KOD. Kapaciteten på stjernesigten er på tørre materialer høj, men soldet stopper til med våde, blandede materialer som KOD, fordi poserne vikler sig ind i stjernerne.

Eftersortering på den færdige kompost blev foretaget med en Terra Select T6 mobil tromlesigte monteret med et 10 mm sold med et samlet soldareal på 33 m². Hastigheden på tromlen var ikke opgivet fra leverandøren.

Harperesten blev behandlet med vindsigte KompTech Hurrikan monteret med en magnetseparator.

3.2.5 Blanding og indfødning

KOD blev blandet med struktur af knuste grene og recirkuleret struktur fra tidligere batch i forholdet 10:2:3 på vægtbasis. Afvejning og opblanding blev foretaget i foderblanderen, som er monteret med vejeceller. Foderblanderen reverserer ind i procesmodulet, hvor blandingen aflæsses med det bagudrettede transportbånd (se Billede 4)



Billede 4 Indfødning af affald i procesmodul

Erfaringen har vist, at det er vigtigt for processen, at affaldet ikke komprimeres ved indfødning. Det sker f.eks. hvis man læsser med frontlæser, idet affaldet herved bliver kompakteret. Kompakt affald er vanskeligt at perkolere væske og suge luft igennem.

3.2.6 Effekt af forbehandling på biogasudbytte

Ved modtagelsen på Aikan-anlægget er KOD overvejende emballeret i (plast)poser. For at sikre den størst mulige eksponering af den organiske fraktion ved hydrolysen knuses og forsorteres affaldet. Dette er beskrevet tidligere i afsnit 2.4. Målet med knusningen er at åbne poserne og, sammen med den efterfølgende frasortering af f.eks. større stykker plast o.a., at sikre en effektiv perkolering og udvaskning af organisk materiale til reaktortanken. Men ved frasorteringen fjernes uvægerligt også en del organisk stof med det frasorterede materiale (rejekt), fordi det klæber til rejektet.

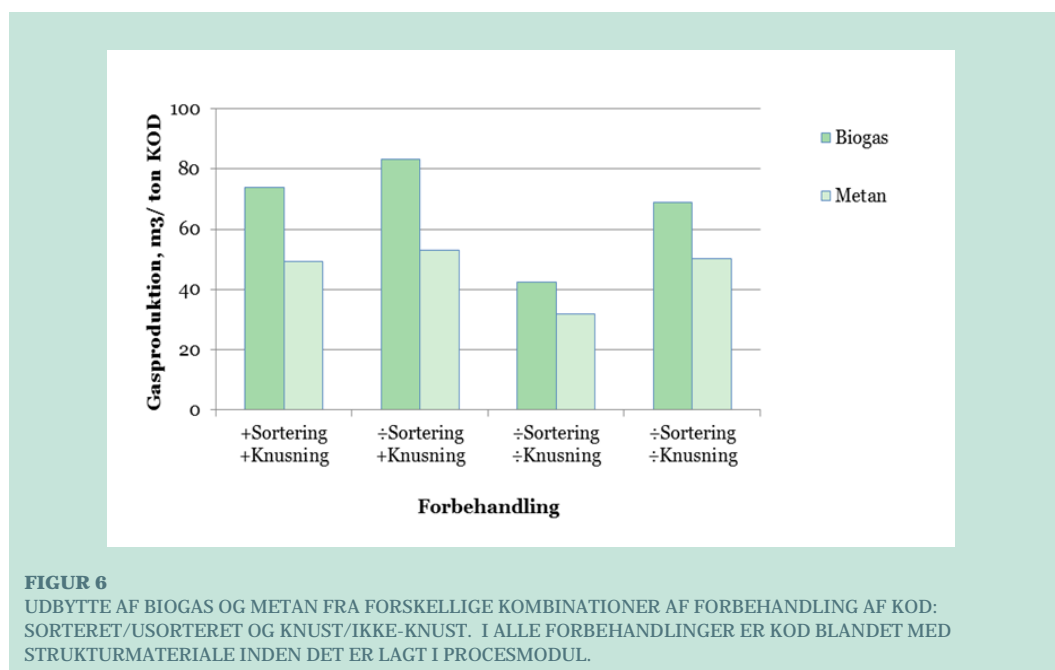
Formålet med denne forsøgsserie var, at eftervise effekten af knusning og undersøge, om der kunne opnås en øget gasproduktion ved at undlade frasortering. Der blev derfor gennemført en serie afprøvninger af forskellige forbehandlingers effekt på biogasproduktionen. Kombinationerne er præsenteret skematisk i Tabel 1

TABEL 1

OVERSIGT OVER AFFALDSKVALITETEN OG DE FORSKELLIGE FORBEHANDLINGSMETODER, SOM BLEV ANVENDT FORUD FOR BESTEMMELSE AF GASUDBYTTET I PROCESMODULET.

Behandling	Urenheder	Knusning (neddeler)	Forsortering (tromlesold, 80 mm)	Blanding m. strukturflis (foderblander)
1	> 15 %	X	X	X
2	< 15 %	X		X
3 & 4	< 15 %			X

Det behandlede affald blev efterfølgende bioforgasset i procesmodulet, og produktionen af biogas og metan blev målt. Gasudbytter pr. ton usorteret affald for de forskellige behandlinger er vist i Figur 6. Den færdige kompost fra alle behandlingerne blev efterfølgende sorteret i 80 mm tromlesold og vindsigte med magnetseparator. Kompostkvaliteten behandles i afsnit 3.3.5.



FIGUR 6

UDBYTTE AF BIOGAS OG METAN FRA FORSKELLIGE KOMBINATIONER AF FORBEHANDLING AF KOD: SORTERET/SORTERET OG KNUST/IKKE-KNUST. I ALLE FORBEHANDLINGER ER KOD BLENDET MED STRUKTURMATERIALE INDEN DET ER LAGT I PROCESMODULET.

Figur 6 viser, at der er tendens til en positiv effekt af knusningen på udbytte pr ton KOD, da behandlingerne 1 og 2 med knusning giver højere udbytter end behandlingerne 3 og 4 uden

knusning. Derimod er der ikke en entydig effekt af frasortering af rejekt, idet behandling 1 med sortering er henholdsvis dårligere og bedre end behandling 2 og 3 uden sortering.

Den del af affaldets samlede biogaspotentiale, som fjernes med rejektet, blev kvantificeret i laboratorieundersøgelser. Repræsentative prøver af et parti usorteret KOD, med et rejektindhold på ca. 20 %, blev udtaget med kop-bor og udrådet i Aikans gas-laboratorium. Resultaterne viste, at biogaspotentialet i det omsættelige organiske stof på rejektet udgør omkring 12 % af det samlede biogaspotentiale i det usorterede KOD.

3.3 Aikan Agri teknologien

Aikan Agri teknologien bygger på at sammensætte forholdsvis velkendte komponenter i et nyt procesdesign. Selve de tekniske løsninger er derfor fleksible for tilpasning indenfor rammerne af processen. Energiudbyttet og kompostkvalitet afspejles af de valgte fødeemner (KOD, fast og flydende gødning etc.). Hygiejnisering er baseret på at eftervise temperaturpåvirkning, men for de faste masser vil den i stor udstrækning ligeledes være støttet af mikrobiel konkurrence og antagonisme. Bestemmende for driftsøkonomien er nogle nøgleparametre, som dels relaterer sig til fødeemner og dels er bestemt af marked og/ eller politiske forhold – derfor er anlægsberegningerne gjort skalerbare og fleksible – i denne rapport medtages 2 varianter af anlæg.

3.3.1 Formål og udfordringer ved udvikling af teknologien

Sigtet med at udvikle Aikan Agri teknologien var at opnå en miljøteknologisk konkurrencedygtig løsning til kombineret behandling af byernes organiske affald og landbrugets restbiomasser af husdyrgødning eller afgrøderester. Den teknologiske udfordring bestod i at kontrollere og optimere selve gasproduktionen i en to-faset proces, samt sikre at urenheder blev frasorteret og affaldet blev hygiejniseret. Samtidigt var det vigtigt at holde investeringsbehovet nede og sikre en god driftsøkonomi gennem valg af stabil teknik.

3.3.2 Proces design

I den traditionelle model af Aikan perkoleres afgasset væske fra reaktortanken gennem det faste affald for at berige væsken med let omsætteligt hydrolyseret organisk materiale. Dette er et lukket kredsløb med væskebalance, idet den væske, som fraføres med kompost, erstattes af et overskud af væske i det indkommende KOD. I det traditionelle vådbiogasanlæg pumpes gylle ind i reaktoren og der tages tilnærmelsesvis samme mængde ud som gødningsvæske efter forgasning. Der er altså et kontinuert flow af væske gennem anlægget.

I vores arbejde undersøgte vi følgende muligheder for at udnytte fordelen ved at have hydrolyse og metan-dannelse adskilt:

