

Udvikling af metoder til udnyttelse af animalsk affald i biogas og udvinding af fosfor fra kød- og benmelsforbrænding

Reto Hummelshøj, Kirsten Sandberg Bloch
COWI

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.

Indhold

INDHOLD	3
FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	13
1 INDLEDNING	15
1.1 HISTORISK TILBAGEBLIK	15
1.2 LOVGIVNINGSMÆSSIGE FORHOLD	16
1.3 PROJEKTETS FORMÅL	17
2 KORTLÆGNING AF AFFALDSMÆNGDER	18
2.1 KATEGORISERING	18
2.1.1 Kategorisering af animalske biprodukter iht. EU-forordning	18
2.1.2 Affald med prionrisiko (Kat. 1)	19
2.1.3 Affald uden prionrisiko (Kat. 2 og 3)	19
2.2 SLAGTERIAFFALD	20
2.2.1 Udviklingstendens	23
2.3 ANIMALSK AFFALD FRA ANDRE KILDER	24
2.4 KARAKTERISERING / SAMMENSÆTNING	25
2.5 MULIG ÆNDRET HÅNDTERING PÅ SLAGTERIER	28
2.6 OVERBLIK OVER HOVEDKATEGORIER OG MÆNGDER	30
3 MODTAGEKAPACITET	36
3.1 DAKA	36
3.1.1 Danpo	43
3.2 BIOGASANLÆG	43
3.3 FORBRÆNDINGSANLÆG	44
4 BIOLOGISK BEHANDLING	46
4.1 EGNED RÅVARER OG HÅNDTERING	46
4.1.1 Situation i dag	46
4.2 BIOGASPOTENTIALE	47
4.3 HYGIEJNISERING	49
4.4 PROCESMÆSSIGE PROBLEMER	50
4.4.1 Hæmning	50
4.5 UDENLANDSKE ERFARINGER	54
4.6 "KATALOG" OVER MULIGE BEHANDLINGSMETODER	54
4.6.1 Renere produkter - ændret håndtering	54
4.6.2 Procestekniske metoder	56
4.7 FORSØGSRESULTATER	67
4.7.1 Tidligere udførte forsøg	67
4.7.2 Nye forsøg	68
4.8 ANVENDELSE AF SLUTPRODUKT	73
5 TERMISK BEHANDLING	77
5.1 TERMISK BEHANDLING	77

5.2	TRYKSTERILISATION	77
5.3	FORBRÆNDING	77
5.4	FLUIDBED FORBRÆNDING / FORGASNING	78
5.5	FORBRÆNDING PÅ KRAFTVÆRKSLEDER	79
5.6	FORBRÆNDING I CEMENTOVN	79
5.7	EFTEROPVARMNING	80
5.8	PROCESDIAGRAMMER	80
5.9	ØKONOMI FOR FORBRÆNDINGSANLÆG	81
5.10	ANBEFALINGER OG VIDERE ARBEJDE FOR TERMISKE METODER	82
6	UDNYTTTELSE AF FOSFOR	84
6.1	GØDNINGSPRODUCERENDE PROCESSER	84
6.2	PRODUKTION AF GØDNING VED SYREOPLUKNING	84
6.3	OPLUKNING MED SALPETERSYRE	84
6.3.1	<i>Nitrofosfatmetode</i>	85
6.3.2	<i>Mixed acid</i>	85
6.3.3	<i>Kemira-metoden</i>	86
6.4	OPLUKNING MED SVOVLSYRE	86
6.5	OPLUKNING MED FOSFORSYRE	87
6.6	OPLUKNING MED SALTSYRE	87
6.7	GØDNING PÅ BASIS AF KØDBENMEL	88
6.7.1	<i>Kød-/benmel</i>	88
6.7.2	<i>Benmel</i>	88
6.7.3	<i>Calcineret benmel (benaske)</i>	89
6.8	TEKNISKE PARAMETRE	89
6.8.1	<i>Krav til aske</i>	89
6.8.2	<i>Produktionstekniske parametre</i>	93
6.9	SMITTERISIKO	94
6.9.1	<i>Smittereduktion ved opvarmning</i>	94
6.9.2	<i>Kemisk destruktion af prioner</i>	95
6.9.3	<i>BSE-situationen</i>	96
6.10	VALG AF GØDNINGSPROCESSER, HVOR I ASKE KAN INDGÅ	96
6.11	PROCESDIAGRAMMER	98
6.11.1	<i>Procesforudsætninger</i>	98
6.11.2	<i>Oplukningssektion</i>	100
6.11.3	<i>Simpel vask</i>	103
6.12	ØKONOMI FOR GØDNINGSPROCESSER	104
6.13	ANBEFALINGER OG VIDERE ARBEJDE FOR GØDNINGSPROCESSER	106
7	KONKLUSION	108
8	LITTERATURLISTE	110

Bilag A Resultater af udrådningsforsøg

Forord

Nærværende rapport er udført for Miljøstyrelsen under ordningen for Renere Produkter - MST journal nr. 3288-0008.

Rapporten er sammenskrevet af Reto M. Hummelshøj (sammenfatning, kortlægning, modtagekapacitet, biologisk behandling og forbrænding) og Kirsten Sandberg Bloch (termisk behandling og fosforudnyttelse), begge fra COWI, på basis af input fra Slagteriernes Forskningsinstitut (SFI), EnergiGruppen Jylland (EGJ), Per Eichner Consult (PEC); Daka; Biomassegruppen AUC Esbjerg, Lunds Tekniske Högskola, Elsam, Kemira, Vestforbrændingen, Gascon og Green Farm Energy m.fl.

Følgende personer har bidraget til rapporten:

Projektgruppe:

- Reto M. Hummelshøj, COWI (Projektleder)
- Kirsten Sandberg Bloch, COWI
- Claus Lübeck Christensen, COWI
- Jens Dall Bentzen, COWI
- Elisabeth Holst Christensen, COWI
- Finn Hirslund, COWI
- Claus Mosby Jespersen, SFI
- Ole Pontoppidan, SFI
- Poul Ivar Hansen, SFI
- Poul Lühne; EGJ
- Carl Stefansen, EGJ
- Torben Svendsen, EGJ
- Henrik Ørtenblad, EGJ
- Per Eichner, PEC

Ekspertpanel:

- Kjær Andreasen, Teknisk Direktør, Daka
- Jens Bo Holm Nielsen, Afdelingschef, Bioenergi, Sydvestjysk Universitet
- Jes la Cour Jansen, Professor, Lunds Tekniska Högskola

Faglig Følgegruppe:

- Svend Erik Jepsen (Formand)
- Dorte Lau Baggesen, Danmarks Veterinærinstitut
- Hans Jørgen Sørensen, Fødevaredirektoratet
- Dorte Saurland, Fødevaredirektoratet
- Aksel Buchholt, Foreningen af Danske Biogasanlæg
- Lars Baadstorp, Dansk Biogas
- Kjær Andreasen, Daka
- Kate M. Wieck-Hansen, Elsam

- Flemming Mathiesen, Kemira
- Jens Bo Holm Nielsen, Syddansk Universitet
- Jes la Cour Jansen, Lunds Tekniska Högskola
- Reto M. Hummelshøj, COWI, (faglig sekretær)
- Kirsten Sandberg Bloch, COWI
- Claus Mosby Jespersen, SFI
- Poul Lühne; EGJ

Henvendelser vedr. denne rapport kan ske til:

COWI A/S
 Parallelsvej 2
 2800 Kgs. Lyngby

Att.: Reto M. Hummelshøj

Tlf. nr.: 45 97 22 11
 E-post: rmh@cowi.dk

Web: www.cowi.com

Forside foto:

Forbrændingsanlægget i Bremerhaven i Tyskland, der har tilladelse til at forbrænde importeret kødbenmel. (Foto: Reto M.Hummelshøj)

Ansvarsbegrænsning:

Projektgruppen påtager sig ikke ansvar i forbindelse med den videre brug af nærværende rapport i uddrag eller som helhed.

Sammenfatning og konklusioner

Animalsk affald kan omsættes i biogasanlæg

Tidligere forsøg med at udvinde biogas fra svinepulp og kødbenmel har givet dårlige resultater med proceshæmning, skumning, dårlig omsætning og bundfald. Miljøstyrelsen har gennem programmet for renere produkter støttet forsøg med at løse problemet i forbindelse med projektet "Udvikling af metoder til udnyttelse af animalsk affald i biogasanlæg og udvinding af fosfor fra kød- og benmelsforbrænding". En ny opskrift giver nu lovende resultater med højt biogasudbytte uden førnævnte problemer. Hvis sammensætningen af det tilførte materiale er rigtig og det kan fordeles jævnt til biogasanlæggene, kan en stor del af affaldet anvendes til gasproduktion. Væsentligt er at opdele affaldet i fraktioner egnet til forskellige formål.

Baggrund og formål

Animalske biprodukter er tidligere blevet anvendt til foder. Fremkomsten af BSE (kogalskab) har imidlertid skabt tvivl hos forbrugerne om fødevarernes sikkerhed. For at genoprette fødevarerens sikkerheden og forbrugernes tillid samt minimere risiko for BSE og udbrud af mund og klovsyge samt spredning af andre smitsomme dyresygdomme som f.eks. svinepest, har EU besluttet at stramme op om de veterinære bestemmelser om anvendelse af organisk affald i jordbrug og til foder.

EU reglerne om animalske biprodukter (1774/2002):

- Opdeler animalsk affald i 3 kategorier.
- Opstiller behandlingskrav til de 3 kategorier.
- Opstiller anvendelsesbegrænsninger.

Der er nu indført et generelt forbud mod anvendelse af animalske biprodukter til foderfremstilling for husdyr (dyr til produktion med undtagelse af pelsdyr og kæledyr). Der er endvidere forbud mod anvendelse af animalske biprodukter som organiske gødningsstoffer og jordforbedringsmidler, bortset fra husdyrgødning på græsningsarealer.

Der skal nu benyttes termisk eller biologisk behandling afhængigt af den aktuelle affaldstype.

Tabel 0.1 Forenklet oversigt over opdeling og mulig anvendelse.

Kategori 1, (risikomateriale)	• Forbrænding og deponering af asken. • Samforbrænding fx ved cementfremstilling.
Kategori 2, (kasserede og selvdøde dyr)	• Jordforbedring efter biogasanlæg/komposteringsanlæg, skal tryksteriliseres ved 133°C i 20 min. • Forbrænding eller termisk forgasning i godkendte anlæg.
Kategori 2, gødning (mave tarm indhold)	• Gødningsanvendelse direkte eller efter behandling i biogasanlæg/evt. komposteringsanlæg.
Kategori 3, (madaffald)	• Foder til selskabsdyr, pelsdyr og for blod (af ikke drøvtyggere) fisk efter tryksterilisering. • Gødningsanvendelse efter behandling i biogasanlæg / komposteringsanlæg, skal hygiejniseres ved 70°C i 1 time inden tilførsel.

Specificeret risiko materiale (SRM) vil stadig skulle forbrændes fx i cementovne godkendt til formålet, eller i dertil godkendte forbrændingsanlæg med kontrolleret deponering af asken.

Undersøgelsen

Projektet opgør mængder af animalsk affald i forhold til EU forordningen 1774/2002, både med forudsætninger om ændrede arbejdsgange og med forudsætning om en bedre sortering på slagterierne. Der er vurderet mulige disponeringsveje, herunder hvilke mængder og hvilket materiale, der vil kunne føres til biogasanlæg. Dette er belyst med udrådningsforsøg. Der er endvidere beskrevet en række metoder til at løse de problemer der opstår, hvis der tilføres for store mængder materiale til biogasanlæg.

Ud over den del af affaldet, der kan tilføres biogasanlæg er det undersøgt hvordan aske fra forbrænding af svineknogler vil kunne anvendes som råvare til gødningsproduktion.

Hovedkonklusioner

I Danmark slagtes årligt over 24 millioner svin og 0,6 millioner kvæg mv. Dette giver store mængder affald jf. fig. 0.3. I alt producers der i Danmark årligt ca. 1 million ton affald, der er omfattet af EU's regler (1774/2002). Projektets hovedkonklusion er, at der ved øget omhu i opdeling af slagteriaffald relativt let kan findes fornuftige disponeringsveje for dette affald.

- ✓ Det er muligt at udnytte ressourcerne i animalsk affald.
- ✓ Jo mere fedt des bedre i biogasanlæg.
- ✓ Anvendelse til biogas kræver en nøjagtig dosering.
- ✓ Fosfor i aske fra forbrænding fra benmel kan anvendes som råstof til gødningsproduktion.

Nedenfor gives forslag til en prioriteret disponering:

Foder til kæledyr mv.

- Kat. 3 tryksteriliseret til pet food og pelsdyrfoder forud for anden anvendelse. Tryksteriliseret blodmel fra andre dyr end drøvtyggere kan anvendes til fiskedambrug og evt. kyllingefarme under særlige forhold.
- Kat. 2 tryksteriliseret fjerkræmateriale til pelsdyrfoder forud for anden anvendelse.

Biogas og genanvendelse af næringsstoffer

- Kat. 3 hygiejniseret fedt- og flotationsslam til biogas.
- Kat. 2 tryksteriliseret kødpulp fra svine og kyllinger og inkl. selvdøde dyr til biogas maks. 3% af samlet tilført mængde til biogasanlægget.
- Kat. 3 hygiejniseret fiske- og mejeriaffald til biogas.
- Kat. 2 gødning (mave-, tarmindeh. og strøelse) til biogas / mark.

Forbrænding og genanvendelse af aske

- SRM til cementindustri tilført som kødbenmel fx til eksport.
- Dedikeret forbrænding af Kat. 1 og 2 materiale, hvor aske fra forbrænding af Kat. 1 materiale skal deponeres kontrolleret.
- Kat. 2 benmel til N-gas fyrede kraftværker godkendt til affaldsforbrænding med kraftvarmeproduktion og genindfyring af aske og evt. oparbejdning af vasket aske i gødningsindustri.
- Kat. 2 kødbenmel til affaldsforbrænding med kraftvarmeproduktion og deponering af asken.
- Teknisk fedt (askefri) vil kunne brændes til energiproduktion i miljøgodkendte anlæg eller benyttes til fremstilling af biodiesel.