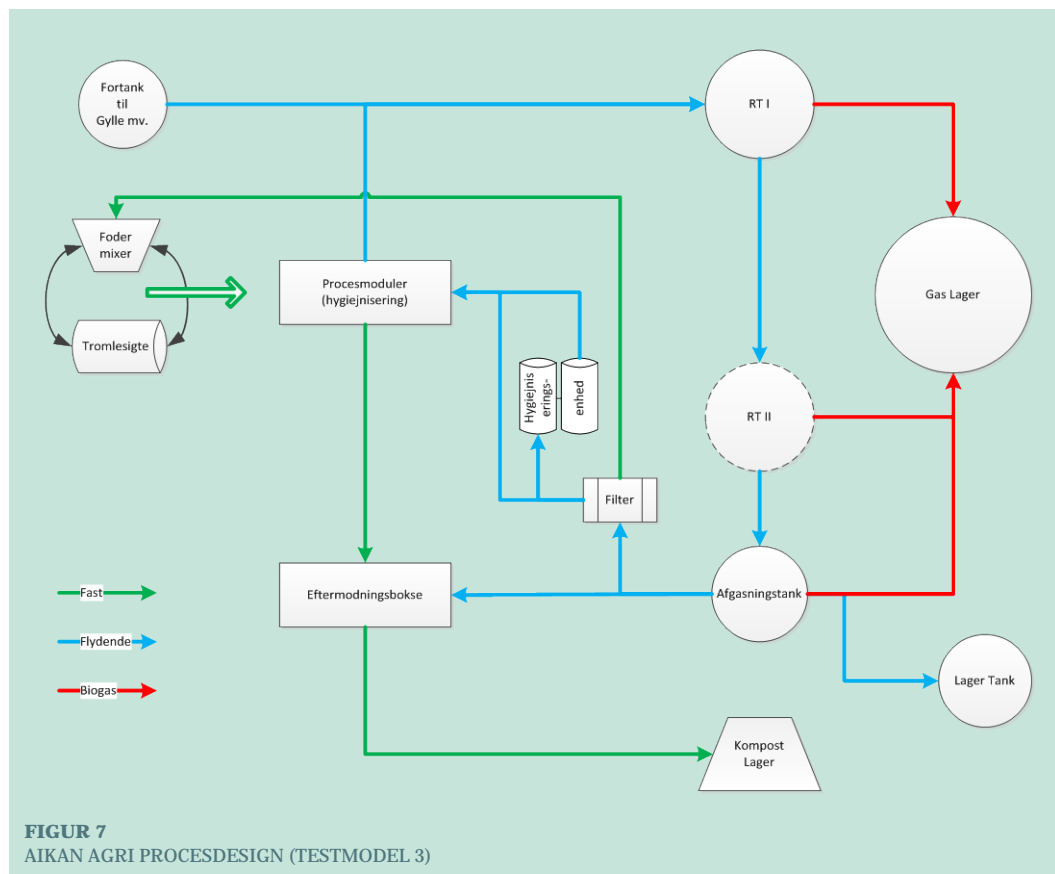
1. At pumpe gylle ind over det faste affald for om muligt at tilbageholde fibre fra gyllen her
2. At bruge væske fra den primære gylle-reaktor til at vaske med
3. At benytte afgasset gylle til at vaske med

Ideen med at pumpe gylle ind over procesmodulet viste sig at være meget krævende for dysesystem og pumper. Selv om modellen blev testet med grovfilter og et selvrensende tilbagestrømsfilter på vandingsystemet, stoppede dyser med helt op til diameter Ø11 mm til efter kort tids kørsel. Gyllen havde samtidigt en tendens til at danne et lag af relativt vanskelig gennemtrængelighed ovenpå affaldet. Videre arbejde med mulighed 1 blev forkastet på denne baggrund.

Afgasset væske fra reaktoren fra det konventionelle biogasanlæg er alt andet lige mindre omsat end afgasset gylle fra afgasningstanken. I Tabel 2 i afsnit 3.3.3 fremgår spændet i TS og VS fra forskellige materialer. Fordelen ved at bruge afgasset gylle fra reaktortanken skulle stadig være at overføre noget af det faste organiske stof til komposten i procesmodulet. Der viste sig imidlertid samme udfordring som ved at pumpe gylle direkte – at dyserne skal dimensioneres anderledes. Det

blev vurderet, at fordelene ved filtrering af tørstof ikke kunne opveje det forhold at restpotentialer i væsken ville skulle "starte forfra" i systemet. Derfor blev mulighed nr. 2 forkastet.

Afgasset gylle har det laveste TS indhold og må på et hvert anlæg forventes at være den væske som er afgasset bedst muligt. Model nr. 3 blev derfor valgt som den endelige testløsning. Da afgasset gylle også har et vist indhold af fast materiale (fibre) blev det besluttet at indskyde en grovseparation af væsken forud for perkolering. Fibrene fra separationen bliver iblandet det faste input materiale i procesmodulerne. Strømningsmodellen er vist på figur 7 nedenfor:



Den valgte model har flere fordele. Strømmen af væske fra afgasningstanken til procesmodulerne er alene bestemt af behovet for udvaskning af hydrolyseret perkolat fra det faste affald. Derudover sprinkles afgasset gylle udover den eftermodnede kompost, hvorved væske fordampes og næringsstoffer går fra flydende til fast form. Den traditionelle håndtering af mængder på et biogafællesanlæg kan køre parallelt med, at der udtages en delstrøm til perkolering af det faste affald. Dette sikrer, at fordelingen mellem fast og flydende råmaterialer ikke er afgørende for processen. Derfor kan både behandlingssystemet til faste og til flydende råvarer udbygges successivt, uden at fordelene ved at kombinere det faste og flydende system går tabt. Det er en særdeles vigtig praktisk forudsætning, fordi de fleste anlæg udbygges løbende, og tilgængeligheden af råvarer er svingende.

Som reglerne er i dag skal væske og kompost fra madaffald hygiejniseres ved 70 °C i en time for at kunne anvendes uden hygiejnisk begrundede restriktioner. Gylle og andre landbrugsråvarer skal ikke hygiejniseres.

Ved opstart af processen anvendes hygiejniseringsenheden derfor til at varme KOD til 70 °C i en time. Når denne hygiejniseringsenhed er foretaget, kan KOD behandles sammen med gylle uden hensyn til hygiejne. Komposten kan stadig hygiejniseres via kompostering senere, men det er ikke krævet.

3.3.3 Gaspotentialer og -udbytter

Til vurdering af Aikan Agri-konceptet blev metanpotentialiet i KOD og forskellige typer af gylle og dybstrøelse bestemt i Aikans gaslaboratorium med BioProcess Controls automatiske metanpotentialer test system (AMPTS) efter standardproceduren (se www.bioprocesscontrol.com)

Resultaterne af undersøgelserne er vist i tabel 2 sammen med resultater af tilsvarende undersøgelser foretaget andre steder.

TABEL 2

KARAKTERISTIKA OG METANPOTENTIALE FOR UDVALGTE SUBSTRATER FRA LANDBRUG OG KILDESORTERET ORGANISK DAGRENOVATION (KOD). POTENTIALERNE ER RESULTATER FRA UNDERSØGELSER FORETAGET I AIKANS LABORATORIUM I 2012 OG ER SAMMENLIGNET MED RESULTATER FOR TILSVARENDE SUBSTRATER FUNDET I ANDRE UNDERSØGELSER. FOR AIKAN ER OGSÅ ANGIVET TS: TOTAL TØRSTOF (% AF FRISKVÆGT) OG VS: ORGANISK TØRSTOF (% AF TS).

Substrat	TS, %	VS, %	Aikan	Andre
			Metanpotentiale, l CH ₄ /kg VS	Metanpotentiale, l CH ₄ /kg VS
Kvæggylle	6 - 8	77- 81	110 – 240	120 ^a 210 - 260 ^b
Svinegylle (fibre)	16	70	130	110 ^a 220 - 330 ^b
Dybstrøelse	27	89	135	260 ^b
KOD (perkolat)	8 - 9	69 - 75	180 – 420	550 ^c 400 ^d

^a https://www.landbrugsinfo.dk/Planteavl/Plantekongres/Sider/pl_plk_2013_resume_45-1_Karen_Joergensen.pdf?download=true

^b http://www.biopress.dk/PDF/FiB%20nr.%2034-2010_04%20-%20DK.pdf

^c Rohold, Lars, 1995, "Optimering af biogasanlæg", Eksamensprojekt udført på Nordsjællands Biogasanlæg, Institut for Miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet, 1995.

^d Hartmann, Hinrich, Angelidaki, Irini og Ahring, Birgitte K. 2001 "Anaerob nedbrydning af organisk husholdningsaffald sammen med gylle, Del 1", Biocentrum-DTU, januar 2001.

Som det fremgår, er udbyttevariationen indenfor de enkelte substrattyper stor, men Aikans værdier er alle rimeligt sammenlignelige med resultaterne fra andre undersøgelser.

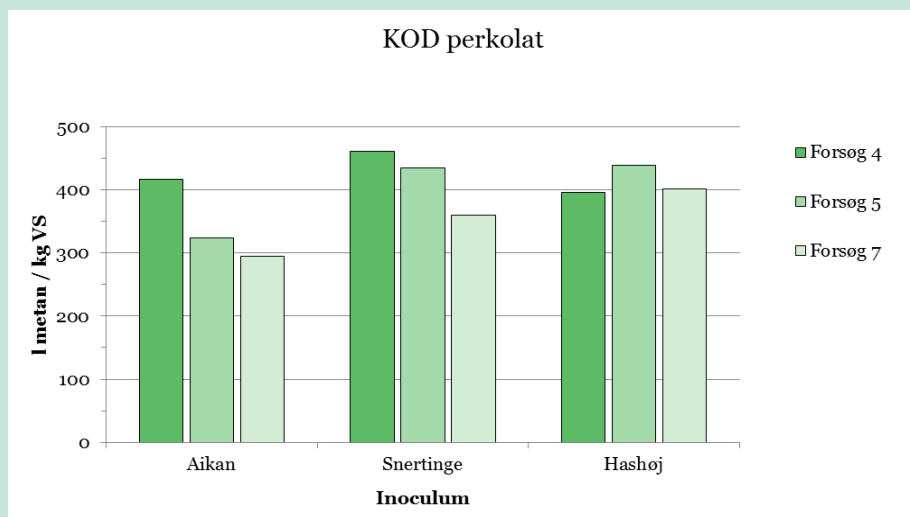
3.3.4 Effekt af inoculum på gasudbyttet fra KOD og gylle

I laboratoriet blev det også undersøgt, om der var en effekt af inoculum på gasudbyttet fra forskellige substrater, fordi man kan forvente, at det mikrobielle økosystem i inoculum tilpasser sig substratet (gylle, KOD).

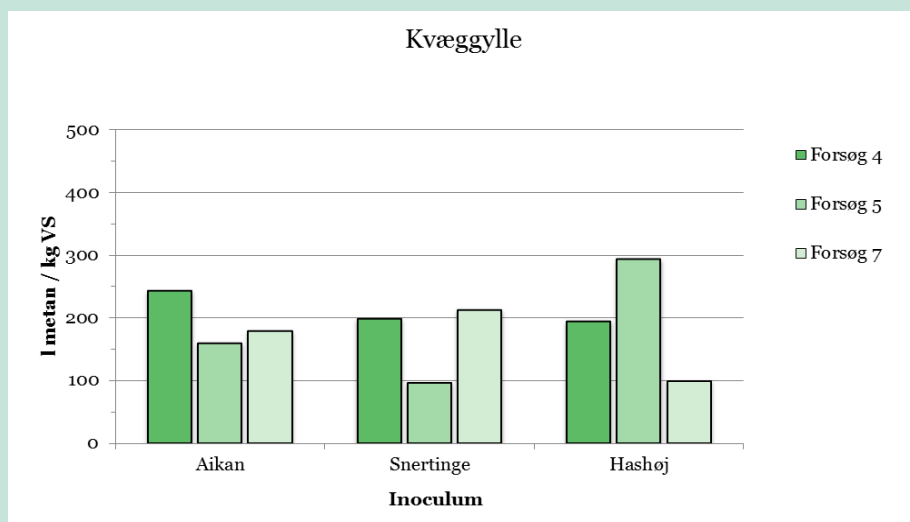
Som *substrat* blev der anvendt kvæggylle fra et nærliggende landbrug og perkolat fra Aikans procesmodul 11 (PM11).