Sammensætning og oprindelse af slagteriaffald (Kat 2.) til biogasanlæg skal være deklareret. Materialet skal tryksteriliseres og vil i praksis hovedsagligt bestå af finthakket svinepulp med højt fedtindhold. Det er vigtigt at knoglerester er frasorteret da et for højt fosforindhold kan give problemer med slutdisponering på landbrugsareal. Hvis den deklarerede biogaspulp kan fordeles relativt jævnt til landets biogasanlæg er der på kortere sigt balance mellem produceret mængde, modtagekapacitet og slutdisponering på landbrugsjord. På længere sigt vil der med øgede mængder dog blive behov for flere biogasanlæg til behandling af affaldsressourcen eller væsentlige ombygninger på eksisterende anlæg, så de kan modtage en større mængde pulp.

Projektet konkluderer at anvendelse af aske fra forbrænding af benmel som råvare i gødningsproduktion er teknisk farbar, men økonomisk vanskelig uden lovbestemte ændringer i omkostningsstruktur mv.

Projekresultater

Slagteriaffald til biogas

Der er en række kvalitetskrav, der bør tages hensyn til i opskriften på en egnet biogaspulp, der kan produceres fra centralt hold af fx Daka for anvendelse på biogasanlæg, generelt. Følgende punkter skal fremhæves.

- ✓ Anvend kun svinemateriale for at undgå BSE risiko og spidse ben fra fjerkræ.

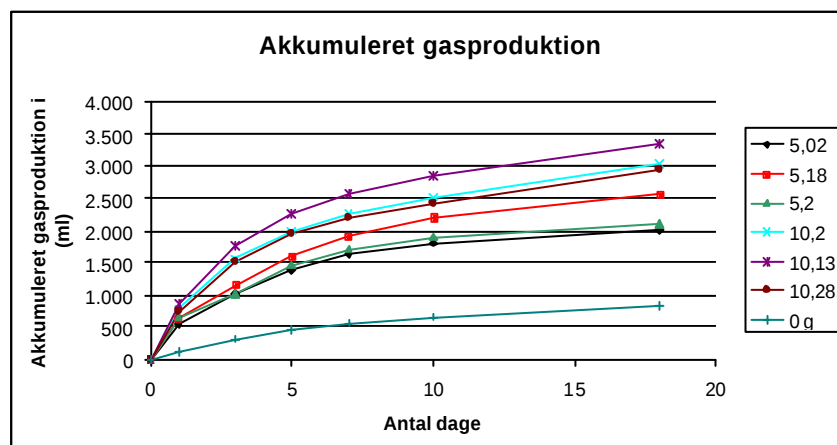
- ✓ Frasortering af knogler for at nedbringe fosforindholdet og for at undgå vanskeligheder med tilstopning i procesanlæg.
- ✓ Minimer brug af blod for at reducere ammoniumhævning.
- ✓ Hold lavt indhold af protein for at reducere risiko for skumning.
- ✓ Findel og bland med fedtholdigt materiale a.h.t. biogasudbytte.
- ✓ Stabiliser evt. med eddikesyre eller lignende.
- ✓ Transport i lukkede beholdere af hensyn til lugt.

Tidligere forsøg har vist at tilførsel af kødbenmel til biogasanlæg giver driftsproblemer og dårligt gasudbytte. Til de nye forsøg er derimod anvendt en særlig biogaspulp leveret fra Daka's fabrik i Løsning som er produceret af hakket svin neddelte og blendet til en meget homogen blanding. Materialet er tryksteriliseret og delvist inddampet. Pulpen er en af de varianter, der forventes at blive udbudt til som standardvare fra virksomheden, og har følgende specifikationer (procent af total vægt):

TS (total tørstof):	65,2%
VS (organisk tørstof):	49,4%
Råfedt:	23,3%
Råprotein:	23,7%
Aske:	15,8%
Andet:	2,4%
Fosfor P:	2,9%
Kulstof C:	32,6%
Total N:	3,79%
C/N:	8,2

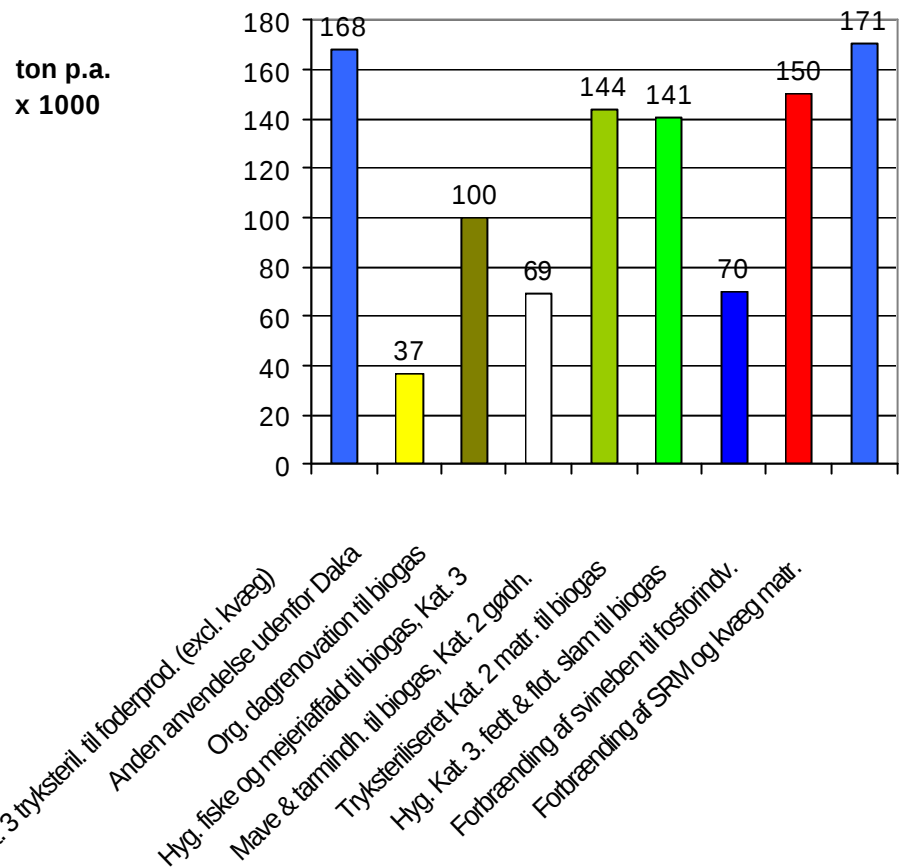
Forsøgsresultater

En dosering på 10-20 g pr. liter tilført materiale gav fornuftige resultater med basismateriale fra Studsgård biogasanlæg. Samlet TS i reaktoren var 5-5,2%. Opholdstiden var 18 dage. Biogasudbyttet for biogaspulpen lå ret konstant. Biogasudbyttet efter 16 dage var ved 10 g dosering omkring 223 l/kg tilført bio-pulp. Der var ingen tegn på hæmning og slut ammonium indholdet lå på ca. 3,5 g/l. Total N på ca. (8,8 g/l). Syretallet (VFA) lå ved forsøgets slutning på ca. 200 mg/l svarende til gode driftsbetingelser. Gasudviklingskurven var flot:



Figur 0.2 Gasproduktion i ml/kg ved forsøg over 18 dage.

Forventet fremtidig disponering af animalske biprodukter



Omtrentlige mængder angivet som råvarer i tons 2002 før afvanding og inddampning.

Figur 0.3 Mulig fremtidig disponering af animalske biprodukter.

Udnyttelsen af fosfor ressourcen

Projektet gennemgår de forskellige gødningsprocesser, hvor man kan forestille sig asken anvendt som P-kilde, det vil sige at asken kan erstatte råfosfat i den oplukningsproces, som mange gødningsprocesser starter med. Projektet vurderer, at asken kan erstatte råfosfat i samtlige processer, forudsat de nødvendige receptkorrektioner foretages.

Markedsforholdene og nyttevirkningen af undersøgelsen for gødningsindustrien er faktorer, man må tage hensyn til, og på denne baggrund er der foretaget en nærmere vurdering af gødningsproduktion med salpetersyre, der er den eneste syre, som gødningsindustrien i dag selv producerer i Danmark.

Anbefaling til videre arbejde med fosforudnyttelse

Projektet anbefaler at arbejdet med en godkendelsesprocedure for anvendelse af aske fra forbrændingsanlæggene fremmes mest muligt. Uden dokumentation for, at forbrændingsprocesserne fører til en prionfri aske, skal man næppe vente, at gødningsindustrien eller andre, som kan udnytte fosforindholdet, vil aftage aske hidrørende fra kategori 1-materialer eller som ved en fejltagelse kan være blandet med kategori 1-materialer.

Når myndighedernes accept af asken foreligger, kan man formentlig få sat skub i den tekniske udvikling af processerne. Her kan nævnes en række af de tekniske faktorer, som vi anbefaler, at der arbejdes videre med:

- Reduktion af kloridindholdet ved vask af asken med vand f.eks. ved hjælp af et båndfilter.
- Muligheder for udnyttelse eller recirkulation af kloridholdigt skyllevand.
- Analyse af askens fluorid indhold.
- Forsøg med opløsning af aske, herunder undersøgelse af tilgængeligheden af fosforindholdet og syreforbrug.
- Analyse af syreuopløselig rest og undersøgelse af sedimenteringsegenskaber.
- Bestemmelse af gasemission ved oplukningsprocessen.
- Løsning af de kosmetiske problemer (uønsket mørk aske).
- Fysiske og tekniske undersøgelser af askens egenskaber i procesudstyret. Her kan parametre som partikelfordeling, specifik overflade, massefylde, skræntvinkel og askens smeltepunkt have betydning for, hvorledes asken vil "opføre sig" i gødningsindustriens produktionsapparat: transportbånd, snegle, siloer, vægte etc., og om asken vil forårsage store støvgener i fabrikken.

Summary and conclusions

As part of the programme for development of cleaner products, the Danish Environmental Protection Agency under the Danish Ministry of Environment has financed the project: Development of Methods for Utilisation of Animal Waste in Biogas Plants and Extraction of Phosphorus from Incineration of Meat and Bone Meal. The project reference number is M 3288-0008. The project report is written in Danish.

The project was carried out by COWI (consulting engineers) in collaboration with SFI (Danish Meat Research Institute), EnergiGruppen Jylland (municipal works) and P.E. Consult (phosphorus chemistry).

Scope of the project

With background in the conditions in Denmark, the present report maps the amounts of animal by-products of various origin and category, with data characteristics of the different waste types in relation to European Community Regulation 1774/2002 (health rules concerning animal by-products not intended for human consumption). The report describes different ways of treating this waste, e.g. biological treatment in biogas plants, rendering, incineration, co-incineration and use of phosphorus from ash as feedstock for production of artificial fertilisers.

The report anticipates improved work flow and sorting at the abattoirs. Possible methods of disposal have been evaluated, among these the questions of fractions and how much can be used in biogas plants have been considered. The biogas route has been investigated in depth, supported by tests of co-fermentation of meat pulp together with manure and other organic industrial wastes. The report also describes how to deal with possible problems that may occur if too much meat pulp is added to biogas plants.

Besides investigating the material that can be added to biogas plants, it has been investigated how ashes from incineration of bones from pigs can be used as phosphorus feedstock in the production of artificial fertiliser.

Main conclusions

In Denmark, the annual meat production presently amounts to about 24 million pigs and 0.6 million cattle. The total amount of waste covered by the EU Regulation 1774/2004 is about 1 million tonnes per year.

The main conclusion is that with a better sorting of the waste, it is possible to find suitable disposal routes for the waste generated in Denmark, and, further, that:

- It is possible to use the resources in the animal waste.
- The fat content is important, especially for use in biogas plants.
- The use in biogas plants requires precision in relation to dosing and monitoring.

- Phosphorus in ashes from incineration of bone meal can technically be used as feedstock for production of artificial fertiliser.

The project suggests the following prioritisation in the disposal of animal waste:

Fodder

- Sterilised Category 3 material for pet food and added to fodder for breeding furred animals. Sterilised blood meal from non-ruminant animals can be used as fodder at fish farms.
- Sterilised Category 2 poultry material can be added to fodder for breeding furred animals.

Biogas and reuse of nutrients

- Hygienised flotation sludge for biogas plants.
- Sterilised meat pulp from pork and poultry, including dead pigs, to biogas plants (normally max. about 3% of total added material).
- Hygienised fish and dairy material to biogas plants.
- Category 2 manure material to biogas or direct use on fields.

Incineration and reuse of ashes

- Specified Risk Material (SRM) as meat and bone meal to cement industry.
- Dedicated incineration of Category 1 and 2 materials with controlled disposal of ashes.
- Category 2 bone meal to be incinerated at natural gas fired power plants approved for waste incineration with re-incineration of milled bottom ash. Energy used for combined heat and power production.
- Category 2 meat and bone meal for co-incineration of waste incineration plants with controlled disposal of the ashes.
- Incineration of technical fat for energy production in environmentally approved plants or use as feedstock in the production of bio-diesel.

For further information, contact Project Manager Mr. Reto M. Hummelshøj on rmh@cowi.dk.

1 Indledning

1.1 Historisk tilbageblik

Animalske biprodukter, som ikke kunne anvendes til konsum, er tidligere i vid udstrækning blevet anvendt til foder. Fremkomsten af BSE (Bovine Spongiform Encephalopathi også kaldet kogalskab) har imidlertid skabt tvivl hos forbrugerne om fødevarernes sikkerhed, og den manglende forbrugertillid til oksekød fik salget af oksekød til at falde kraftigt. For at genoprette fødevarerens sikkerheden og forbrugernes tillid samt minimere risikoen for tilfælde af BSE og udbrud af mund og klovsyge samt spredning af andre smitsomme dyresygdomme som f.eks. svinepest, har EU besluttet at stramme op omkring de veterinære bestemmelser om anvendelse af organisk affald i jordbrug og til foder.

Dette har ført til nogle nye affaldsstrømme af animalsk affald, som skal håndteres og behandles enten termisk og/eller biologisk afhængigt af den aktuelle affaldstype.

Det historiske tilbageblik er følgende:

I 1986 findes de første tilfælde af køer med BSE i UK.