Som *inoculum* anvendte vi afgangsgylle fra en termofil proces leveret af Snertinge, Særslev og Føllenslev Energiselskab og reaktortankvæske (mesofil proces) fra Hashøj Biogas A.m.b.a. (her benævnt hhv. Snertinge og Hashøj). Desuden anvendte vi KOD-perkolat fra Aikans reaktortank 1 (RT01).

8A



8B

**FIGUR 8**

EFFEKTEN AF INOCULUM PÅ METANUDBYTTET FRA KOD-PERKOLAT FRA AIKAN-PROCESMODUL (8A) OG KVÆGGYLLE (8B) MÅLT I TRE FORSØG. SUBSTRATERNE ER UDRÅDNET OVER 30 DAGE I TRE FORSKELLIGE TYPER AF INOCULUM: 1) PERKOLATVÆSKE FRA AIKAN-REAKTORTANK (RT01), 2) AFGASSET GYLLE (SNERTINGE) OG 3) VÆSKE FRA REAKTORTANK (HASHØJ). VÆRDIERNE ER NETTO-METANUDBYTTET AF SUBSTRATERNE.

Metanudbyttet fra KOD-perkolat ligger, som forventet, højere end udbyttet fra kvæggylle (forskellen mellem 8A og 8B), men der ser ikke ud til at være nogen effekt af inoculumtypen på gasudbyttet fra de to substrater (variationen mellem de tre typer både i figur 8A og 8B).

Vi undersøgte desuden, om der er en effekt af inoculumtypen på hastigheden af gasproduktionen. Vores resultater viste en relativt stor variation i opstartshastigheden mellem inoculumtyper, men forskellen falder nogle gange ud til fordel for den ene type inoculum og andre gange til fordel for den anden type. Resultaterne kunne således ikke vise en fordel ved én specifik type inoculum.

3.3.5 Kompost og næringsstoffer

Kompost baseret på KOD har været produceret på Aikan siden 2004, og der er hvert år analyseret på mindst 5 prøver. Komposten har ændret sig over tid i takt med, at Aikan blev videreudviklet, men den må nu siges at være veldokumenteret og variationen at være kendt. Indholdet af næringsstoffer i gylle svinger forholdsvis meget. Gødningstyper baseret på en blanding og processering af gylle og KOD giver alt andet lige et mere ensartet produkt. Gennemsnitsværdier for NPK indhold i forskellige gødningstyper og Aikan Agri kompost er vist i tabel 3.

TABEL 3
INDHOLD AF NÆRINGSSTOFFER I GYLLE (KVÆG OG SVIN), AFGASSET GYLLE, AIKAN KOD-KOMPOST OG AIKAN AGRI KOMPOST

Produkter	Tørstof (TS)	Kvælstof (Total N)	Ammonium (NH ₄ -N)	Fosfor (P)	Kalium (K)
	% af friskvægt (FV)	kg pr ton FV	kg pr ton FV	kg pr ton FV	kg pr ton FV
Kvæggylle	5 – 9	2,8 - 4-2	1,6 -2,6	0,8	2,5 -3,5
Svinegylle	4 -7	2,9 - 5,5	1 - 5,5	1	2
Afgasset gylle (blandet)	3 - 6	3 -7	0,6 -7	0,9	2,8
Aikan KOD kompost	56 -65	12,7 -16,5	0,4 -2,2	4,1 - 5,3	5,9 -6,9
Aikan Agri kompost	58 -66	15 -16	1,3 -3,4	4,3-9,8	5,7 – 7,4

Resultaterne viser, at komposten er en mere transportvenlig gødning pga. af det høje tørstofindhold. Det er ikke overraskende, at plantetilgængeligt kvælstof i form af ammonium er højt i gyllen samt at Aikan Agri komposten ligeledes har et højere indhold af ammonium end almindelig KOD kompost. Nitratkvælstof er stort set ikke til stede i komposten.

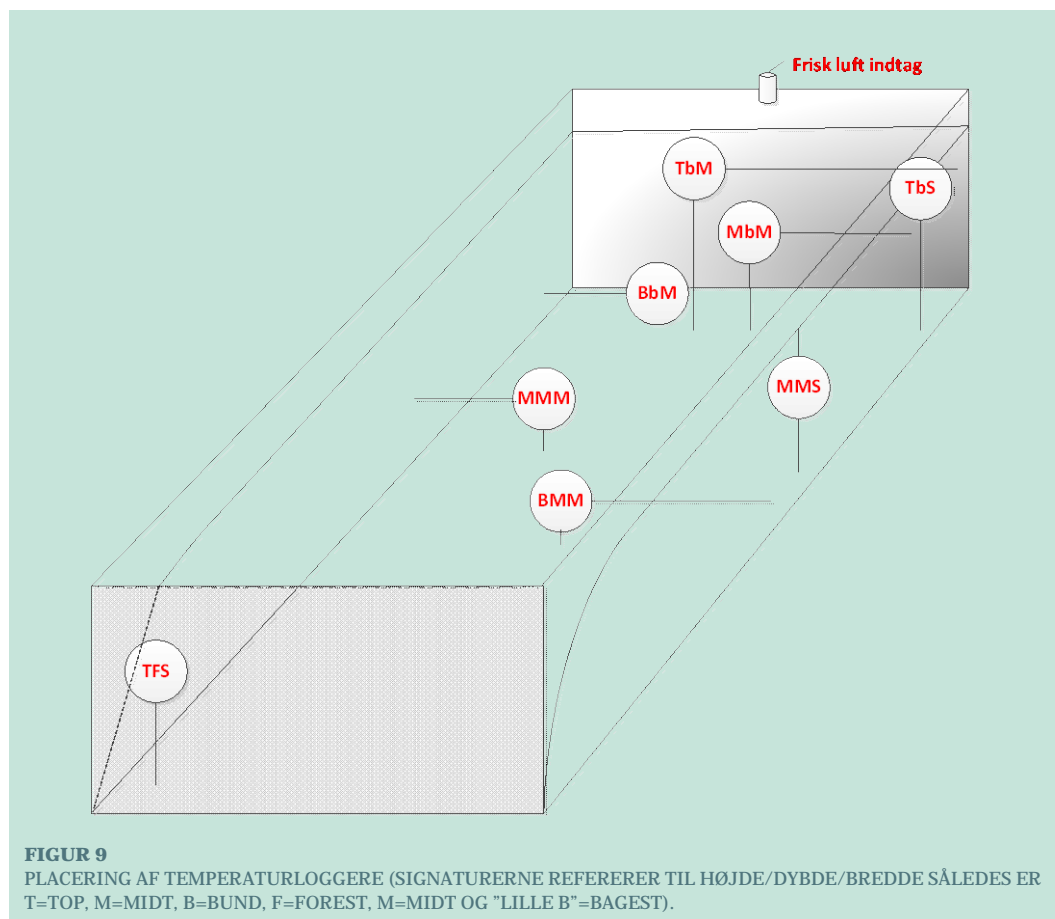
Stabilitet af komposten blev analyseret med henblik på lagerstabilitet og en vurdering af kompostens værdi som gødning. Der kan være forskellige grunde til at vælge "frisk kompost" eller "meget stabil kompost". "Frisk kompost" kan have den fordel, at den største mængde næringsstoffer, vil findes i komposten ved udbringning, men den fortsat biologiske proces vil binde kvælstof, således at det kan være vanskeligere at forudse frigivelsen af næringsstoffer under anvendelsen. "Meget stabil kompost" er et produkt, hvorfra næringsstofferne vil frigives langsomt. Det organiske stof vil være stabilt og vil direkte bidrage til at forbedre jordstrukturen på ikke organiske jorde. Til gengæld vil selve komposteringsprocessen give anledning til tab af kvælstof (FØJO 2000). Tabet af kvælstof har vi vurderet; se 3.4. Energi- og massestrøm, og andres undersøgelser viser, at forøgelsen af humus i jord stortset hænger sammen med mængden af organisk stof, som tilføres. Det var ikke en del af dette projekt at bestemme dyrkningsværdien af komposten, men stabiliteten, som blev målt med 3 metoder (selvopvarmning, respiration og Solvita Composttest Kit), var "meget stabil" jf. bestemmelsesmetoderne, som beskrevet i MST 1999 - 2.

Andelen af synlige urenheder (glas, metal og plast) var mellem 0,38 % og 1,7 % af TS. De fleste europæiske standarder anbefaler en grænse på 0,5 % af TS analyseret med sigtemetoden. Der var ikke sammenhæng mellem forbehandlingsmetoderne og de synlige urenheder. Det er primært glas og sekundært plastik, som i nogle prøver var for høje. Da komposten sorteres på 10 mm, gælder det om at undgå neddeling under 10 mm. Ved tidligere undersøgelser af synlige urenheder har det vist sig, at recirkulering af struktur har en væsentlig indflydelse. Det blev således fundet, at genbrugsstrukturen skal sorteres en ekstra gang på 10 mm sold forud for genanvendelse.