I 1990 forbydes brugen af kødmel med drøvtyggerprotein til køer i Danmark. Forbudet blev gennemført på landbrugets initiativ.

I 1994 forbydes al brug af proteiner fra pattedyr i foderet til kvæg i EU. DK undtages fra dette forbud frem til januar 1997.

I 1996 konstateres der i UK en sammenhæng mellem BSE og den nye variant af Creutzfeldt-Jakob sygdommen hos mennesker.

I 1997 indgås frivillig aftale i landbruget om ikke at benytte animalsk fedt i kvægfoder i Danmark.

Den 28. februar 2000 blev det første tilfælde af BSE hos en dansk født ko fundet i Danmark.

Prioner kan forekomme i nervevæv hos køer. Derfor betragtes kraniet med hjerne og øjne, rygmarg, mandler og tarmen efter maven (fra tolvfingertarm til endetarm) inklusive tarmkrø som Specificeret Risiko Materiale (SRM). Med virkning fra 1. marts 2000 blev der påbudt fjernelse af SRM ved slagting af drøvtyggere i Danmark, samt gennemført regler for bortskaffelse af SRM

EU's Landbrugsministerråd besluttede den 4. december 2000 at forbyde animalske proteiner i foderet til alle levnedsmiddelproducerende dyr (svin, heste, kreaturer, fjerkræ, fisk osv.) såvel inden for EU som til eksport i en periode på 6 måneder, der senere er blevet forlænget.

Den 1. marts 2001 blev det også forbudt at benytte fedt fra selvdøde dyr i foder.

Den 1. april 2001 blev også rygsøjlen en del af SRM fraktionen. Indtil udgangen af 2003 er der kun fundet 12 tilfælde af BSE smitte i Danmark.

1.2 Lovgivningsmæssige forhold

I dag gælder følgende regelsæt for håndtering af animalsk affald:

- EU-forordning om sundhedsbestemmelser for animalske biprodukter, som ikke er bestemt for konsum (1774/2002). (Health rules concerning animal by-products not intended for human consumption)[3].
- Veterinære regler fra Fødevareministeriet:
Bekendtgørelse nr. 355 af 19. maj 2003 om bortskaffelse og forarbejdning af animalske biprodukter [59].
- Miljøregler fra Miljøstyrelsen:
Bekendtgørelse nr. 623 af 30/06/2003 om anvendelse af affald til jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen) [56].

Bekendtgørelse nr. 162 af 11 marts 2003 om anlæg, der forbrænder affald(Affaldsforbrændingsbekendtgørelsen) [58].

Et veterinært overvågningsprogram sikrer, at alt kvæg over 30 måneder, der slagtes, skal testes for BSE (Bovine Spongiform Encephalopathi).

EU forordningen om animalske biprodukter (1774/2002):

- Opdeler animalsk affald i 3 kategorier (se også afsnit 3.1).
- Opstiller behandlingskrav til de 3 kategorier.
- Opstiller anvendelsesbegrænsninger.

Der er generelt forbud mod anvendelse af animalske biprodukter til foderfremstilling for husdyr (dyr til produktion med undtagelse af pelsdyr).

Der er forbud i henhold til (EF) 1234/2003 [60] mod anvendelse af animalske biprodukter bortset fra gylle/gødning på græsningsarealer, hvilket er problematisk i sammenhæng med biogasanlægsanlæg. Der arbejdes på at indføre en karenstid i stedet.

Anlæg, der forbrænder kød- og kødbenmel, forventes at skulle VVM screenes. Anlæggene betragtes som affaldsforbrændingsanlæg og skal miljøgodkendes. Endvidere skal de veterinære myndigheder vurdere valg af forbrændingsløsning, ligesom der vil blive stillet krav til egenkontrol af tilført brændsel.

Ud over at stille krav til behandling og anvendelse åbner EU forordningen op for, at man igen kan anvende visse animalske biprodukter til foder. Det er et krav, at råvarerne er lavet af godkendte dele fra godkendte dyr.

Endelig skal det bemærkes, at der er nu nye veterinære regler om opdeling i ren og uren zone på biogasanlæg afhængig af type tilført animalske affald.

1.3 Projektets formål

Det er dette projekts formål at undersøge og udvikle

- metoder for at tilføre animalsk affald (fra slagterier) til biogasanlæg og herved bidrage til de mål, der fremgår af Affald 21 og overholde EU's regler om anvendelse af animalske biprodukter og udbringelse heraf (e1)

samt undersøge og udvikle

- metoder for at genanvende den naturlige fosforressource i animalsk affald, der ikke anvendes til foder eller tilføres biogasanlæg (e2).

2 Kortlægning af affaldsmængder

2.1 Kategorisering

2.1.1 Kategorisering af animalske biprodukter iht. EU-forordning

Animalske biprodukter opdeles i følgende kategorier:

Tabel 2.1 Opdeling af animalske biprodukter (ikke 100% udtømmende i forhold til biproduktforordningen).

Kategori 1	• SRM *). • Materialer fra TSE **) angrebne eller mistænkte dyr. • Materialer fjernet fra spildevand fra virksomheder, hvor SRM udtages / håndteres. • Selvdøde drøvtyggere. • Kæledyr, zoo-dyr og forsøgsdyr. • Alle blandinger hvori Kat. 1 forekommer. • Madaffald fra internationale transporter.
Kategori 2	• Kasserede dyr og dele heraf. • Mink og selvdøde grise og fjerkræ samt heste. • Alt materiale som hverken er Kat. 1 eller 3. • Alle blandinger hvor Kat. 2 og 3 forekommer. • Materialer frasigtet fra spildevand fra svine- og fjerkræslagterier ved primær rensning.
Kategori 2, gødning	• Gødning og mave-tarmindhold .
Kategori 3	• Sunde dele fra sunde dyr; dele godkendt til human konsum. • Dele fra godkendte slagtedyr som kasseres uden at være inficerede med sygdomme som kan spredes til mennesker eller dyr. • Tarmsæt inkl. indhold fra fjerkræ godkendt AM (Ante Mortem; levende). • Blod fra svin og fjerkræ godkendt AM. • Blod fra kreaturer godkendt PM (Post Mortem; efter slagting) må ikke anvendes til foder. • Svinebørster og fjer fra dyr godkendt AM • Råmælk og fisk.

*) SRM = Specificeret Risiko Materiale; fx tarme inkl. tarmkrøs fra kreaturer uanset alder, samt kranium med hjerne og øjne, rygmarv, rygsøjle og mandler fra drøvtyggende dyr over 12 måneder

**) TSE = Transmissible Spongiform Encephalopathi; herunder kogalskab (BSE).

Anvendelserne af kategorierne er som følger (forenklet opstilling):

Tabel 2.2 Mulig anvendelse af animalske biprodukter.

Kategori 1	• Forbrænding og kontrolleret deponering af asken. • Samforbrænding f.eks. i forbindelse med cementfremstilling (indbygning i slutprodukt).
Kategori 2	• Jordforbedring efter behandling i biogasanlæg/ komposteringsanlæg, skal tryksteriliseres inden tilførsel til anlæggene. • Forbrænding / termisk forgasning i godkendte anlæg • Pelsdyrfoder efter tryksterilisering.
Kategori 2, gødning	• Gødningsanvendelse direkte eller efter behandling i biogasanlæg/evt. komposteringsanlæg (hvis der er risiko for spredning af smitsomme sygdomme kan myndighederne forbyde direkte udbringning af gylle).
Kategori 3	• Foder til selskabsdyr, pelsdyr og for blod (af ikke drøvtyggere) fisk efter tryksterilisering. • Gødningsanvendelse efter behandling i biogasanlæg / komposteringsanlæg, skal hygiejniseres inden tilførsel til biogasanlæg eller komposteringsanlæg • Forbrænding / termisk forgasning i godkendte anlæg.

Tryksterilisering skal ske under kontrollerede tid- og temperaturforhold, og med materialet skal følge et handelsdokument.

2.1.2 Affald med prionrisiko (Kat. 1)

Prioner er fejldrejede proteiner kan medføre sygdomme i centralnervesystemet som BSE (kogalskab) hos kvæg, CWD (Chronic Wasting Disease) hos hjort og elg, Scrapie hos får og geder samt FSE (Felins syge) hos kat. Meget tyder på, at BSE ved indtagelse af risikoprodukter kan overføres til mennesker, hvor den medfører en sygdom hos mennesker, vCJD, der minder om CJD (Creutzfeldt Jacobs Disease). Der er tale om en sygdom der - i modsætning til tidligere set - angriber forholdsvis unge mennesker, men med en lang inkubationstid (tiden fra man smittes til sygdommen bryder ud er betydelig). Det er vigtigt at notere sig, at risiko for overførsel af BSE-prioner alene er forbundet med affald forbundet med kvæg, mens øvrige drøvtyggere (f.eks. hjort, elg, lam og ged) er under observation.

Risikoen er relateret til SRM materiale dvs. hjerne, rygmarv, kirtler, tarme inklusive krøs mv., som fjernes i slagteprocessen. Der er derfor indført krav om, at alt Kat. 1 materiale skal destrueres. Forarbejdningen af SRM og andet Kat. 1 materiale er hidtil sket på Daka i Randers.

2.1.3 Affald uden prionrisiko (Kat. 2 og 3)

Animalsk affald fra rene svine- og fjerkræslagterier er ikke forbundet med risiko for overførsel af BSE-fremkaldende prioner.

Materialet fra svine- og fjerkræslagterier kan dog indeholde andre sygdomsfremkaldende smitstoffer (bakterier, vira, parasitter) f.eks. svinepest eller New-Castle Disease, og det seneste udbrud af mund- og klovsyge i England skete, fordi dyr blev foderet med ubehandlet madaffald. Tryksterilisering inaktiverer dog smitstofferne. Et af de mest termostabile

smitstoffer er porcint parvovirus, men dette inaktiveres i biogasanlæg under de nye proces- og hygiejniseringskrav, som er anført i den nye forordning. Kat. 3 materiale vil kunne anvendes til foderbrug i overensstemmelse med (EF) 1234/2003 (fodringsforbudet).

2.2 Slagteriaffald

Når der i dette projekt refereres til animalsk affald, menes der affald fra slagterier, idet disse leverandører tegner sig for langt størstedelen af det animalske affald.

Anvendelse af madaffald fra storkøkkener og detaileddet behandles i et selvstændigt projekt under Miljøstyrelsens program for renere produkter.

Definitioner for betegnelser i den efterfølgende tabel:

- Ved materiale til biogas forstås mave/tarm indhold samt evt. slam.
- Ved gødning forstås gødning og strøelse fra stalde og transportvogne.
- Ved spiseblod forstås i dag blod, der er udtaget til humant konsum.
- Biprodukter omfatter det egentlige animalske affald bestående af kødrester, fedt, sener, knogler osv. under et.
- SRM-materiale er Specificeret Risiko Materiale.

Mængderne er opgjort som omtrentlige totale mængder af animalske biprodukter. Der er ikke taget stilling til, hvilke varer der kan/vil blive tilført biogasanlæg.

Mængder er opgjort for svin, kreaturer og fjerkræ. Antallet af lamme- og fåreslagtninger i Danmark er i denne sammenhæng helt ubetydeligt.

Svineslagterier

Den geografiske fordeling af animalske affaldsprodukter fra svineslagterier fordelte sig i finansåret 2000/2001 som følger:

Tabel 2.3 Animalske biprodukter fra svineslagterier.

Svineslagterier tal fra 00/01 Kilde: Grønne regnskaber

	Slagtninger	Bi-produkter	Bioogas	Spiseblod	Gødning
	styk	tons	tons	tons	landbrugsjord
Bjerringbro	811205	12455	9662		
Blans	1541907	21484	10386	3290	
Esbjerg	1218606	16709	12766	2201	518
Grindsted	787881	10977	5727		
Herning	1371295	18252	5732	2116	
Hjørring	682376	14011		6007	730
Holstebro	733244	12625	4171		
Horsens	1309268	14175	877		
Nørresundby	978269	15465	1770	1810	
Odense	1782529	27184	2756	2382	
Ringsted**	3062974	50672	19334	2726	
Rønne	430207	7175			
Skive*	1254266	30572	8634		1390
Skærbæk	199342	9085	1865		505
Struer	719691	10033	2648		159
Sæby**	1476260	23591			4968
Thisted	1250000				
Vojsens	784886	13057	3563		
Sum	20394206	307522	89891	20532	8270

*) Biprodukttal er incl. bidrag fra 74669 kreaturer

**) Incl. søer/orner (1 so = 2 grise)

Mindre slagtehuse

Ud over de ovenfor nævnte tal blev der på de mindre slagtehuse foretaget ca. følgende antal slagtninger.

Tabel 2.4 Antal årlige slagtninger på mindre slagtehuse.

Andre:	ca. slagtninger
Brørup	200000
Jyderup	85000
St. Lihme	75000
Glumsø	75000
Års	55000
Hvidebæk	40000
Kogtved, Svendborg	40000
Skalbølle	25000
Skovgaards, Ringe	15000
sum	610000

Kreaturslagterier

Den geografiske fordeling af animalske affaldsprodukter fra kreaturslagterier fordelte sig i kalenderåret 2001 som følger:

Tabel 2.5 Animalske biprodukter fra kreaturslagterier.

Kreaturslagterier Kilde: grønne regnskaber samt Køddbranchens Fællesråd (2001)

	Slagtninger styk	Bi-produkter tons	Biogas tons	Gødning landbrugsjord
Holstebro	68511	13728	3543	
Tønder	82538	11781	5680	237
Aalborg	68115	12574	6137	
(Skive)	74669	(medtaget under svin)		
Århus Slagtehus	60000			
NV-OX	45000			
Vejle Eksportslagteri	33500			
Aalestrup, Hjalmar Niels	25887			
Herlufmagle	23509			
Hadsund	16509			
Kjellerup	11166			
Års	6770			
Sum	516174	38083	15360	

Andre, ca. 46000 stk.
Kolding (lukket) 12000 stk.

Lam og geder

Der slagtes i Danmark ca. 100.000 lam årligt med en levende vægt på omkring 45 kg og en slagtet vægt på omkring 20 kg eller 2000 tons årligt. Biprodukter fra lammeslagtninger er af samme størrelsesorden og udgør en ubetydelig del i forhold til øvrige kilder. Endvidere har Danish Crown for nylig stoppet med lammeslagtning i Kolding og tilbyder i stedet slagtning i Husum i Tyskland. Øvrige slagtninger sker typisk på kreaturslagterier.

Fjerkræ

Totalmængder er opgjort eksklusive DANPO's nuværende anvendelse til pelsdyrsfoder etc., som udgør mindre end 40% af den totale mængde.

Mulige fraktioner ved optimal opdeling på slagteriet:

Tabel 2.6 animalske biprodukter fra fjerkræslagterier.

Fraktion, fjerkræ	g pr. kylling	ton pr. år	Kategori
Blod	70	6.000	3

Fjer	170	14.000	3
Fyldte tarmsæt	150	12.000	3
Fødder	50	4.000	3
Diverse fra slagtning og forædling (Kat. 3)	50	4.000	3
Diverse fra slagtning og forædling (Kat. 2)	140	11.000	2
Kasserede dele	20	1.600	2
Sum af ovenstående *)	650 *)		

*) Heraf leveres i dag ca. 75% som Kat. 2 og 25% som Kat. 3.

2.2.1 Udviklingstendens

Blandt andet som følge af BSE er forbruget af oksekød i EU faldet. Forbruget faldt i 1996, genvandt det meste indtil 1999, hvorefter forbruget igen faldt kraftigt. Forringet økonomi i mælkeproduktionen og dårligere afsætning af oksekød har bevirket et fald i de samlede antal slagtninger af kvæg i Danmark.

Tabel 2.7 Udviklingen i kreaturslagtninger.

Slagtninger (1000 stk.)	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Kvæg	722	698	654	621	602	595

Modsat er antallet af svin steget, og der slagtes i 2002 ca. 22 millioner svin, hvor der i 1990 kun slagtedes ca. 16 millioner svin.

Tabel 2.8 Udviklingen i svineslagtninger.

Slagtninger (mio. stk.)	1996	1997	1998	1999	2000	2001
Svin	18,8	19,1	20,4	20,2	20,1	20,9

Ovenstående opgørelse refererer til antal slagtninger på Danske Slagteriers medlemsvirksomheder. Dertil kommer ca. 800.000, svin som slagtes på mindre virksomheder.

Kødfoderfabrikker

I Danmark modtages hoved parten af det animalske affald af Daka til videre behandling, se også kapitel 3. Affaldet kommer hovedsagligt fra svineslagterier og kreaturslagterier. Kyllinge affald udgør en relativ lille mængde og behandles for en stor del af Rose og Danpo. Hovedråvaretilførsler til Daka's kødfoderfabrikker i de seneste år har været:

Tabel 2.9 råveretilførsel til kødfoderfabrikker (Daka).

Ton	1996/97	1997/98	1998/99	1999/00	2000/01	2001/02
Slagteri biprodukter *)	400.290	441.113	502.318	456.563	455.000	613.856
Selvdøde dyr	75.283	87.424	96.800	96.858	97.000	121.030
Blod	61.901	64.568	66.040	64.342	55.000	49.663
*)SRM heraf	-	-	-	12.000	>30.000	>95.000

*) Ikke oplyst

Hertil kommer 128.000 tons per år fra Kambas, som nu er overtaget af Daka.

Variation i råvaretilførsel skyldes primært forskelle i hvor høj grad biprodukter udnyttes på slagterierne, hvilket igen er afhængigt af markedspriserne.

I 1999/00 var starten på indsamling af SRM-materiale, og flere ting er ændret siden, blandt andet reglerne angående tarmsættet, og i dag ligger tilførslen af SRM-materiale fra slagterierne på omkring 30.000 t. Hertil kommer blandet materiale, selvdøde dyr fra husdyrbestande og kæledyr samt forsøgsdyr, så den samlede mængde SRM-materiale bliver væsentligt større.

2.3 Animalsk affald fra andre kilder

Følgende andre varer indgår i ”animalske biprodukter” og skal bortskaffes i henhold til EU-forordningen.

Tabel 2.10 Andre animalske biprodukter .

Fraktion, andre varer	ton pr. år	Kategori
SRM fra detailbutikker	31.000	1
Selvdøde drøvtyggere	31.000	1
Selvdøde svin / fjerkræ	72.500	2
Mink	15.000	2
Kæledyr og forsøgsdyr	ukendt	1
Slam fra spildevandsrensning på svine- og fjerkræslagterier	ukendt	2
Slam fra spildevandsrensning på kreaturslagterier	ukendt	1
Madaffald fra internationale transportere	ukendt	1
Madaffald fra Danmark	20.000 *)	2/3

*) Tidligere del af 'spise til grise' ordningen, som ikke forventes forlænget

Ud over de animalske biprodukter fra slagterier, som nærværende projekt fokuserer på, er der en skønsmæssigt følgende mængder øvrigt organisk (animalsk) affald:

Tabel 2.11 Øvrigt organisk affald.

Affaldstyper	ton per år (vådvægt)	Kategori
Organisk dagrenovation	700.000*)	3
Fiskeaffald	57.000	3
Fedt og flotationsslam <6mm	70.000	(til biogas) ***)
Mejerier	20.000	3
Garverier	3.000	2
Mucosa **)	30.000 - 45.000	3

*) Heraf sorteres 100.000 tons i dag og forventet 150.000 tons i 2004.

**) Slimhinder fra tarme som benyttes fremstilling af enzymproduktet Heparin (hindrer blodet i at koagulere). Materialet er normalt konserveret med svovlsyre, hvilket gør det uegnet for videre anvendelse herunder tilførsel til biogasanlæg, selv om det i et vist omfang modtages.

***) Ikke omfattet af biproduktforordningen men reguleret af slambekendtgørelsen.

2.4 Karakterisering / sammensætning

Råvarer

En typisk sammensætning af råvarer (baseret på tal fra svineslagterier) er angivet i nedenstående tabel:

Tabel 2.12 Typisk råvaresammensætning (oplyst fra Daka).

Råvare	Vand kg/ton	Protein kg/ton	Fedt kg/ton	Aske kg/ton	Andet (kulhydrat) kg/ton
Pulp, madaffald	700	72	87	47	94
Pulp, tarmvarer	740	120	130	10	0
Svineblod	820	160	10	10	0
Kødbenmel (50% protein)	30	500	130	280	60
Pulp, hakket svin	600	150	160	80	10

Rent svinefedt benyttes som foder og til tekniske formål og er en normal handelsvare med stor efterspørgsel (og er derfor ikke medtaget som biprodukt).

Råvarens indhold af N og P er typisk:

Tabel 2.13 N og P indhold oplyst fra Daka.

Råvare	N-indhold kg N /ton	P-indhold kg P /ton
Pulp, madaffald	12	3
Pulp, tarmvarer	19	3
Svineblod	26	
Kødbenmel (50% protein)	80	50
Pulp, hakket svin	24	13
Pulp, hakkede hele svin ved 50% TS	30	25

I ben/knogler er calciumindholdet ca. 1,5-2 gange fosforindholdet.

Det ses, at blod og specielt kødbenmel har et højt nitrogenindhold pr. ton råvare, som vil virke hæmmende på en eventuel omsætning i et biogasanlæg. Dette følger af et højt proteinindhold, som endvidere erfaringsmæssigt giver problemer med skumning.

Kødbenmel

Kødbenmel kan være sammensat på mange måder, nogle eksempler er givet nedenfor:

Kødmel - 1

Mel fremstillet af knoglefattigt slagteaffald. Fri for hår, børster, fjer, horn, klove, skind og mave- og tarmindehold. Mindst 60% råprotein (67% i TS, total tørstof), vandindhold højst 10%, fosfor højst 4% (4,45% af TS) og fedt højst 12% (13,4% af TS).

Kødbenmel -2

Mel fremstillet af knoglerigt slagteaffald. Fri for hår, børster, fjer, horn, klove, skind og mave- og tarmindehold. Mindst 45,5% råprotein (50% i tørstof),

vandindhold højst 10%, fosfor højst 9% (10% af TS) og fedt højst 10% (11% af TS). Råaske maks. 40%.

Kødbenmel -3

Mel fremstillet af hele dyr eller rester deraf. Praktisk fri for hår, børster, fjer, horn, klove, skind og mave- og tarmindehold. Råprotein henholdsvis 50%, 55%, og 60%. Maksimalværdier: Vand: 10%, fedt 10% og fosfor 5%.

Benmel med limvand - 4

Råprotein mindst 24% (over 26,5% i TS). Fosfor mindst 8% (8,9% i TS). Maksimalt 10% vand og 4% fedt (4,45% i TS).

Benmel, hvor limvand ikke er tilbageført - 5

Indeholder ca. 7% råprotein og 1% fedt. Mindst 13% fosfor (14,5% i tørstof).

Kemisk sammensætning:

Den kemiske sammensætning og mineralindhold for de fem typer benmel er angivet nedenfor som vejledende værdier:

Tabel 2.14 Sammensætning af fem typer benmel.

Element	Kødmel - 1		Kød-benmel - 2		Kød-benmel - 3		Benmel - 4		Benmel - 5		enhed
	højst	lavest	højst	lavest	højst	lavest	højst	lavest	højst	lavest	
K	7	1	10	2	4	3	8	1	2	-	gram/kg
Na	19	1	36	2	13	0	22	3	5	-	gram/kg
Cl	18	0	59	2	9	-	12	2	-	-	gram/kg
Fe	1230	460	2870	218	17	-	1700	2	-	-	mg/kg
Mn	30	10	49	2	48	43	116	2	100	10	mg/kg
Zn	127	77	123	69	-	-	83	-	-	-	mg/kg
Cu	12	-	77	2	23	11	14	3	61	5	mg/kg
Co	0	-	0	0	-	-	0	0	2	0	mg/kg
Fe	166	1	234	45	-	-	771	180	682	316	mg/kg
Cr	1	-	1	1	-	-	-	-	-	-	mg/kg
Ni	6	-	2	1	-	-	5	-	-	-	mg/kg
Al	150	-	500	170	-	-	353	-	-	-	mg/kg
B	11	-	4	2	-	-	-	-	-	-	mg/kg
Pb	11	-	1	1	-	-	-	-	-	-	mg/kg
V	-	-	0	-	-	-	1	-	-	-	mg/kg

Indholdet af tungmetaller for de oplyste værdier er langt under slambekendtgørelsens grænseværdier (som pr. kg tørstof udgør: 0,8 mg Cd; 0,8 mg Hg; 120 mg Pb; 30 mg Ni; 100 mg Cr; 4.000 mg Zn; 1000 mg Cu og 25 mg As). Værdier for cadmium og kviksølv er ikke oplyst.

Hvor:

<i>Kødmel -1</i>	Råvarer: Knoglefattigt slagteaffald. 60% råprotein.
<i>Kødbenmel -2</i>	Råvarer: Knoglerigt slagteaffald. 45% råprotein.
<i>Kødbenmel -3</i>	Råvarer: Hele dyr eller rester af hele dyr. 45/50/55% råprotein.
<i>Benmel - 4</i>	Med limvand
<i>Benmel - 5</i>	Uden limvand

Knogler

Hårdt affald (svineben) kan f.eks. bestå af:

Fedt	15%
Protein	18,5%
Aske	14,5%
Vand	52%

Dette er et øjebliksbillede eller en stikprøve, om man vil.

Den uorganiske del af knogler (askesammensætningen) består typisk af:

Calciumfosfat	85%
Magnesiumfosfat	1,5%
Calciumfluorid	0,2%
Calciumcarbonat	10%
Alkalisalte	2%

Det ses, at knogleaske har et højt indhold af fosfor, som gør den interessant i gødskningsammenhæng specielt i udlandet. I Danmark er der dog problemer med at finde landbrugsarealer, hvor der på grund af de nuværende harmonikrav (forhold mellem dyreenheder og udbringsningsareal) kan tilføres mere fosfor. Calciumfosfat er endvidere svært tilgængelig for planter.

Daka har tidligere estimeret fosfor ressourcen i animalske biprodukter til ca. 12.000 ton per år.

I udlandet benyttes ben også til gelatineproduktion.

Blodmel

Ved inddampning af blod til blodmel som proteinfoder opnås et produkt med følgende sammensætning:

Råprotein	87%
Råfedt	0,5%
Vand	8,5%
Aske	5%
Jern	0,25%

Mineraler	ppm
Na	8900
K	7900
Fe	2500
P	2300
Ca	410
Mg	30
Zn	14
Cu	6,7
Mn	1
Se	0,8

2.5 Mulig ændret håndtering på slagterier

Svineslagterier

Mulige fraktioner ved optimal opdeling på slagteriet. TS angiver tørstof (Total Solids), heraf antages det organiske tørstof, VS (Volatile Solids) at udgøre 80-95% (lavest for hakket svine pulp).

Tabel 2.15 Fraktionering af svineprodukter.

Fraktion, svin	kg pr. gris	ton pr. år	ton TS pr. år	Kategori
Hårde varer (knogler fra udbening)	7,5	150.000 ***)	72.000	3
Bløde varer, diverse 30% TS	0,91	18.200	5.460	3
Bløde varer, tarmmateriale 26% TS	1,00	20.000	5.200	3
Kasserede dele etc. 40% TS	3,29	65.800	26.320	2
Sum af ovenstående **)	12,7 **)	254.000	108.980	
Gødning og mave-tarmindhold etc. (sigtegods)*) 18% TS	ca. 7 *)	140.000	25.200	2, gødning
Gødning med strøelse, anslået 9% TS	1,0	20.000	1.800	2, gødning
Blod rest 18% TS	2,4	48.000	8.640	3
Børster	0,85	17.000	17.000	3

*) Leveres i dag til biogasanlæg

**) Af denne mængde leveredes ved projektets start ca. 25% som Kat. 3 og 75% som Kat. 2. Ved udgangen 2003 er fordelingen snarere 50/50.

***) Heraf er ca. 40% svinetæer og uafpillede hoveder.

Kreaturslagterier

Det bør undersøges, om ”markedet” vil acceptere udspreddning af biogas-slam indeholdende materiale fra drøvtyggere, selv om biprodukt-forordningen tillader dette. Efterfølgende mængder er opgjort ud fra de nuværende muligheder for opdeling på slagterierne.