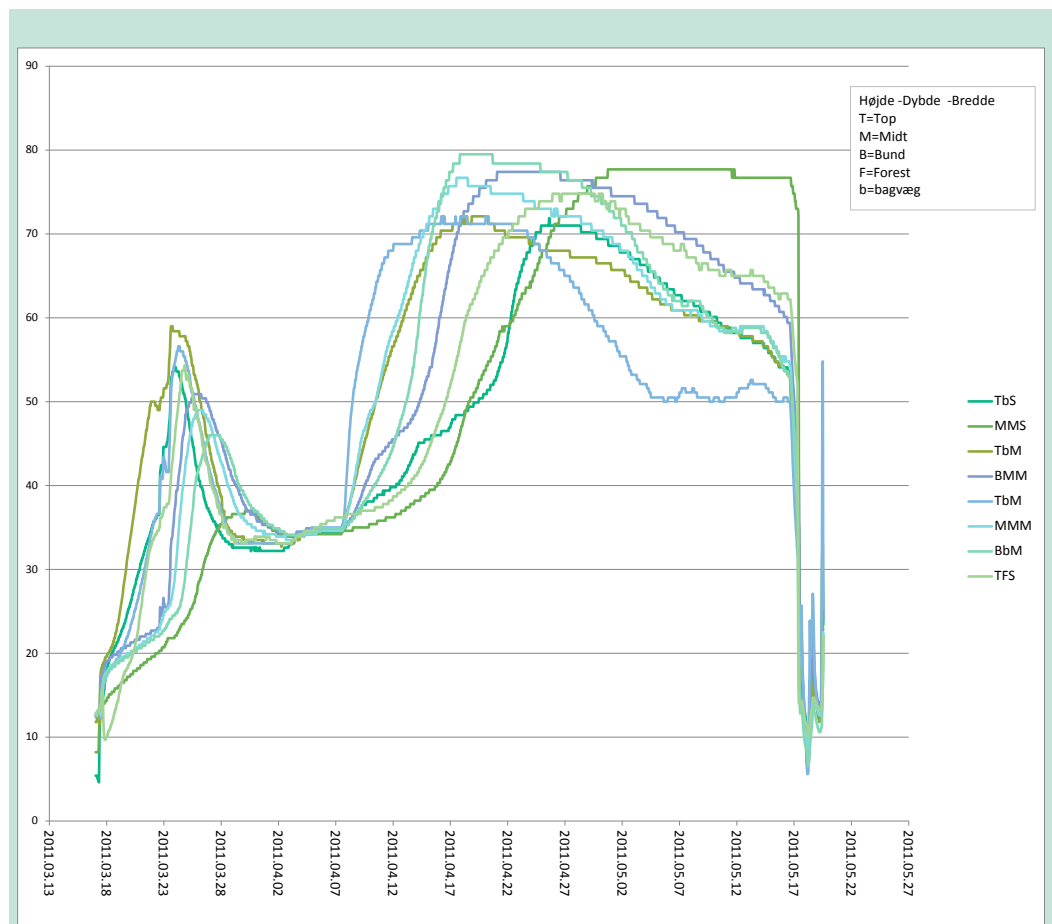
3.3.6 Hygiejniske resultater og design

I gennem projektføreløbet blev det besluttet at hygiejniserer affaldet i procesmodulerne ved 70 °C i en time, allerede før biogasprocessen starter. Dette sker ved at gennemvæde materialet med 75 °C varmt perkolat fra en buffertank. I løbet af projektet blev der imidlertid arbejdet med en løsning, hvor hygiejniseringen sker i kompostfasen for den faste masse og løbende for perkolat fra procesmodulerne. Disse resultater er fremstillet her – muligheden for at hygiejniserer komposten er relevant, eksempelvis hvor man behandler materiale, som ikke skal afgasses, hvorfor man ikke ønsker at gennemvæde materialet.

Ønsket var, at kompost og væske fra KOD blev behandlet ved 70 °C i minimum en time, da hygiejniseret kompost giver de største anvendelsesmuligheder, jf. MST 2010. Temperaturen i procesmodulerne måles løbende ved at følge temperaturen i procesluften, som suges ud af kompostmassen, samt ved at måle temperaturen af perkolat i biogasfasen. Temperaturen i procesluften giver en indikation af, om processen kører tilfredsstillende, men temperaturen er forbundet med usikkerhed som dokumentation for hygiejne, fordi temperaturen vil være et gennemsnit af hele kompostmassen. Desuden giver temperaturen kun et retvisende billede, når ventilatorerne kører, hvilket normalt sker i en tredjedel af procestiden. Når ventilatorerne ikke kører, vises bare udetemperaturen eller en gennemsnitsværdi af ude- og indentemperaturen. For at måle de konkrete temperaturer i massen blev der lagt 8 temperaturloggere ind fordelt på Bund, Midte, Top, Forrest, Midte og bagest; se figur 9.



Kurver over temperaturafviklingen er vist i figur 10.



FIGUR 10
TEMPERATURUDVIKLINGEN I KOMPOSTMASSEN FRA DEN 13. MARTS TIL DEN 27. MAJ

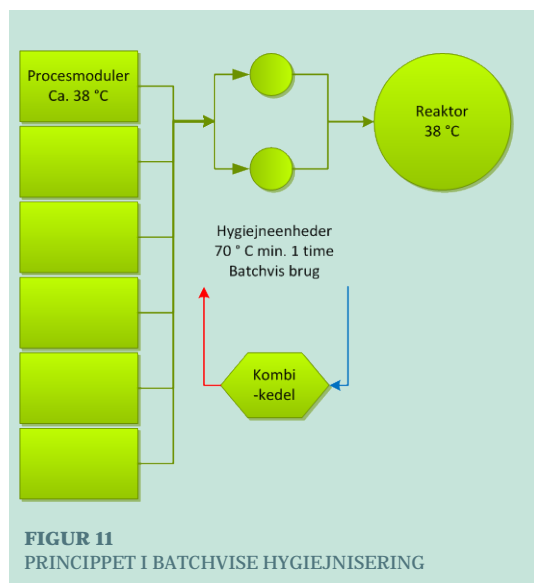
Resultaterne viser, at der ikke er problemer med at opnå 70 °C i adskillige timer/dage i alle punkter. Der blev gennemført flere kørsler, og det viste sig, at det er vigtigt, at procesmodulet er isoleret, samt at det undgås, at kold luft suges ind i vinterperioden, da dette ødelægger hygiejniseringen af overfladen.

Når komposten er færdig i procesmodulerne, flyttes den til eftermodningsboksene. I eftermodningsboksene når temperaturen let 70 °C i selve kompostmassen, men ikke i overfladen som på Biovækst er åben for klimapåvirkning. Klimapåvirkningerne betyder ligeledes, at komposten i sommerperioden tørre kraftigt ud. Det er ikke umiddelbart ønskeligt for selve eftermodningen, at temperaturen er høj, da omsætningen foregår mest effektivt mellem 45 °C og 55 °C. Boksene kan dog benyttes, som en sikkerhedsforanstaltning, hvis temperaturen i procesmodulet ikke nås. På et nybygget Aikan Agri anlæg lukkes eftermodningsboksene, således at eftermodningen foregår mere kontrolleret og uafhængigt af vejrforholdene.

Fra hvert procesmodul pumpes dagligt ca. 50 m³ perkolat til og fra modulet. Når KOD er hygiejniseret forud for processen, kan denne perkolat bruges frit i den hygiejniske del af anlægget. Såfremt man ikke hygiejniserede, skulle perkolatet hygiejniseres forud for indfødning i reaktortanken. Perkolatet har en temperatur på mellem 30-40 °C. Perkolat fra procesmodulet pumpes til en isoleret tank. Når denne er fuld, opbevares perkolatet ved 70 °C i en time i tanken, før den fødes ind i reaktortanken. Varmeforbruget til hygiejniserings erstatter den opvarmning, som alligevel finder sted i reaktortanken, men det samlede varmeforbrug bliver alligevel større ved

denne model. Opvarmning sker på simpel vis med en varmeveksler tilsluttet en kombikedel og 2 stk. hygiejniseringsenheder (isolerede tanke), som benyttes batchvis.

Systemet illustreret i Figur 11.



For mikrobiel kontrol af hygiejne kan der let tages prøver af tanken, men hygiejniseringen foregår på væske stort set uden partikler, så hygiejniseringen må anses for særdeles sikker, idet reglen om 70 °C i en time gælder for kompost, hvor kravet er, at kernen af partiklerne også skal nå 70 °C. Det skal understreges, at årsagen til hygiejniserings af væsken alene skyldes, at den afgassede gylle udbringes på flydende form. I det konventionelle Aikan anlæg udbringes ikke gødning på væskeform.

3.4 Energi- og massestrøm

3.4.1 Massebalance

Energibalancen og genanvendelsesprocenten har både stor betydning for den samlede miljøpræstation og for anlæggets konkurrenceevne. Anlægget er skalerbart, og der kan derfor ikke opstilles en helt generel energi- og massestrøm, men et konkret anlæg baseret på 20.000 ton KOD og 100.000 ton gylle af blandet sammensætning vil være en størrelse, som er realistisk i mange sammenhænge. Under normale omstændigheder vil der også være andre råvarer, men det antages, at disse enten vil være KOD-lignende (fast) eller gyllelignende (flydende). Hertil kommer struktur. Strukturen er i dag grene fra have-parkoverskud. Struktur kunne også være halm eller andre landbrugsrelaterede strukturholdige materialer, men forsøgene er gennemført med knuste grene fra have-parkoverskud. Landbrugsholdige strukturmateriale ville givet bidrage til biogasudbyttet. Dette gør grenene stort set ikke.

Et eksempel på massebalancen fremgår af Tabel 4. Massebalancen er opgjort på basis af ud og indgående mængder samt analyser af disse, og den er afstemt således, at der ikke er uforklarlige tab. I praksis vil der altid være fluktuationer i denne, men den giver en indikation af grundlaget for et Aikan Agri anlæg.

TABEL 4

GENEREL MASSEBALANCE FOR AIKAN AGRI MED 100.000 TON KVÆGGYLLE OG 20.000 TON KOD (FRISKVÆGT (FV), TØRSTOF (TS), FLYGTIGT ORGANISK TØRSTOF (VS).