Tabel 2.16 Fraktionering af kreaturprodukter **).

Fraktion, kreaturer	kg pr. kreatur	ton pr. år	ton TS pr. år	Kategori
Skærebene	10	5.000	3.000	3
For- og bagben (klove)	7	3.500		2
Kasserede dele og kroppe 40% TS	0,8	400	160	2
Diverse biprodukter	44	22.000	6.600	2

30% TS				
Talg	10	5.000	4.500	2
90% TS				
Blod	20	10.000	1.800	2
18% TS				
SRM	60	30.000	15.000	1
Sum af ovenstående	152	75.900	33.060	
Gødning og maveindhold *)	54	27.000	5.640	2, gødning
22% TS				

*) Leveres allerede i dag for størstedelen (ca. 16.000 tons) til biogasanlæg/landbrug.

**) Af sikkerhedsmæssige grunde - for at undgå sammenblanding - har Daka valgt at betragte alt indsamlet slagteaffald fra drøvtyggere som Kat. 1 materiale, bortset fra gødning og mavetarmindehold.

Mulig optimering

Af biprodukter fra kreaturslagterier eksklusive gødning og mavetarmindehold fordeler mængden sig i dag med Kat. 3 ca. 7%, Kat. 2 ca. 54% og Kat. 1 ca. 39%. Ved optimal opdeling på slagterierne kan disse mængder ændres til Kat. 3 ca. 40%, Kat. 2 ca. 20% og Kat. 1 ca. 40%.

Denne optimering fordrer mindre sammenblanding af Kat. 2 materiale.

Det vurderes dog ikke som interessant at gøre en særlig indsats for udnyttelse af Kat. 3 kvægmateriale (skærebene), ud over de ben der går fra til hundefoder i detailled.

Biprodukter fra kreaturer forventes ikke at kunne afsættes til foder, i hvert fald ikke de næste mange år.

Investeringer

De nødvendige investeringer for separation af animalske biprodukter på svineslagterierne er vurderet af Slagteriernes Forsknings Institut og er søgt beskrevet nedenfor.

Opdelingen i henhold til kategorierne i EU forordning 1774 vil blandt andet medføre behov for ændring/udbygning af opsamlings- og opbevaringsfaciliteterne for biprodukter. Investeringerne vedrører ekstra udstyr til opsamling og intern transport, så sammenblanding af de forskellige kategorier kan undgås. For svineslagterierne er det gennemsnitlige investeringsbehov vurderet nedenfor:

Størst mulig opdeling mellem Kat. 2 og 3 kræver i gennemsnit en investering pr. slagteri på ca. 4.300.000 kr. ekskl. moms. (kilde: SFI).

Hvis frasortering og behandling af slagtefejskasserede tarmsæt udelades, bliver den gennemsnitlige investering pr. slagteri på ca. 3.500.000 kr. ekskl. moms. Dette bidrager kun med ca. 0,3 kg per svin.

Der er endvidere nogle uafklarede punkter med hensyn til behandling af slam, sigtegods og gødning. Investeringer vedrørende dette er ikke medtaget i ovenstående skøn.

Udvalgte kreaturslagterier er ligeledes gennemgået for at vurdere mulighederne for opdeling. Investeringsbehov er ikke vurderet. Den interne transport og opsamling af biprodukter er ikke automatiseret, og ændringer vil derfor være mindre komplicerede og mindre dyre end for svin. Hovedparten af investeringerne vil blive i form af en silo eller container til opsamling/opbevaring og bør kunne udføres indenfor 1-2 millioner pr. slagteri. Veterinært er der et ønske om ikke at opsplitte kvægaffald i Kat. 1 -3, idet dette øger risici for prionspredning.

For de slagterier, som både slagter svin og kreaturer, vil det blive nødvendigt med en opdeling af kloaksystemet for at undgå, at sigtegods og slam skal behandles som SRM/Kat. 1. Denne investering er ikke beregnet, men undersøgelser er sat i gang i branchen.

2.6 Overblik over hovedkategorier og mængder

Et overblik over de i dette kapitel kortlagte mængder er søgt illustreret i følgende figur og tabeller.

En mulig fremtidig disponering af animalske biprodukter i Danmark er illustreret i efterfølgende figur, der forudsætter en optimal håndtering på slagterier og kødbenmelsfabrikker. Ved en mindre optimal håndtering vil mængden af pulp til biogas blive reduceret, og mængden af kødbenmel, der skal bortskaffes ved forbrænding, vil stige.

Den totale mængde, der skal behandles årligt og som tilføres Daka m.fl., er ca. 800.000 tons (heraf 50.000 tons til Danpo/ Rose Poultry). Daka forventer, at 40% fremadrettet kan anvendes til foder. Efter omdannelse til blodmel og kødbenmel er der tale om mindre end 50.000 tons pr. år svarende til godt det dobbelte af det nuværende marked for foder til selskabsdyr i Danmark.

Ud over de mængder, der også i dag tilføres biogasanlæg, kan der udtages op til ekstra 141.000 tons Kat. 2 materiale, der efter tryksterilisering, men uden total afvanding, vil kunne tilføres biogasanlæg. Materialet består af 65.000 tons svinepulp (ca. 30% TS), 3.000 tons kyllingeaffald og 73.000 tons hakkede selvdøde svin (ca. 30% TS).

Da dette materiale hos Daka forventes inddampet til 65% TS, reduceres de forventede maks. 141.000 tons råvarer til omkring 65.000 tons pr. år der kan tilføres biogasanlæg.

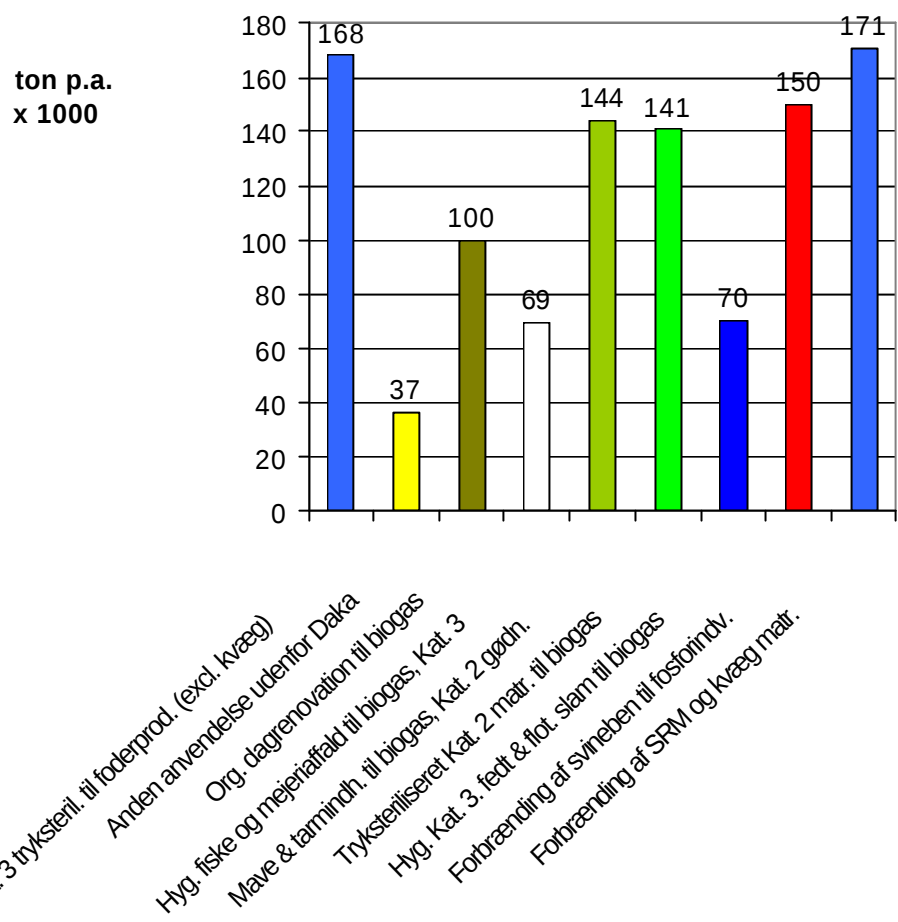
Hertil kommer 70.000 tons med ca. 10% TS Kat. 3 fedt & flotationsslam fra svine- og fjerkræsslagterier, som med fordel og høj prioritet kan tilføres biogas efter hygiejniserings.

Af de 171.000 tons kvæg og risikomateriale mv. er de ca. 111.000 tons SRM materiale og 46.000 tons øvrigt kvægmateriale, som formodentlig fremover vil blive behandlet sammen. Hertil kommer 2.000 tons lam-/gedemateriale og 12.000 tons Kat. 2 materiale, der ikke føres til biogas eller landbrug.

I det omfang der ikke udtages den mulige Kat. 2 mængde til biogas og Kat. 3 mængde til foder, vil disse mængder skulle omdannes til kødbenmel og forbrændes som i dag. Om dette vil ske for mængden der kan gå til biogas afhænger af hvilken behandlingspris markedets interessenter kan blive enige om. Tabet af Kat. 3 materiale ved utilstrækkelig sortering vil formodentlig kun

udgøre omkring 10.000 ton pr år på kort sigt, da det økonomiske incitament for produktion af foder til fiske- og kyllingefoder og pet food er stort.

Forventet fremtidig disponering af animalske biprodukter



Omtrentlige mængder angivet som råvarer i tons 2002 før afvanding og inddampning.

Figur 2.17 Mulig fremtidig disponering af animalske biprodukter.

Kreaturslagterier

Slagterieraffald i tons per år:

Tabel 2.18 Kreaturaffald opdelt på kategorier.

	Kategori 1	Kategori 2	Kat.2 gødning	Kategori 3
SRM	30.000			
SRM detail	31.000			
Selvdøde drøvtyggere	31.000			
Biprodukter fra lam og geder	2.000	2.000		
Kæledyr og forsøgsdyr	ca. 2.000			
Biprodukter fra kvæg i alt, heraf		40.900		5.000 (skæreben)
- blod til pelsdyr foder		10.000		
- fedt / talg		5.000		
- biogasmulig		(22.400)		
Gødning 22%TS			27.000	
Total	>96.000	42.900	27.000	5.000

Af de ovenfor nævnte mængde vil Kat. 2 gødning kunne gå til biogasanlæg plus eventuelt ca. 22.000 tons Kat. 2 materiale svarende ca. 6.600 tons TS. (For tiden er der ikke et marked for foder fra kreatur biprodukter. Af denne og af kapacitetsårsager opsamles der ikke ret meget Kat. 3 og 2).

Svin og fjerkræ

Slagteriaffald i tons per år:

Tabel 2.19 Svineaffald opdelt på kategorier.

	Kategori 1	Kategori 2	Kat.2 gødning	Kategori 3
Selvdøde svin / fjerkræ		72.500		
Hårde varer				150.000 v. 48% TS (ben) + 4.000 hønsefødder
Blod til foder				48.000 + 6.000
Bløde varer (pulp) ca. 30% TS		65.800 + 1.600 (kasserede dele)		38.200
Børster				17.000
Div. fra kyllinge- forædling		11.000		4.000
Fjer				14.000
Mavetarmindhold 18% TS			140.000	12.000 (fyldte tarmsæt fra fjerkræ)
Gødning 5,3% TS			20.000	
Total	0	150.900	160.000	298.200

Af de ovenfor nævnte mængder vil Kat. 2 gødning kunne gå til biogasanlæg plus eventuelt ca. 151.000 tons Kat. 2 materiale svarende ca. 45.000 tons TS. Det kan dog overvejes, hvorvidt de selvdøde dyr bør medtages, selvom de under alle omstændigheder skal tryksteriliseres først (Sverige har sagt nej til at anvende selvdøde dyr i biogasanlæg).

Bløde Kat. 3 varer samt tarmsæt fra kyllinger kunne også tilføres biogas svarende til 54.200 tons eller ca. 16.000 tons TS, hvis denne fraktion ikke kan finde anden anvendelse til dyrefoder eller lignende.

Andet affald

Andet affald i tons per år:

Tabel 2.20 Andet organisk affald opdelt på kategorier.

	Kategori 1	Kategori 2	Kat.2 gødning	Kategori 3
Org. dagreno- vation (potentiale, heraf behandles ca. 10% i dag i centrale anlæg)				(700.000) 70.000
Fiskeaffald				57.000
Fedt og flotationsslam		70.000*)		
Mejerier				20.000
Garverier		3.000		
Mucosa				30.000 - 45.000
Total		73.000*)		207.000 - 272.000

*) Tørstofindholdet kan være meget varierende helt ned til 5% TS. Om fedt- og flotationsslam er Kat. 2. eller Kat. 3 materiale afhænger af sigtning. Efter forsigtning til <6 mm betragtes det som værende udenfor biproduktforordningen og håndteres under slambekendtgørelsen med lignende hygiejniseringskrav som for Kat.3 materiale.

Af denne mængde er såvel Kat. 2 som Kat. 3 affald på nær Mucosa velegnet til tilførsel til biogasanlæg, hvilket allerede i stort omfang sker i dag. Mucosa vil normalt pga. syrekonservering skulle gå til forbrænding.

3 Modtagekapacitet

3.1 Daka

Daka og det tidligere Kambas er i 2002 fusioneret under navnet Daka. Daka er det altdominerende selskab, der håndterer animalsk affald i Danmark.

Det animalske affald håndteres på en række fabrikker i Danmark, hvor fabrikken i Randers og Ortved alene forarbejder Kat.1 og 2.

På fabrikken i Løsning håndteres kat. 3 affald fra svineslagterier. På fabrikken i Lunderskov håndteres blod fra svineslagterier.

Det tidligere Kambas med fabrik i Ortved dækker det sjællandske område og håndterer ca. 25% af det animalske Kat. 1 og 2 affald i Danmark.

Daka's ejerkreds består af 22 andelshavere, der repræsenterer langt den overvejende del af den danske kødindustri, samt det svenske slagteri "Swedish Meat".