Råvare	KOD	Kvæggylle	Struktur	Enhed
FV	20.000	100.000	4.000	Ton
TS	6.400	8.600	2.200	Ton
VS	5.840	3.800	990	Ton
				Ton
Total-N	180	400	24	Ton
Total-P	24	84	3	Ton
K	60	224	11	Ton

Recirkulerede Produkter:	Aikan Agri Kompost	Afgasset gylle	Enhed
FV	7.000	99.975	Ton
TS	3.850		Ton
VS	655	8.498	Ton
Total-N	108	399	Ton
Total-P	32	68	Ton
K	46	229	Ton

Metan		1.357	Ton
--------------	--	-------	-----

Fragået i processen				
		Enhed		%
FV	15.668	Ton	12,6	% af total råvare
TS	3.495	Ton	20,3	% af total råvare
VS	5.899	Ton	55,5	% af total råvare
Total-N	97	Ton	16,1	% af total råvare
Total-P	11	Ton	9,6	% af total råvare
K	20	Ton	6,7	% af total råvare

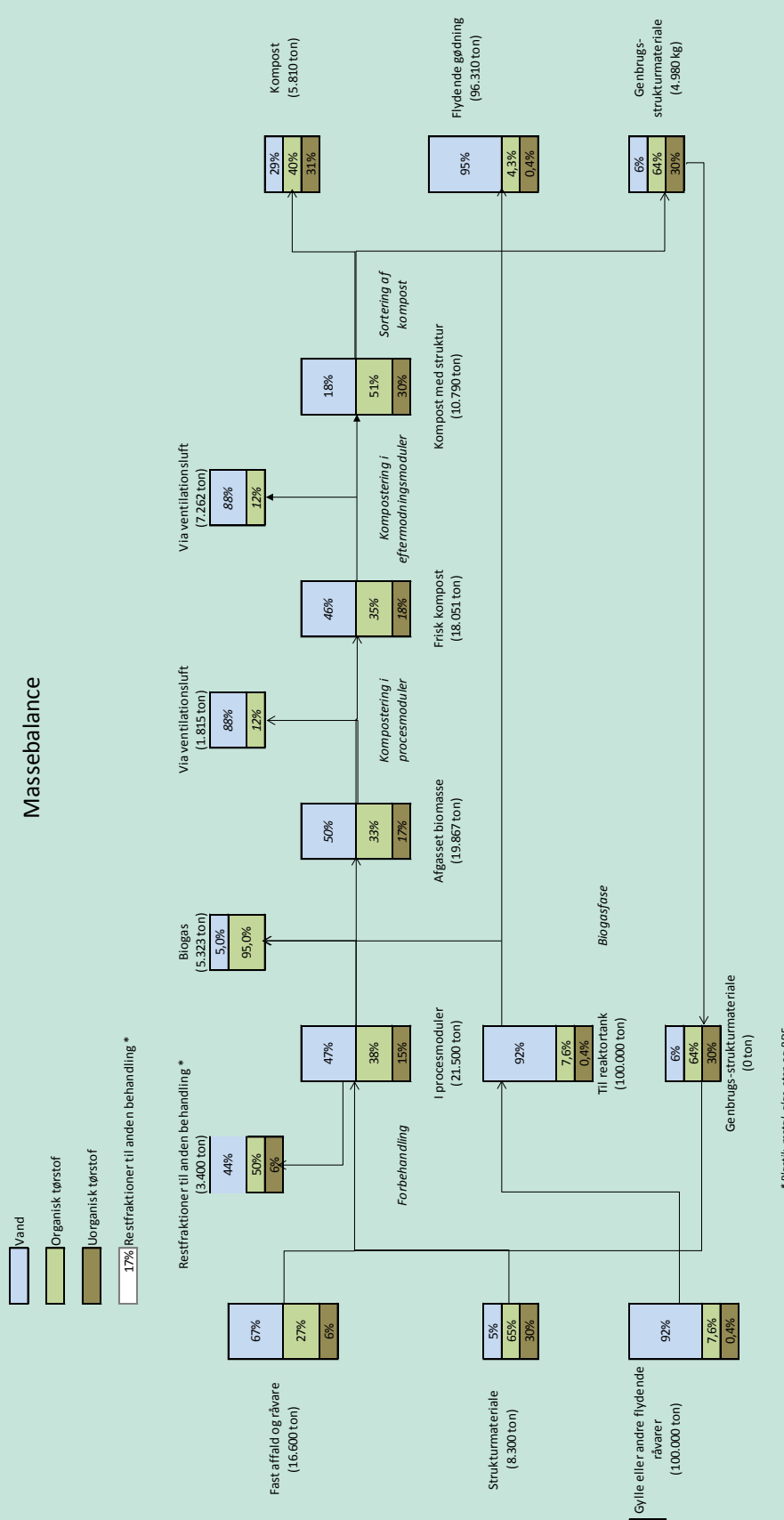
Tabet i processen sker ved fordampning af vand, samt tab ved omsætning til metan (CH₄) og kuldioxid (CO₂). Kvælstof tabes ved ammoniakfordampning. Massebalancen er forbundet med måleusikkerhed, da den bygger på analyser af indgående og udgående mængder. Fosfortabet kan

eksempelvis ikke umiddelbart forklares på anden måde end måleusikkerhed, da der ikke forventes fordampning af fosfor. Efter flere kørsler vil massebalancen dog blive mere og mere præcis. Massebalancen giver dog samlet set et billede af de forventede udbytter, hvilket er vigtigt for anlæggets samlede rentabilitet.

Det skal bemærkes, at næringstoffetabet på anlægget ville blive mindsket, hvis man brugte komposten, før den var moden, idet der jo sker en vis frigivelse i takt med, at materialet omsættes. Umoden kompost/digestat i marken kan dog medføre, at tabet blot sker på marken i stedet for på anlægget.

Der er regnet med et metanudbytte på 10 m³ pr ton gylle og 60 m³ pr ton KOD. I den kalkulationsmodel (afsnit 3.5), som er udarbejdet for Aikan Agri, udregnes med de givne forudsætninger en massebalance, som relateres mere til processen på anlægget. Et eksempel ses på næste side i Figur 12. I denne balance er der regnet med 20.000 KOD men med 17 % urenheder altså en lidt anden beregning end et input på 20.000 ton. Massebalancen (næste side) er afstemt både for samlet friskvægt, organisk- og uorganisk tørstof, således at indgående og udgående masser altid balancerer. Dette er gjort under hensyn til analysevariationen, idet der aldrig vil kunne opnås en balancerende masse ud fra stikprøveviser analyser. Men det er til gengæld sikret, at der ikke kommer urealistiske in- eller output.

Massebalance



* Plastik, metal, glas, sten og RDF

FIGUR 12

EKSEMPEL PÅ MASSEBALANCEBEREGNING FRA AIKAN AGRI KALKULATIONSMODEL. PROCENTERNE I FIGUREN REFERERER TIL ANDELLEN AF VAND, OR ORGANISK TØRSTOF OG UORGANISK TØRSTOF I DE ENKELTE FRAKTIONER.

3.4.2 Energibalace

Energiforbruget til proces består af hovedforbrugene

- diesel til mobilt udstyr
- elektricitet til pumper, ventilatorer, motorer, neddelere mv.
- varme til hygiejniserings af perkolat og opvarmning af gylle,

samt transmissionstab fra rør og varmetab fra reaktorer og procesmoduler.

En beregning af den samlede energibalace for et Aikan Agri anlæg baseret på 100.000 ton kvæggylle og 20.000 ton KOD er vist i Tabel 5. Der er for overskuelighedens skyld regnet med kraftvarmeproduktion, men man kunne også sælge metan eller biogas. Metanudbyttet fra henholdsvis kvæggylle og KOD er sat til 10 m³ og 60 m³ metan pr ton friskvægt. El-virkningsgraden er konservativt sat til 35 % og virkningsgrad for motoren på 93 %.

TABEL 5
EKSEMPEL PÅ ENERGIBEREGNING FOR AIKAN AGRI ANLÆG MED KOD HYGIEJNISERING
(DET STORE ENERGIFORBRUG TIL KOD SKYLDES KRAV OM HYGIEJNISERING AF MATERIALET VED
SAMBEHANDLING MED GYLLE)

Energibalace - Aikan Agri for 20.000 KOD og 100.000 ton Gylle

Produktion; MWh	El	Varme	Diesel	Samlet
Fra gylle	3.500	5.800	0	9.300
Fra KOD	4.200	6.960	0	11.160
Forbrug; MWh	El	Varme	Diesel	Samlet
Forbehandling	91	0	168	259
Til gylle	115	77	0	186
Til KOD	141	1442	83	1.666
Transmissionstab	0	502	0	502
Balance; MWh	7.270	10.746	-251	17.847

Eget forbrug	El	Varme	Samlet inklusiv diesel
Samlet anlæg	5 %	16 %	13 %
Gylledel	3 %	10 %	7 %
KOD del	6 %	28 %	22 %

I beregningen er varmeveksling mellem ind- og udgående gylle og varmeveksling på afgangsluften fra kompostering. Varmeforbruget til at opvarme KOD er betydeligt, men det skal dog bemærkes, at dette muligvis vil være mindre i det konkrete anlæg, da der er regnet med en relativt lav gennemsnitstemperatur for indgående KOD, og der ikke er foretaget en afstemning af sparet varme ved opvarmning af Reaktortanken. Elforbruget til KOD er større end for gylle – det skyldes, at neddelere (og sortereværk) til forbehandling er valgt som eldrevne. I dieselforbrug er der ikke regnet med transport til og fra anlægget. Det er altså alene intern drift. Såfremt perkolat fra KOD blev hydrolyseret løbende, ville energiforbruget til opvarmning være større, idet der faktisk skal

opvarmes 120.000 ton perkolat på årsbasis. I nedenstående beregning er varmekonsumet tillagt gylledelen, da det her er de flydende perkolatstrømme (undtagen indgående gylle), som opvarmes.

TABEL 6
 EKSEMPEL PÅ ENERGIBEREGNING FOR AIKAN AGRI ANLÆG MED PERKOLATHYGIJNISERING
 (DET STORE ENERGIFORBRUG TIL KOD SKYLDES KRAV OM HYGIJNISERING)

Energibalace - Aikan Agri for 20.000 KOD og 100.000 ton Gylle

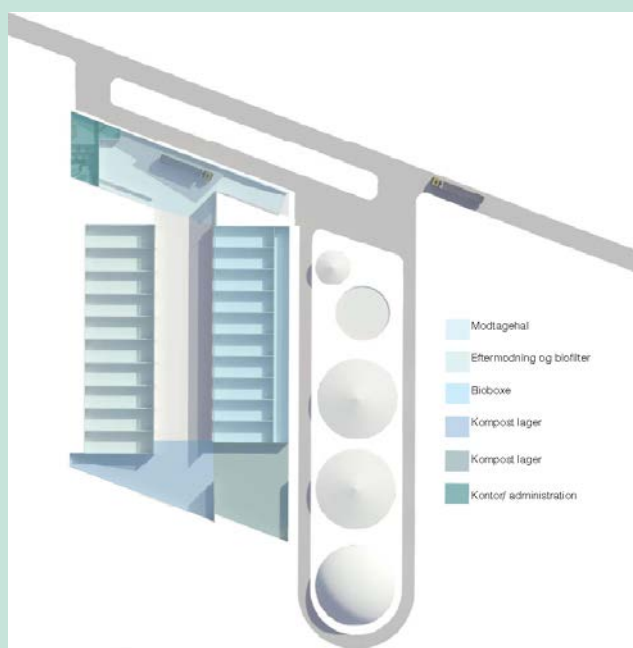
Produktion; MWh	El	Varme	Diesel	Samlet
Fra gylle	3.500	5.800	0	9.300
Fra KOD	4.200	6.960	0	11.160
Forbrug; MWh	El	Varme	Diesel	Samlet
Forbehandling	91	0	168	341
Til gylle (og perkolat)	115	4.823	0	4.939
Til KOD	141	70	83	294
Transmissionstab	0	502	0	502
Balance; MWh	7.352	7.365	-251	14.467

Eget forbrug	El	Varme	Samlet inklusiv diesel
Samlet anlæg	5 %	42 %	29 %
Gylledel (og perkolat)	3 %	92 %	58 %
KOD del	6 %	8 %	9 %

Ovstående beregninger afhænger noget af effektiviteten af det konkrete anlæg, samt effektiviteten af varmevekslere og synergien ved sparet gylleopvarmning mv., men tendensen er så tydelig, at det anses for bevist, at hygiejniserings skal ske forud for processen.

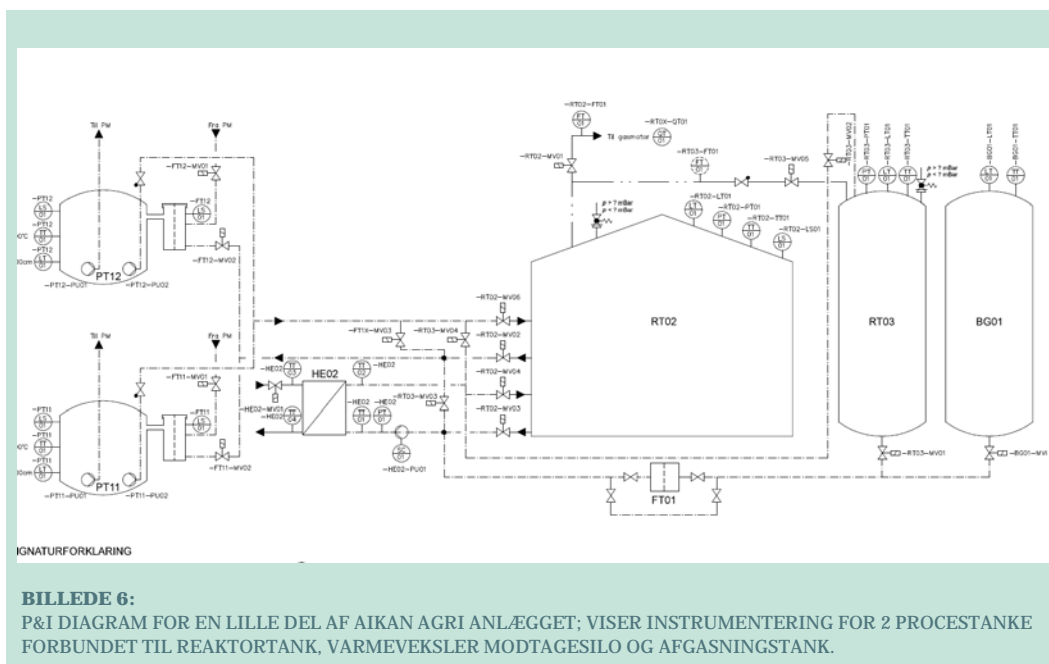
3.5 Aikan Agri – konceptuelle designs og driftsøkonomi

Målet var, som præciseret, at kombinere fordelene ved fast og flydende biogasproduktion og indpasse Aikan Agri anlæg i den konventionelle biogas-fællesanlægsmodel for husdyrgødning, som er den fremherskende i Danmark. Som udgangspunkt for det konceptuelle design og driftsøkonomiberegningen er der benyttet en standard model. Det er sekvensen af pumper, ventiler, spjæld og måleudstyr styret på den korrekte måde, som giver den operationelle fordel ved Aikan Agri. Denne sammenhæng vil let kunne tilpasses det konkrete biogasanlæg i forbindelse med tilbygning. I praksis vil P&I diagrammer og detaljeprojektering altid skulle tilpasses eksisterende komponenter på det konkrete anlæg. Konstruktionstegninger er på lignende vist udarbejdet generisk for de enkelte elementer (procesmoduler, rørgrave, reaktorer etc.). Kombinationen kan herved let tilpasses den enkelte situation. Nedenfor er vist et eksempel på selve udformningen af et Aikan Agri anlæg hos Thy Økoenergi tegnet af *Tankestreg* arkitekterne og *Cowi* for Naturstyrelsen og RealDania.



BILLEDE 5

THY ØKO ENERGI ER ET ØKOLOGISK BIOGASANLÆG UNDER PLANLÆGNING LIDT UDEN FOR THISTED; ANLÆGGET VIL BLIVE BASERET PÅ FASTE BIOMASSER FRA LANDBRUG; SUPPLERET MED KOD. DESIGNFORSLAGET ER UDARBEJDET AF ARKITEKTER HOS: TANKESTREG I THISTED OG HOS COWI.

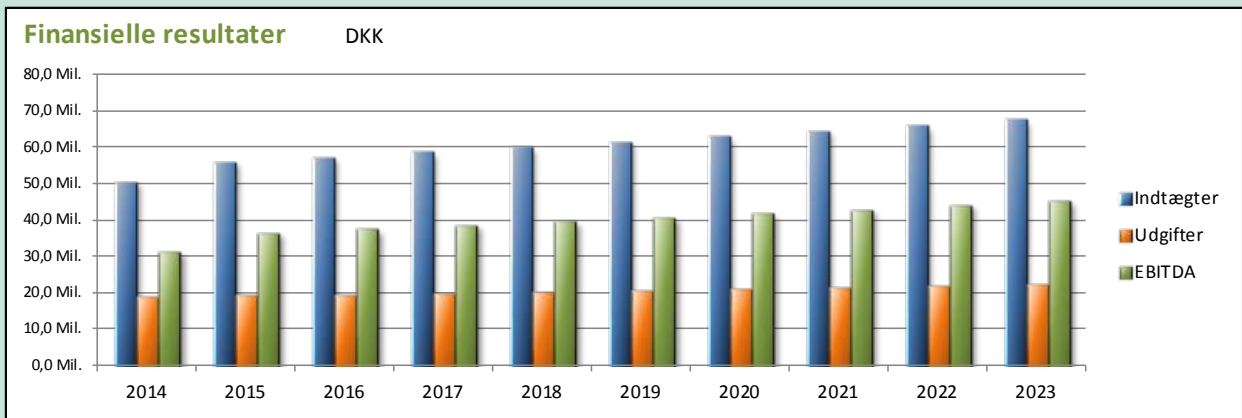


P&I diagrammer og konstruktionstegninger er udført i AutoCad. Styklister med TAG nummerering i almindeligt word-format. Manualer og funktionsbeskrivelser foreligger ligeledes i almindeligt word-format.

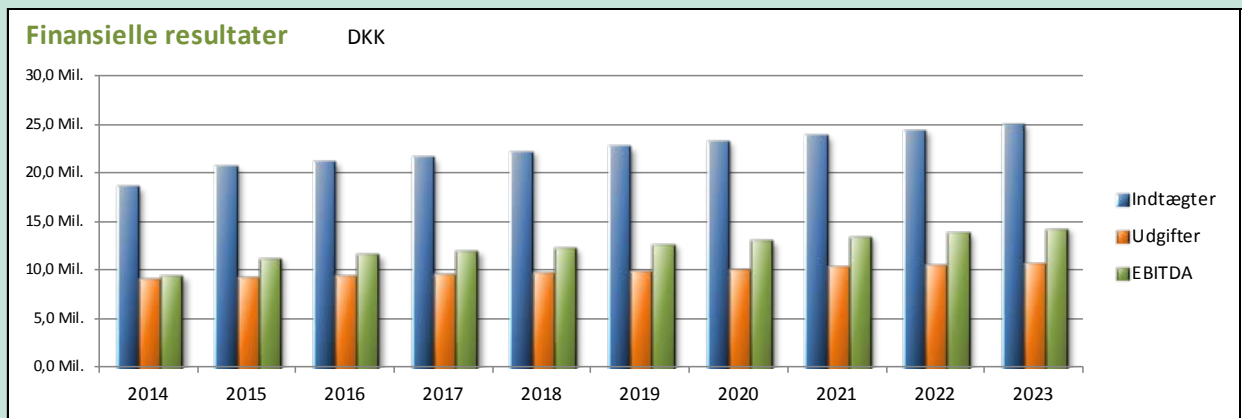
De enkelte elementer, komponenter og arbejdsgange (for konstruktion og drift) er indlagt i Aikan kalkulationssystemet, som indeholder investeringer og afskrivninger, driftsudgifter og tilbagebetalingstid etc. Systemet er blevet udviklet således, at det indeholder let adgang til at specificere et konkret anlæg ud fra konkrete ønsker. Udbyttet af systemet er, at man altid får en aktuel beregning, som indeholder:

1. Massebalance; i forhold til den konkrete sammensætning af råvarer
2. Teknisk oversigt; indeholdende til design, komponenter areal og produktudbytte.
3. Økonomiske og tekniske estimat; som både tage højde for CAPEX og OPEX
4. Indtægter og udgifter - prognose (10 årig tidshorisont)
5. Forudsætningerne for beregningen; de konkrete valg som er taget for beregningen
6. Konstruktionsomkostninger (dvs. investeringen i anlægget); den dags aktuelle pris på anlægget baseret på detaljekomponenter

Modellen er ret omfattende og består af 40 Excel ark med formler og beregninger, og den kan afgive overslag på flere sprog. Modellen indeholder således en komplet businessmodelberegning for anlægget inklusiv driftsudgifter. To beregninger baseret på Aikan kalkulationsmodellen er gennemført for scenarier med henholdsvis 100/300 (x1000) ton gylle og 20/100 (x1000) ton KOD (med tilhørende strukturmateriale). I Figur 13 og Figur 14 er indtægter, udgifter og overskud før skat og afskrivning (EBITDA) vist grafisk for de 2 scenarier. Det ses tydeligt, at indtjeningen ved det store anlæg er bedre. Der er altså stordriftsfordele. Der i beregningerne ikke er taget højde for transportudgiften ved indsamling af gyllen. Dette kan betyde væsentlige ændringer i økonomien, og stordriftsfordelen kan blive "spist" af de længere transportafstande.