Daka består i dag af 9 fabrikker:

Daka Løsning	Grundlagt 1934
Daka Randers	Grundlagt 1938
Daka Lunderskov	Grundlagt 1943
Daka Polska	Overtaget 1997
Konvex AB, Sverige, 3 fabrikker	Overtaget 2000
Kambas, 2 fabrikker	Overtaget 2001
(nu Daka Ortved og Daka Nyker)	

Daka's primære opgave er, under størst hensyntagen til miljøet og beboerne i lokalområdet omkring Daka's fabrikker, at fjerne og miljømæssigt pacificere de biprodukter fra slagteri- og kødindustrien, der ikke anvendes til levnedsmidler. Hertil kommer afhentning af selvdøde dyr og indsamling af madaffald.

Daka's rolle er at sikre, at animalske biprodukter kan udnyttes eller bortskaffes uden smittefare og at gøre materialet lagerstabil (kødbenmel) indtil slutdisponering kan finde sted.

Produkter:

Daka's produkter kan opdeles i fem kategorier:

- Kødbenmelsprodukter
- Kødmelsprodukter
- Blodprodukter
- Fedtprodukter
- Meat solubles

Nøgletal

Nedenstående nøgletal dækker kun Daka i Løsning, Randers og Lunderskov:

Tabel 3.1 Fordeling af råvarer og produkter.

Nøgletal for	97/98	98/99	99/00	00/01
Råvaremodtagelse – tusind tons	593	665	618	619
Slagteribiprodukter	442	502	457	455
Blod	64	66	64	55
Selvdøde dyr	87	97	97	109
Produktion og salg – tusind tons				
Melprodukter	149	167	149	97
SRM-mel			7	57
Fedtprodukter	69	85	73	73
Blodprodukter	11	12	12	10
Omsætning – mio. kr.	562	451	449	248
Råvarebetaling mio. kr.	-179	-35	+88	+335

Tallene er eksklusive 128.000 tons fra det gamle Kambas. I 01/02 var den totale tilførte mængde 785.000 tons.

Fra sommeren 2003 forarbejdes kyllingeaffald på særskilt virksomhed ejet af Danpo, Rose Poultry og BHJ-gruppen. Sammen med Daka's opdeling af fabrikker kan der nu leveres artspecifikke foderprodukter.

Råvarer

For at udnytte potentialet i den nyeste produktionsteknologi inden for produktionen af animalske proteiner udfører Daka selv al indtransport af råvarer. Dette sikrer, at råvarerne transporteres i lukkede containere, og at transporten foregår så hurtigt som muligt.

På Daka's fabrikker læsses råvarerne af i et silosystem, der tillader en opdeling af råvarerne afhængig af oprindelse. Herefter forarbejdes råvarerne i en kontinuerlig proces.

Produktionsprocesser

Daka benytter principielt 3 forskellige produktionsprocesser til fremstilling af produkter:

- Tørsmelteproces
- Vådpresseproces
- Spray-tørring
- Hydrolyse
- Pulpproces

Tørsmelteprocessen

- neddeling af råvarer
- tørring/trykkogning
- afpresning af fedt
- formaling
- høj bakteriologisk standard

Vådpresseprocessen

- neddeling af råvarer
- koagulering
- presning
- tryksterilisering
- kontinuerlig proces
- høj bakteriologisk standard

Spray-tørring

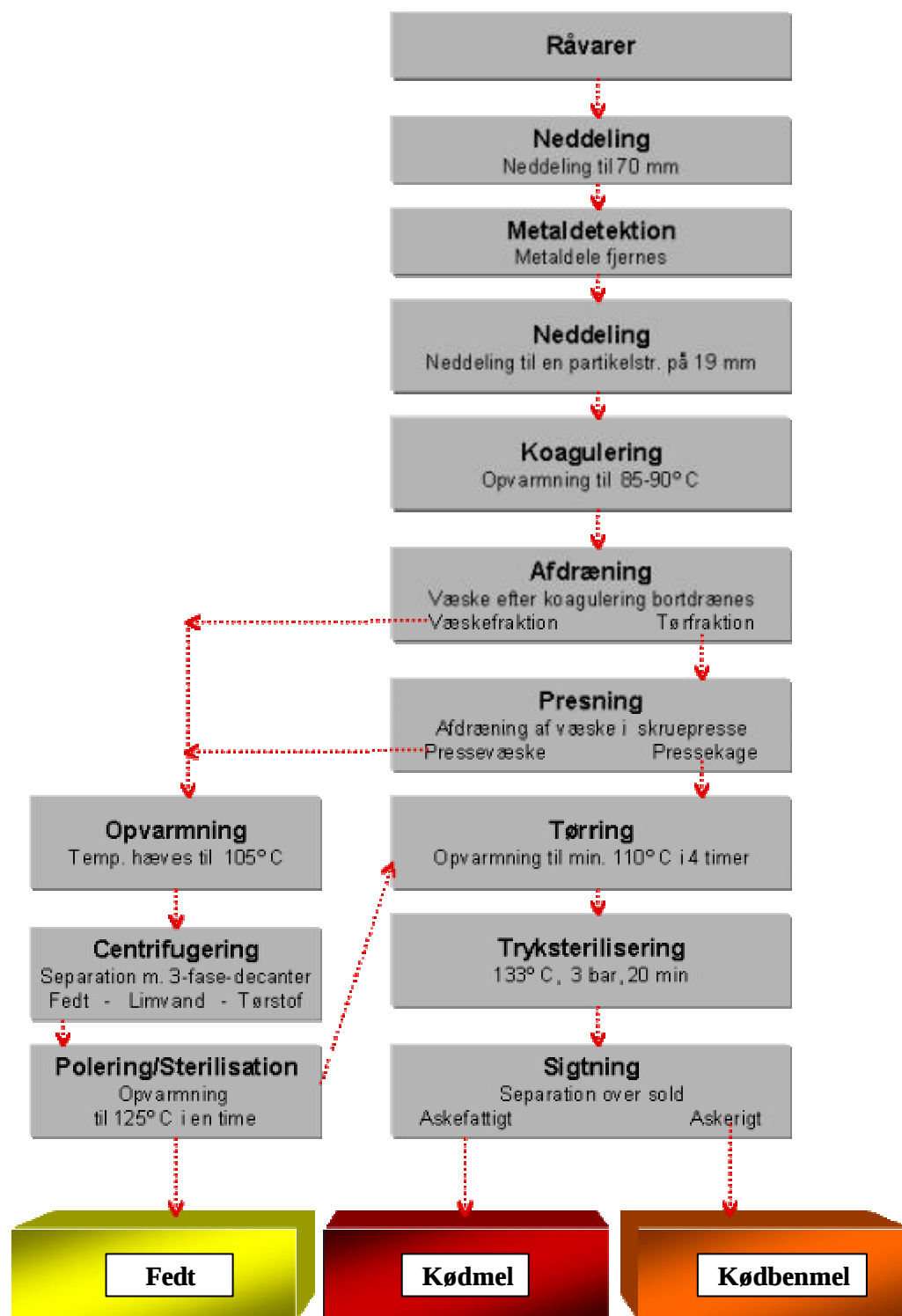
- kontinuerlig Kat 3 proces
- kort procestid
- skånsom proces
- lavt vandindhold i slutproduktet
- høj bakteriologisk standard

Hydrolyse

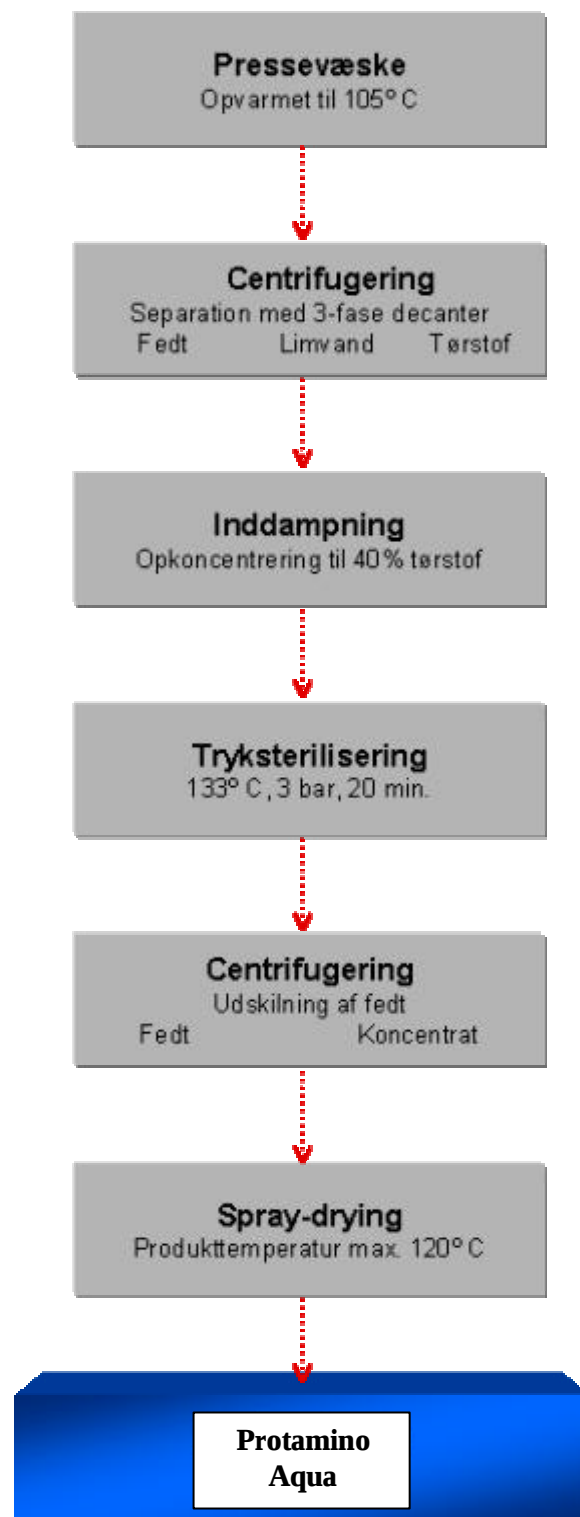
- kontinuerlig Kat. 3 proces
- kort procestid
- skånsom proces
- højt tryk
- høj bakteriologisk standard

Pulpproces

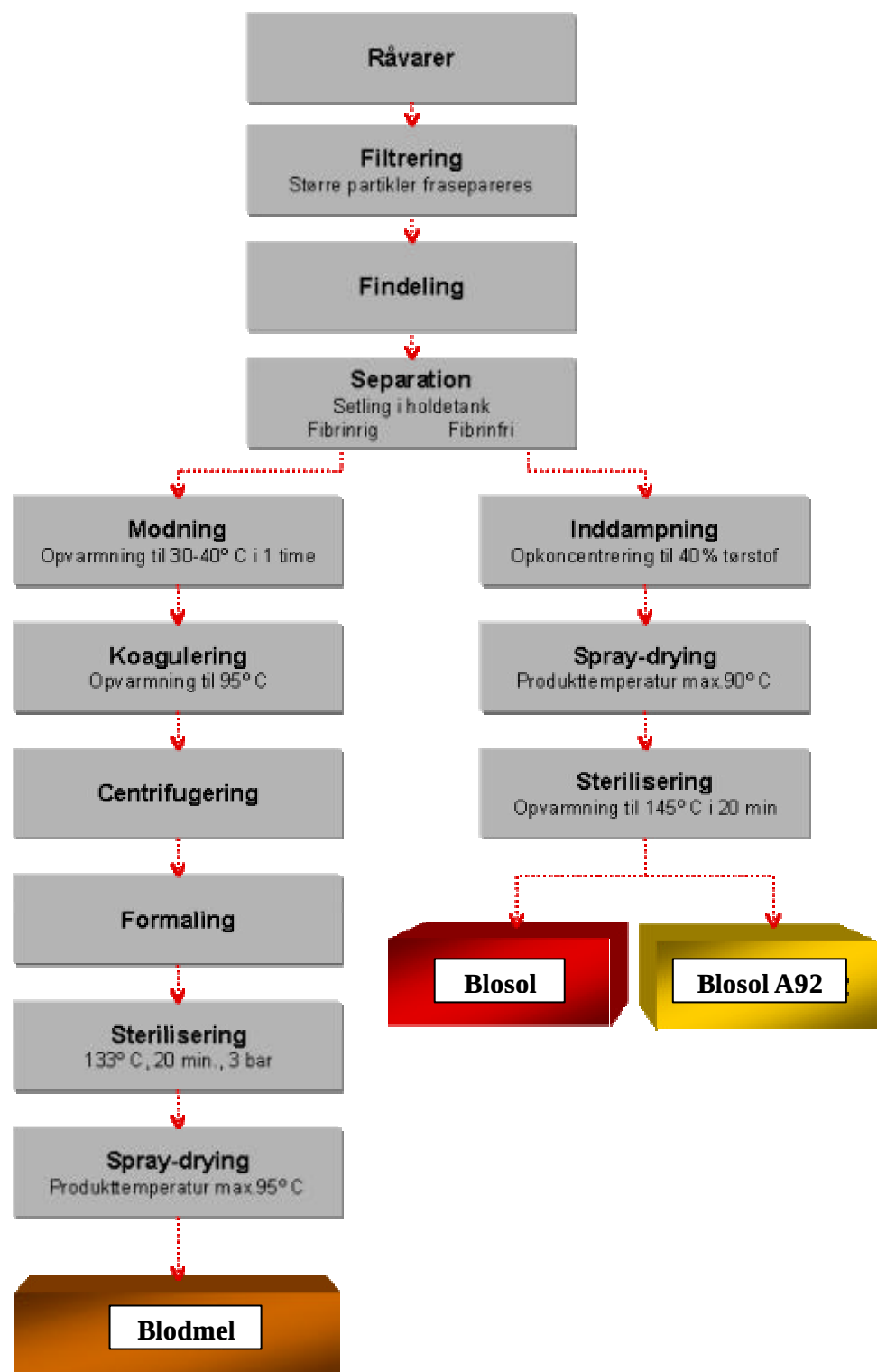
- neddeling
- trykkogning
- sigtning
- høj bakteriologisk standard



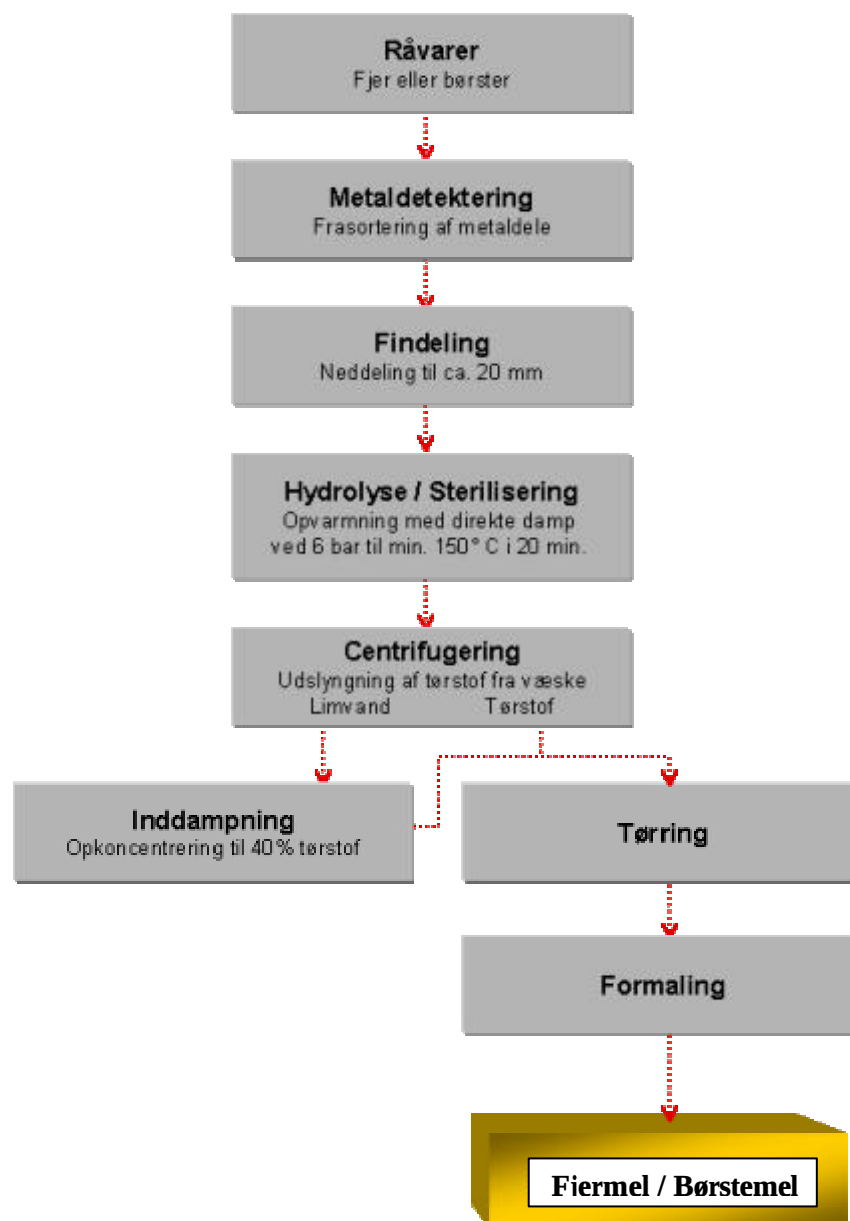
Figur 3.2 Vådpresseprocessen



Figur 3.3 Spraytørringsprocessen



Figur 3.4 Spray-tørring blodprodukter



Figur 3.5 Hydrolyseprocessen

Tabel 3.6 Daka's ugentlige produktion i 2001 udgjorde ca:

Produkt	ton per uge
SRM fedt (Kat. 1 og 2) *)	650
SRM mel (Kat. 1 og 2)	1350
Svinefedt *) **)	600
Kød- og benmel (Kat. 3) **)	1280
Svinepulp	150
Fjerkræpulp **)	250
Blodprodukter **)	160

*) Fedt inklusive SRM kan sælges som affaldsbrændsel til kedler, der dog skal opfylde EU direktivets krav om 0,5 sek. opholdstid ved 1100°C og overholde krav vedrørende maksimalt tilladte emissioner fra affaldsforbrændingsanlæg.

**) Ville kunne anvendes til hunde, katte og pelsdyrfoder

Markedet for kæledyrsfoder er ca. 350-500 tons per uge. På grund af manglende aftag og forbudet mod at anvende kødbenmel til foder ligger der store mængder animalsk affald på lager. I efteråret 2001 var denne mængde 65.000 tons SRM mel, 47.000 tons kødbenmel til forbrænding og 17.500 tons SRM fedt. Med udgangen af 2003 var mængden af SRM mel 80.000 tons og 25.000 tons Kat. 2 kødbenmel. I resten af Europa ligger der også meget store mængder på lager specielt i England, Frankrig, Italien og Spanien.

Der skal søges alternative anvendelses- eller bortskaffelsesmuligheder for ca. 200.000 tons kødbenmel om året i Danmark.

3.1.1 Danpo

Danpo sælger fjerkræpulp til pelsdyrfoder efter oparbejdning på en særlig fabrik i Løgstør.

3.2 Biogasanlæg

I Danmark er der ca. 20 biogASFællesanlæg, som modtager en blanding af gylle og andet affald, som pr. måned typisk udgør:

Tabel 3.7 Tilført materiale og biogasproduktion på danske biogasanlæg*).

Anlæg	Tilført gylle [m ³ pr måned]	Andet affald [m ³ pr måned]	Biogasprod. [m ³ pr måned]
Davinde	1.219	135	32.000
Hodsager	895	240	78.000
Filskov	1.874	766	114.000
Blåhøj	2.294	725	178.000
Vegger	1.491	253	208.000
V. Hjermitslev	720	478	193.200
Vaarst-Fjellerad	3.827	1.277	442.000
Sinding	3.943	754	295.222
Snertinge	2.397	1.532	178.000
Hashøj	3.517	1.507	321.000
Revninge	1.110	216	75.000
Fangel	4.249	964	225.000
Thorsø	7.935	1.861	293.000
Ribe	11.851	2.091	337.000
Blaahøj	8.215	2.203	269.000
Nysted	5.726	708	315.000
Studsgård	8.600	1.595	684.084
Lemvig	10.298	2.738	531.000
Århus Nord	9.454	2.666	474.000
Lintrup	14.622	609	510.000
I alt	104.237	23.318	5.752.506

*) Sorteret efter reaktorstørrelse. Dansk BioEnergi febr. 2003.

Det organiske affald udgør ca. 16% af det omsatte materiale. For at kunne sprede det afgassede materiale efter husdyrbekendtgørelsen må den afgassede gylle fra biogasanlæggene højst indeholde 25% affald (på tørstofbasis), ellers skal det spredes efter slambekendtgørelsen, som er mere restriktiv og bl.a. sætter en grænse for fosfortilførslen.

På det seneste er der opstået stor interesse for etablering af gårdbiogasanlæg. Der er i dag 25 gårdanlæg medtaget i biogas statistikken, og flere anlæg er på vej. Disse anlæg behandler 200.000 - 300.000 tons gylle pr. år plus affald, hvilket primært er vegetabilsk olie.

Hvis der forudsættes en optimal fordeling af affald til alle de nuværende biogasanlæg, vil der være plads til yderligere ca. 200.000 tons affald. Der er altså behov for en fortsat udbygning med biogasanlæg for at få plads til yderligere affaldsmængder.

Mink

Hvis det antages, at den årlige mængde kadavere tilføres over 1 måned i foråret og 2 måneder i efteråret, skal der ved en gennemsnitsbetragtning bortskaffes ca. 5000 tons pr. måned i disse måneder.

3.3 Forbrændingsanlæg

SRM mel skal forbrændes, men der er mangel på anlæg i Danmark med godkendelse til forbrænding heraf og økonomien er ikke attraktiv. Forbrænding af såvel SRM mel som almindelig kødbenmel kræver at anlægget

(kraftværket) er godkendt som affaldsforbrændingsanlæg. Ikke SRM mel forbrændes med dispensation for affaldsafgift på enkelte kraftværksanlæg. SRM materiale er fritaget for affaldsforbrændingsafgift ligesom øvrigt kød og benmel, der ikke kan genanvendes til foderformål.

På grund af høje behandlingsafgifter i Danmark eksporteres kød- og benmel i dag i stor stil til Tyskland, hvor det anvendes i cementindustrien og på kraftværker godkendt hertil. I Danmark er Aalborg Portland aktiv og afbrændte i 2002 omkring 24.000-32.000 tons pr. år. Fra efteråret 2003 vil de have kapacitet til at modtage 49.000-56.000 tons pr. år. I dag er det primært SRM materiale, som afbrændes. Kødbenmel erstatter en del af den stenkul, koks og olie, som bruges til fremstilling af cement og er i den sammenhæng CO₂-neutral. Askerestens indhold af CaO erstatter desuden en beskeden mængde kridt. Mængden, der kan modtages, er begrænset på grund af indholdet af klorid og fosfor, idet disse stoffer påvirker egenskaberne for den færdige cement.

Ud over Ålborg Portland er der nogle enkelte andre roterovnsanlæg i Danmark, som får tilført kødbenmel, bl.a. Leca (letklinkerprodukter til byggeindustrien), der tidligere har modtaget materiale og Optirock (mineraluldsprodukter), der nu aftager få tusinde tons pr. år.

I/S Vestforbrændingen har kørt forsøg med forbrænding af Kat. 2 og Kat. 3 kødbenmel. Kødbenmelet brænder fint og kan tilsættes med op til 10% af anlæggets samlede kapacitet på 500.000 ton affald pr. år. Der køres nu fast med en tilsætning på 5% (25.000 tons pr. år), indtil de store overskudslagre af kødbenmel er bortskaffet. Behandlingsomkostningen er kun 210 kr./ton ekskl. moms. leveret i småsække og er fritaget for øvrige statsafgifter. Tilsvarende forbrænding sker i mindre målestok på en række øvrige affaldsforbrændingsanlæg, idet der for tiden er overskud af forbrændingskapacitet på de danske affaldsforbrændingsanlæg.

Fynsværket har på blok 3 er godkendt til forbrænding af Kat. 2 og Kat. 3 materiale og forventer en 100.000 tons pr. år Kat.1 SRM klassificering. Anlægget har brændt en del materiale; men gør det ikke længere, da det er økonomisk uinteressant, bl.a. fordi de ikke modtager CO₂-tilskud. Der er endvidere udført forsøg på fluidbed kedlen på Grenåværket.

I skrivende stund har Elsam dog ikke videre planer om forbrænding af kødbenmel, da omkostningerne med den nuværende afgifts- og tilskudsstruktur er for store i forhold til anvendelse i cementindustrien i Tyskland.

Med ovennævnte danske anlæg ville der dog være tilstrækkelig kapacitet til at bortskaffe den årlige kødbenmelsproduktion. Tilbage står pulpen og blodprodukter.

Daka planlægger at etablere et fluidbedanlæg, hvor slagteriaffald (pressekage) brændes uden forudgående produktion af kødbenmel. Prisniveauet for et anlæg med kapacitet på 100.000 tons pr. år er 200-250 millioner kr. En dedikeret forbrænding muliggør genanvendelse af aske, billigere håndtering og færre miljøgener.

4 Biologisk behandling

4.1 Egnede råvarer og håndtering

4.1.1 Situation i dag

Kort beskrivelse vedrørende de væsentligste problemstillinger ved behandling af forskellige typer animalsk affald i biogasanlæg, herunder nuværende hygiejniseringspraksis og modtagekrav på biogasanlæg.

Godt 4% af den danske husdyrgødning eller ca. 1,5 mio. tons hovedsageligt som gylle tilføres i dag til biogasfællesanlæg, resten udbringes direkte på mark. I Energi 21 er det målet, at andelen, der behandles i biogasanlæg, skal stige til 25% i år 2030. Desuden behandles ca. 300.000 tons organisk affald fra industrier, rensningsanlæg og husholdninger i biogasfællesanlæggene.

Alle biogasanlæg modtager i dag affaldsstoffer for at øge gasproduktionen. Det er nødvendigt for at gøre anlæggene rentable.

Den største enkeltoperatør er EnergiGruppen Jylland A/S, som ejer og driver 3 biogasanlæg, der i størrelse variere fra 880 til 6.000 m³ reaktorvolumen. Til anlæggene tilføres dagligt en mængde organisk affald, der opblandes med husdyrgødning inden tilførsel til reaktorerne, hvor udrådningen finder sted under termofile procesbetingelser.

Ringkøbing Amt er tilsynsmyndighed for disse biogasanlæg, og der stilles herfra krav om forudgående godkendelse af materialer, der tilføres og udbringes fra anlægget, ligesom der i anlæggenes miljøgodkendelse er en række krav til håndtering af materialer, emissionsparametre og beredskabsplaner i tilfælde af hændelser, der kan resultere i forurening af det omliggende miljø.

Som et eksempel på miljøgodkendelsen krav kan nævnes, at af- og pålæsning af materialer skal ske i lukkede systemer, således at risikoen for lugtgener minimeres.

I forbindelse med materialeflowet i anlægget gennemløbes et procestrin, i hvilket materialerne er sikret en opholdstid på 4 timer ved 52°C. I den nuværende situation er opretholdelsen af denne garanterede opholdstid tilstrækkelig til at efterleve de veterinære krav, der stilles til anlæggene. På en række andre biogasfællesanlæg er der etableret en forhygiejniseringsbeholder, der sikrer en batchvis hygiejnisering ved 70°C i 1 time.

Med "EU forordning 1774 om sundhedsbestemmelser for animalske biprodukter, som ikke er bestemt for konsum", åbnes der mulighed for at tilføre nogle typer affald, der tidligere er blevet udnyttet til foder eller nyttiggjort ved forbrænding. Såfremt denne mulighed ønskes benyttet, stilles imidlertid en række skærpede krav til behandlingsprocessen og til administrative procedurer. Af disse kan nævnes:

- Indførelse af et egenkontrolsystem, der sikrer sporbarhed af materialer og procesparametre.
- Krav om foregående tryksterilisering (Kat. 2 materiale) eller hygiejnisering (Kat. 3 materiale) af behandlede affaldsmængder.
- Inddeling af biogasanlægget i en ren henholdsvis uren zone, hvis tryksterilisering og hygiejnisering sker på biogasanlægget.
- Dyrkningsrestriktioner

EU's formålet med at stille krav om disse tiltag er at sikre en tilfredsstillende og høj forbrugerbeskyttelse gennem god fødevarekvalitet kombineret med i ressourcemæssig henseende mere fordelagtige behandlingsmetoder f.x. biogas kombineret med næringsstofudnyttelse og energiudnyttelse fra forbrænding enten af biogassen eller fra direkte forbrænding af affaldet.