FIGUR 13
ØKONOMISKE NØGLETAL FOR AIKAN AGRI ANLÆG BASERET PÅ 50.000 TON KOD OG 300.000 TON GYLLE



FIGUR 14
ØKONOMISKE NØGLETAL FOR AIKAN AGRI ANLÆG BASERET PÅ 20.000 TON KOD OG 100.000 TON GYLLE

I Figur 15 og Figur 16 fremgår tilbagebetalingstiden og "Internal Rate of Return" (IRR) for de to anlæg. Ramme vilkårene er sat ens for begge. I praksis ville man muligvis sænke modtageprisen for affald for at gøre det store anlæg mere konkurrencedygtigt end det lille. Sænkes modtageprisen med 100 kr. per ton KOD (fra 450 til 350) øges tilbagebetalingstiden fra 1,6 år til 2,4 år.

Tilbagebetaling af investeringskapital

IRR	Efter Skat	Før Skat
5 år	33,7%	51,8%
10 år	33,6%	51,6%
Tilbagebetalingsperiode		
Tilbagebetalingsperiode	1,6 år	1,3 år

FIGUR 15

TILBAGEBETALINGSTID OG INTERNAL RATE OF RETURN (IRR) FOR AIKAN AGRI ANLÆG BASERET PÅ 50.000 TON KOD OG 300.000 TON GYLLE

Tilbagebetaling af investeringskapital

IRR	Efter Skat	Før Skat
5 år	6,9%	10,6%
10 år	17,4%	26,8%
Tilbagebetalingsperiode		
Tilbagebetalingsperiode	6,0 år	5,4 år

FIGUR 16

TILBAGEBETALINGSTID OG INTERNAL RATE OF RETURN (IRR) FOR AIKAN AGRI ANLÆG BASERET PÅ 20.000 TON KOD OG 100.000 TON GYLLE

Nøgletallene bygger på konkrete forudsætninger ved demonstrationsanlægget i Holbæk. I et nyt anlæg vil der selvfølgelig være mange specifikke forhold, som kan være anderledes.

Rammebetingelserne er afgørende for driftsøkonomien i alle energi- og gødningsproducerende anlæg. Rammebetingelser er, som udgangspunkt, markedsbestemte, men en bedre klima- og miljøadfærd må i reglen understøttes af incitamenter, påbud eller andre lovgivningsmæssige tiltag. Rammebetingelser er som bekendt varierende i forskellige lande. I Tabel 7 er vist de udslagsgivende rammebetingelser i vores beregninger.

TABEL 7
RAMMEBETINGELSER FOR AIKAN AGRI ANLÆG I DENNE RAPPORT

Parameter	DKK pr enhed
Salgspris pr Nm ³ metan	4,50
Modtagepris pr ton KOD	450
Modtagepris pr ton gylle	0
Afregningspris afgasset pr ton gylle	0
Afregningspris pr ton kompost	0
Forbrændingspris for pr ton forbrændingseget rejekt	450

Salgsprisen på metan oprenset fra biogas er højere end prisen på naturgas pga. tilskudsstrukturen til fornybar energi, som erstatter fossile brændsler. Tilskuddet er med de lave energipriser af stor betydning for rentabiliteten af anlæg.

For at vurdere hvorledes ændring i rammevilkårene influerer på businessmodelberegningen, ændredes disse for begge anlæg, som vist i Tabel 8. Modtageprisen for KOD blev reduceret, Salgsprisen for metan blev reduceret og der blev regnet med en afsætningsomkostning både for kompost og afgasset gylle på 30 kr. pr ton/m³.

For det store anlæg betyder disse ændringer at tilbagebetalingstiden før skat øges fra 1,3 år til 7,9 år, medens den for det lille anlæg bliver mere end 10 år mod 5,4 år.

Det er altså tydeligt, hvad rammevilkårene betyder for anlæggets rentabilitet.

TABEL 8
RAMMEVILKÅR I ALTERNATIV FØLSOMHEDSBEREGNING

Parameter	DKK pr enhed
Salgspris pr Nm ³ metan	4,00
Modtagepris pr ton KOD	400
Modtagepris pr ton gylle	0
Afregningspris afgasset pr ton gylle	- 30
Afregningspris pr ton kompost	-30
Forbrændingspris for pr ton forbrændingseget rejekt	450

4. Diskussion

Et af formålene med dette projekt var at optimere forbehandling af KOD i relation til Aikan Agri. KOD indeholder altid større eller mindre mængder "urenheder" i form af plast, metal, glas, træ o. lign., som ikke kan omsættes i afgasningsprocessen. Urenhederne vil være til gene i afgasningsprocessen eller uønskede i de nyttige restprodukter som kompost, afgasset gylle. I traditionelle biogasanlæg er den tekniske tolerance for urenheder meget lav, pga. faren for tilstoppede rør, filtre og pumper. Det betyder, at urenhederne må fjernes før biogasprocessen. Ved de forbehandlingsteknikker, som vi har kendskab til i dag, produceres enten store mængder spildevand, som skal bortskaffes med restproduktet eller via kloaknettet, eller der frasorteres op til 50 % af biogaspotentialt sammen med restaffaldet. Ved de simple mekaniske forbehandlingstrin, vi har testet, kan affald med en lille andel urenheder (under 15 %), som er indsamlet i bionedbrydelig emballage, håndteres direkte uden forsortering i Aikan Agri. Det giver selvfølgelig en optimal mulighed for udnyttelse af biogaspotentialt. Fra affald med større mængde urenheder (mere end 15 %) fjernes kun de store elementer i startfasen. Derved fås mest muligt organisk stof gennem systemet, og urenhederne frasorteres til sidst ved rensning af komposten.

Undersøgelser af restfraktionen fra den undersøgte KOD viste, at det omsættelige organiske materiale, der klæber sig til urenhederne svarer til 10-12 % af det usorterede affalds samlede gaspotentialt. Da kun en lille del af urenhederne fjernes ved selve forsorteringen (= knusning + frasortering) vil gevinsten ved at undlade frasortering eller vaskerejektet være ret lav. Variationen i udbytteresultaterne i fuldskalaforsøgene viser, at andre faktorer end sortering spiller en væsentligt større rolle for det samlede udbytte (Figur 6). Der er altså næppe meget at hente ved at undlade forsortering, som faktisk også har positive effekter. Via knusning og fjernelse af de største emner øger man eksponeringen for nedbrydning af det organiske materiale og forbedrer perkoleringsen ved at fjerne de store plastikposer. Fordelen ved at behandle KOD i Aikan Agri er, samlet set, at der opnås mere biogas per ton KOD, fordi der kun fjernes en lille del af potentialt. Med tiden kan andre forbehandlingsmetoder vise sig endnu mere effektive, men pt. er den relativt lavpraktiske og billigere løsning også den mest effektive.

Gennem udviklingen af Aikan Agri har vi bl.a. søgt efter den bedste måde at udnytte procesmodulerne til at opnå biogas fra KOD uden at skulle pumpe urenheder fra dette ind i reaktorerne. Der kan ved en lang opholdstid i reaktoren ganske vist opnås et højt biogasudbytte per ton indfødte organisk materiale fra KOD i de systemer, hvor KOD er så rent, at det bare kan pumpes ind. Dette vil i nogen grad modvirke det tab, der sker ved at frasortere potentialt i forbehandling. Den krævede lange opholdstid skyldes primært hydrolyseprocessen, som ved direkte indfødning skal foregå i reaktoren sideløbende med metandannelsen. Lang opholdstid er sjældent rentabel, når man samtidigt skal behandle store mængder gylle med en relativt konstant gennemstrømning i reaktoren. I Aikan Agri konceptet kan man forlænge opholdstiden af det faste materiale i procesmodulerne og stadig bevare den samme strøm af de flydende let omsættelige masser (gylle og perkolat fra procesmodulerne). Procesmodulerne tilføjer således nogle ekstra behandlingsmuligheder til det konventionelle, flydende biogasanlæg. Det giver udviklingsperspektiver for udnyttelse af en større andel af potentialt i forskellige råvarer. Hydrolysen i procesmodulerne kan måske fremadrettet forlænges således, at langsomt nedbrydelige, organiske materialer også omdannes til biogas. En fremtidig mulighed er eksempelvis at behandle halm eller andre faste landbrugsafgrøderester. Disse vil dels kunne bidrage med et

biogasudbytte og samtidigt kunne anvendes efterfølgende som gødning. Dette er et af de områder, der arbejdes videre med.

I Aikan-processen pumpes afgasset væske fra reaktortanken til procesmodulet, hvor det perkolerer ned gennem affaldet. Formålet er at udvaske hydrolyseret, let-omsætteligt organisk materiale, som pumpes tilbage i reaktortanken og afgasses. I afsnit 3.3.2 beskrives det, hvorledes afgasset gylle fra afgangstanken filtreres og anvendes til perkolering. Filterresten herfra blandes med det faste affald og bruges i procesmodulet. Afgasset gylle vil være den bedst omsatte væske, som er til rådighed på et gyllebaseret konventionelt anlæg, medens perkolat fra Aikan anlæg uden gylle har den yderligere fordel, at den ikke indeholder partikler (fibre) og derfor kan bruges uden filtrering. Der var 2 problemer med at anvende gylle som perkoleringsvæske. Det ene var, at fibrene stoppede dyserne til, det andet, at gyllen efterlod et fiberlag på toppen af affaldet, der efter kort tid forhindrede væsken i at trænge ned i massen. Det er realistisk, at der kunne udvikles brugbare tekniske løsninger på tilstopningsproblemerne ved at vande ufiltreret gylle ind i procesmodulet under højere tryk end det, som benyttes i dag. Noget lignende foregår i praksis ved tryknedefaldning af gylle direkte i marken. Ved denne metode tryksættes gyllen, og den injiceres ned i jorden ved hjælp af dette tryk (Morken & Sakshaugen, 1998, Nielsen 2002). Dette kunne undersøges nærmere.

Gaspotentialerne i de to primære substrater i Aikan Agri, KOD-perkolat og gylle, blev målt i en række forsøg. Resultaterne viste, at gaspotentialerne er sammenlignelige med potentialer opnået i andres forsøg. En af arbejdshypoteserne i projektet var, at forskellige typer inoculum, kunne have forskellige effekter på afgangningen af enten KOD eller gylle. Ræsonnementet var, at den mikrobielle sammensætning i inoculum fra en reaktortank med det mere komplekse KOD-perkolat, kunne have en positiv (synergi-)effekt på gasudbyttet fra gylle. Det modsatte kunne også være tilfældet, at de specialiserede mikroorganismer i inoculum fra gyllereaktortanke kunne virke positivt på afgangningen af perkolat fra KOD. Der var ikke nogen klar effekt af inoculum, hverken på KOD-perkolat eller på kvæggylle. Den tilfældige variation var stor, og det er snarere substrattypen (KOD eller gylle), der er afgørende for størrelsen af gasudbyttet. Det er også logisk, at med en relativt lang afgangningsperiode vil substratets mikrobielle samfund tilpasse sig til føden (gylle, KOD etc.). Viden om, hvorledes det mikrobielle samfund i substratet ændredes og hvor hurtigt, kunne bidrage til at raffinere processtyringen yderligere.

Kompostproduktionen er et andet aspekt, som adskiller Aikan Agri fra andre biogassystemer. Det er velkendt, at komposteringsprocessen omdanner selv svært nedbrydelige organiske materialer til stabilt organisk materiale. Den aerobe nedbrydning, som i Aikan Agri styres via aktiv beluftning, er naturligt forekommende i naturen, men over en meget længere periode. Ved komposteringen gøres næringsstoffer, som er bundet til materialet, tilgængelige for planternes udnyttelse. Ved komposteringen sker der også en vis fordampning af næringsstoffer; primært kvælstof i form af ammoniak. Kvælstof ville muligvis også gå tabt under den mere passive nedbrydning i naturen, fordi næringsstofferne skiftevis mobiliseres og immobiliseres under nedbrydningsprocessen. Forskellen i tab af kvælstof ved udbringning af husdyrgødning, afgasset gylle og kompost kunne være relevant at undersøge nærmere. Det er en generel regel, at gødning skal tilføres således, at den er tilgængelig, når planterne skal bruge den. Kompost, som er mere stabil, holder på gødningen, og udbringningstidspunktet kan måske have mindre betydning, men dette kræver nærmere undersøgelser og skal knyttes til afgrøde og dyrkningssystem, og komposten skal efterfølgende justeres. I dette projekt er tabet ved kompostering kvantificeret, men der er ikke arbejdet med at optimere processen for at fastholde mest muligt kvælstof. Tabet ved direkte udbringning af rådnereft uden kompostering og udnyttelsesgraden af næringsstoffer var ikke en del af projektet. Anvendelsen af organisk restprodukter udgør med andre ord en kompleks dynamik, som involverer både det, som sker i marken og på anlægget. Et projekt med sigte på at afdække en god, miljørigtig praksis kunne være af betydning.

Aikan Agri konceptet holder, som beskrevet, fast og flydende affald adskilt. Biogasprocessen bliver herved fysisk delt i flere faser (hydrolyse og metanogenese foregår flere steder). Biogasudbyttet fra

samme mængde (indfødte) og type af affald er de samme for Aikan Agri og for konventionel, flydende biogasløsninger. Metanpotentialer i KOD er ca. dobbelt så stort, som det realiserede, så der er forbedringsmuligheder for begge koncepter. I Aikan Agri er der mulighed for at behandle flere forskellige typer af affald forskelligt og kompostere den faste fraktion. Det giver gode udviklingsmuligheder, men gør også processtyringen mere kompleks. Aikan Agri processtyringen er opbygget således, at den relativt let lader sig justere via det opbyggede SCADA system. Så kompleksiteten vil ikke være noget de enkelte anlæg mærker, men det er en egenskab, som vi vil udnytte i den praktiske videre procesudvikling.

I projektet har Aikan teknologien generelt forbedret sit eksportpotentiale. Der har været stor interesse fra mange lande, hvor affaldsregimet er under udvikling. Interessen skyldes konceptets fleksibilitet i forhold til, dels at mange typer affald kan behandles separat og forskelligt takket være batch-opbygningen, dels at investeringsbehovet i teknologien er moderat eksempelvis sammenlignet med forbrænding, samt produktion af såvel energi og gødning (kompost). Aikan Agri konceptet understøtter yderligere fleksibiliteten ved at udvide behandlingsmulighederne til faste og flydende landbrugsrelaterede råvarer. Den største udfordring for eksporten i dag er, at der kun eksisterer et Aikan anlæg i 2013. Det er et stort fortrin, at dette anlæg (BioVækst) har opereret kontinuert uden driftsstop i 10 år, men der er i mange internationale udbudsbeskrivelser krav om mindst 3 referenceanlæg. Udfordringen er den samme, som for mange andre innovative teknologier: at komme igennem det som nogen gange betegnes "Dødens Dal". Springet fra udvikling til kommerciel udnyttelse. At overvinde "Dødens Dal" kræver vilje til investeringer i de første anlæg. Aikan har vist sin styrke ved, at BioVækst har overlevet på de gældende markedsvilkår, men i Danmark har den generelle interesse for at investere i affaldsbehandling været meget begrænset fra privat side. Det skyldes først og fremmest relativt ensidige offentlige investeringer i forbrændingsteknologi og medhørende fjernvarmenet. Dertil kommer, at der har været enkelte uheldige, fejlslagne projekter med biologisk affaldsbehandling, som er blevet stoppet på halvvejen og hvorfra sporene skræmmer. Offentlige investeringer i forbrændingsanlæg gav oprindeligt god mening, da formålet var at fjerne organisk affald fra deponierne. I dag er fokus på ressourceudnyttelsen i affaldet og i den sammenhæng er Aikan Agri en god og nu velafprøvet teknologi, som måske finder yderligere indpas i den danske affaldsmodel.

Referencer

- AFAV 2003 "Forbehandling af organisk husholdningsaffald ved hydraulisk stempelseparation". AFAV 2003. MST Miljøprojekt Nr. 759, 2003
- MST 2005 "Kombineret afgangning og kompostering af kildesorteret organisk dagrenovation i batch anlæg". Solum og Ålborg Universitet – sekt. for miljøteknologi 2005. MST Miljøprojekt Nr. 1002, 2005.
- MST 2010 "Anvendelse af affald til jordbrugsformål". Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 1, 2010.
- MST 2002 "DEHP i Husholdningsaffald". COWI 2002. MST Miljøprojekt Nr. 702, 2002.
- MST 1999 "Nedbrydning af miljøfremmede stoffer i biogasreaktorer". Teknologisk Institut, Danmarks Jordbrugsforskning og Forskningscenter Foulum 1999. MST Miljøprojekt Nr. 500, 1999
- Rambøll 2008 "Komposteringsprocessens evne til nedbrydning af miljøproblematiske organiske stofgrupper – screening af litteratur". Rambøll 2008.
[Http://bgorj.dk/Facts_og_viden/Artikler](http://bgorj.dk/Facts_og_viden/Artikler).
- Morken, J & Sakshaugen, S 1998 "Direct Ground Injection of livestock waste slurry to avoid ammonia emission". Research note. Nutrient Cycling in Agroecosystems 51, 59-63.
- MST 1999 - 2 "Standardiseret produktblad for kompost- Generel del". Arbejdsrapport nr. 8 fra Miljøstyrelsen 1999. "Standardiseret produktblad for kompost - del 2 Vejledning for komposteringsanlæg" - MST Miljøprojekt nr. 470 1999. "Standardiseret produktblad for kompost – del 3 Vejledning til laboratorier". Arbejdsrapport nr. 9 fra Miljøstyrelsen 1999.
- NMR 2002 "Supervision of the sanitary quality of composting in the Nordic countries Evaluation of 16 full-scale facilities". TemaNord 2002:567. Nordisk Ministerråd 2002.
- FØJO 2000 "Husdyrgødning og kompost - Næringsstofudnyttelse fra stald til mark i økologisk jordbrug". Sommer, S. og Eriksen, J (Red.). FØJO Rapport nr. 7 Forskningscentret for Økologisk Jordbrug (FØJO) 2000.
- MST 2003 "Basisdokumentation for biogaspotentialiet i organisk dagrenovation". Danmarks Tekniske Universitet, Lunds Tekniske Højskole, Rambøll og VA Verket. Miljøprojekt Nr. 802 fra Miljøstyrelsen 2003
- Nielsen, H. 2002 "Gyllen spules ned". Maskinbladet. [Http://www.maskinbladet.dk/artikel/gyllen-spules-ned](http://www.maskinbladet.dk/artikel/gyllen-spules-ned)

Aikan Agri

Projektet viser, at det er muligt for anlæg, som primært håndterer flydende affald, også at kunne modtage, forbehandle, afgasse og kompostere kildesorteret, organisk affald (KOD) uden et stort behov for frasortering.

Der er i projektet arbejdet med en videreudvikling af Aikan teknologien med henblik på at kunne integrere løsningen med eksisterende eller fremtidige biogasfællesanlæg.

Rapporten belyser forskellige behandlingsmetoder samt fordele og ulemper ved metoderne samt konkrete forsøg, der viser effektiviteten ved de valgte enkle mekaniske metoder, som foreslås anvendt ved små og store Aikan anlæg.

Herudover er energiudbyttet fra Aikan Agri-anlægget beskrevet på baggrund af gennemførte beregninger af energi – og massebalancer for hele anlægget. Resultaterne viser, at der kan opnås knapt 60 m³ metan per ton KOD og ca. 10 m³ metan per m³ kvæggylle.

Der er gennemført energi- og massebalancer for hele anlægget, og der fokuseres også i massebalancen på bevaring af næringsstofferne, dvs. hvor stor en del af det samlede input, som bevares i kompost eller i afgasset gylle.



Miljøministeriet
Miljøstyrelsen

Strandgade 29
DK - 1401 København K
Tlf.: (+45) 72 54 40 00

www.mst.dk