Ved vådt affald er tilførsel til biogasanlæg overlegen i forhold til forbrænding, men der er snævre grænser for hvilket materiale og hvor store mængder, der kan tilføres. For affald med højt TS er biogasvejen i stærk konkurrence med direkte forbrænding med kraftvarmeproduktion.

De skærpede myndighedskrav vil medføre en ændring i de daglige praktiske og administrative rutiner forbundet med driften af biogasanlæggene, samt et indledende arbejde af større eller mindre omfang med henblik på implementering af egenkontrolsystemet og de hermed tilknyttede procedurer. Desuden vil det kunne blive aktuelt, at der skal investeres i ombygning af anlæggene for opfyldelse af krav til procesparametre.

Hos EnergiGruppen Jylland A/S er det konkret vurderet, at en eventuel behandling af animalsk affald udelukkende skal finde sted på ét af de tre biogasanlæg, idet omkostningerne forbundet med anlægstilpasninger og opgaverne vedrørende indførelse og drift af egenkontrolsystemet herved minimeres.

4.2 Biogaspotentiale

Det organiske materiale bestående af kulhydrater, fedtstoffer og proteiner kan omsættes til biogas. Biogas består af omkring 65% metan og inerte gasser hovedsageligt kuldioxid. Det forventede gasudbytte for forskellige råvarer er (i praksis opnået værdi):

Tabel 4.1 Biogaspotential for diverse produkter.

	Methan	Biogas	Brændværdi H_n*)	Noter
	l/kg	l/kg	MJ/kg	
Svinegylle		24	0,55	
Kvæggylle		24	0,52	
Kyllingemøg		55-110	1,3-2,4	
Mave tarmindhold		44-66	1,0-1,6	
Blod		9-15	0	v. 18% TS
Kulhydrat	ca. 400	615***)	14,7	
Protein	ca. 500	715***)	17,9	
Talg og fedt	ca. 1000	1440***)	37,3-39	
Kødbenmel		210-360	17-20	afh. af fedt %
Svine pulp		100-140 (185)	ca. 9	v. 60% vand, 25% kødbenmel og 15% fedt
Fedt og flotationsslam inkl. vand	ca.100- (325)	150**)- (500)	<13	afh. af VS og vandbyrden

*) Brændværdi af affaldsstrøm. Til sammenligning har fuelolie en brændværdi på ca. 40 MJ/kg.

**) Opnået i praksis på Studsgaard biogasanlæg i forhold til indkørt vare. Den høje værdi i parentes er en laboratorieværdi, som er opnået ved samudrødning af fedt fra fedtudskillere med spildevandsslam i en lavt belastet rådnereaktor, hvor der kun er lille vandbyrde med [33].

***) Teoretisk potentiale. I praksis realiseres ofte kun omkring halvdelen

Procestemperatur og opholdstid er typisk 35°C og 21 dage for mesofile anlæg eller 52°C og 14 dage for termofile anlæg. Normalt opnås kun en omsætningsgrad på ca. 90% af det teoretiske udbytte. Transport og procesenergiforbruget udgør typisk ca. 16% af energiindholdet i biogassen heraf ca. 3% til transport.

For at få den maksimale biogasproduktion er det vigtigt at materialet neddeles og blandes godt med andet materiale på biogasanlægget. Mesofile anlæg er mere processtabile end termofile biogasanlæg.

Til forbedring af gasproduktionen i biogasanlæg kan der bl.a. produceres svinepulp (Kat. 2 og Kat. 3 materiale fra svin) og madpulp (tryksteriliseret madaffald fra storkøkkener).

Ved omsætning af svinepulp var det forventede gaspotential ved fuld omsætning ca. 300 Nm³ biogas pr. ton TS i råvare [44]. Heraf udgør metan ca. 65%. Ved forgasning af madpulp produceres til sammenligning ca. 180 Nm³ biogas pr. ton TS, hvor indholdet af metan ligeledes udgør ca. 65%. En del svinepulp afsættes på nuværende tidspunkt i flydende, tryksteriliseret form til pelsdyrfoderfabrikker.

Dakas biogaspulp (særlig behandlet og deklareret svinepulp) består af friskt slagteriaffald udelukkende fra svin, der hakkes/pulpes og tryksteriliseres, hvorefter produktet inddampes til op til 65% TS og en organisk tørstofprocent på >50% VS. Inden levering stabiliseres den fremstillede pulp med eddikesyre. Pulpen er pumpbar i varm tilstand og skal derfor opbevares i en

"termotank". Denne pulp forventes fremover at blive produceret af Kat. 2 materiale på fabrikkerne i Randers og Ortved.

Biogaspulpen vil med fordel kunne anvendes i biogasanlæg pga. det høje organiske tørstofindhold (50% VS), hvoraf en stor del er animalsk fedt (36% af total tørstofindhold eller 23,3% af total vægt). Dette animalske fedt er kendt for at give en øget gasproduktion, idet fedtet giver en stor mængde gas pr. ton råvare grundet de langkædede fedtsyrer. Fedt omsættes dog bedst i lavt belastede anlæg.

4.3 Hygiejniserings

I modsætning til biogasgårdanlæg har de fleste biogasfællesanlæg i dag ofte en forhygiejniserings ved 70°C i en time, hvilket ifølge EU forordningen er tilstrækkeligt til, at der kan tilføres Kat. 3 materiale. Denne forhygiejniserings er imidlertid ikke tilstrækkelig for tilførsel af Kat. 2 materiale, som udgør den største potentielle mængde, der kan tilføres biogasanlæg, da meget Kat. 3 materiale kan finde anden anvendelse.

Proceskravene ved anvendelse i biogasanlæg i henhold til EU-forordning (1774/2002) er i hovedtræk som følger:

Tabel 4.2 Krav til de forskellige kategorier.

Kategori 1	Må ikke anvendes i biogasanlæg (med mindre den udrådnede biomasse behandles med alkalisk hydrolyse og herefter deponeres...)
Kategori 2	Tryksterilisering, min. 133 grader C, 3 bar i min. 20 minutter.
Kategori 2, gødning	Ingen - Ved risiko for spredning af smitsomme sygdomme dog hygiejniserings
Kategori 3	Hygiejniserings; maks. 12 mm, min. 70 grader C i min. 60 minutter (fedt og flotationsslam dog maks. 6 mm)

Der henvises til de nye veterinære regler fra Fødevaredirektoratet bl.a. om opdeling af rene og urene zoner på biogasanlæg, når disse tilføres animalsk affald.

Da det i praksis bliver vanskeligt at opretholde disse kommende krav på biogasanlæggene, betyder det reelt, at det animalske materiale fra centralt hold skal være hygiejniseret/tryksteriliseret, før det tilføres biogasanlægget.

På gårdbiogasanlæg er der forbud mod at tilføre tryksteriliseret Kat. 2 materiale på husdyrbedrifter uden en klar adskillelse mellem biogasanlæg og bedrift.

Endelig er der forbud mod at udbringe afgasset gylle med animalske biprodukter på græsningsarealer. De danske myndigheder argumenterer i EU kraftigt for også at tillade udbringning på græsningsarealer, der afgræsses efter en karantæneperiode på 3 uger. Forholdet vil bl.a. blive taget op i EU's videnskabelige komité [45].

4.4 Procesmæssige problemer

4.4.1 Hæmning

Hovedproblemet ved anvendelse af pulp i biogasanlæg er, at disse har en begrænset kapacitet, og at de animalske biprodukter har et højt indhold af kvælstof, hvilket reducerer de gasproducerende bakteriers levedygtighed (ammonium hæmning).

Biogas kan ikke produceres på animalske biprodukter alene, da kvælstofindholdet er for højt. Ved total-N omkring 5,5 g N/l går biogasprocessen ofte helt i stå. Dette kan undgås ved at fortynde de animalske biprodukter med andet materiale, typisk gylle.

Nedenstående tabel viser en typisk sammensætning af gylle før iblanding af affald.

Tabel 4.3 Karakteristika for gylle før og efter afgangning.

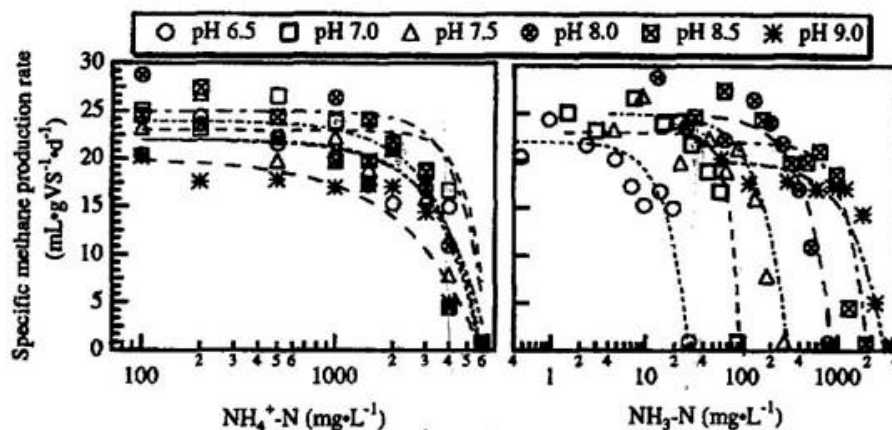
	TS	Tot. N	NH₄-N	P	K	pH
Enhed	%	kg/ton	kg/ton	kg/ton	kg/ton	
Kvæggylle	6,0	5,0	2,8	0,8	3,5	6,5
Svinegylle	5,0	5,0	3,8	1,0	2,0	7,0
Afgasset gylle	2,8	5,0	4,0	0,9	2,8	7,5

Det er vigtigt at bemærke, at:

- Tørstofindholdet reduceres til ca. halvdelen i biogasanlægget
- Indholdet af plantetilgængelig ammonium (NH₄-N) og pH stiger.

Ved tilsætning af proteinholdigt animalsk affald til biogasanlæg øges kvælstofindholdet væsentligt. Men det høje indhold af kvælstof har som tidligere nævnt den ulempe at være inhiberende for biogasbakterierne i koncentrationer over 4 g/l. Processerne kan tilvendes et højere niveau, men vil så også være mere følsomme i omsætningen. Niveaulet i kødbenmel er alt for højt til at kunne tilføres direkte, der skal nødvendigvis fjernes kvælstof fra processen. Husdyrgødning specielt fra svin har i sig selv et indhold af kvælstof i nærheden af niveauet for inhibering, og der kan derfor ikke blandes så meget animalsk affald i biogasanlæggene, før det vil have en effekt på processen og produktionen af biogas.

Effekten af ammoniumhæmning fremgår af nedenstående figur [37], hvoraf det ses, at inihibering ved pH 8,5 er markant ved over 4 g/l NH₄⁺ eller 0,5 g/l NH₃. Ved lavere pH sker hæmningen tidligere.



Figur 4.4 Influent af NH_4^+ og NH_3 på metan produktionsrate ved varierende pH [37].

Til belysning af mulig anvendelse af deklareret, steriliseret svinepulp fra Daka i danske biogasanlæg er der udført en undersøgelse af muligheden for at afsætte svinepulpen til de danske biogasanlæg [44]. For at kortlægge, i hvor stort omfang der kan afsættes svinepulp i de eksisterende biogasanlæg, er der indsamlet oplysninger om den afgassede gylle.

Fra biogasanlæggene er der indsamlet oplysninger om følgende parametre.

- Typisk indhold af total N.
- Typisk indhold af $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NH}_3$.
- Typisk indhold af fosfor.

Desuden er antallet af prøver samt det anvendte analyselaboratorium oplyst. Oplysningerne er angivet i de nedenstående tabeller. Tabellerne indeholder data for de 16 største anlæg, der er medlem af Foreningen for Dansk Biogas, som består af 20 anlæg.

Tabel 4.5 Typiske data for indhold total N, $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NH}_3$ og P i afgasset gylle fra 14 anlæg i Foreningen for Dansk Biogas.

Anlæg	Total N-indhold [kg/ton]	$\text{NH}_4\text{-N}/\text{NH}_3$ indhold [kg/ton]	P-indhold [kg/ton]
Blaabjerg	4,75	3,25	1,1
Blåhøj	5,30	3,8	0,84
Fangel	5,83	4,38	0,92
Filskov	4,90	3,7	0,94
Hashøj	5,05	3,9	0,78
Lemvig	4,28	3,02	1,2
Lintrup	5,00	3,26	1,3
Nysted	4,84	3,79	0,90
Ribe	4,6	3,2	0,9
Sinding-Ørre	(2,6)	(2,2)	1,2
Snertinge	4,3	3,0	1,3
Studsgård	(3,86)	(2,79)	0,86
Thorsø	4,80	3,6	0,96
Vester Hjermitlev	6,3	5,1	0,56
Vegger	4,5	3,1	0,8

Desuden er de adspurgte anlæg blevet bedt om at angive dato for prøveudtagning, antallet af prøver, som ligger til grund for analyseresultatet, dato for analyse og det analyselaboratorium, som har analyseret prøverne.

Tabel 4.6 Data med hensyn til prøveudtagnings- og analysedato samt antal prøver og anvendt analyselaboratorium for 14 anlæg i Foreningen for Dansk Biogas.

Anlæg	Dato for prøveudtagning	Antal prøver	Analyse dato	Analyselaboratorium
Blaabjerg	2003	Gennemsnit over et år	2003	Steins Laboratorium A/S/ Eurofins Danmark A/S.
Blåhøj	2003	Gennemsnit af 2	4/6-17/6-2003	Eurofins Danmark A/S
Fangel	2003	Gennemsnit af 5 ¹	2003	OK Laboratorium for Jordbrug, Viborg
Filskov	2003	Gennemsnit af 2	4/6-17/6-2003	Eurofins Danmark A/S
Hashøj	2003	Gennemsnit af 10 ²	2003	Eurofins Danmark A/S
Lemvig	2002-2003	Estimat over et år ³ .	2002-2003	OK Laboratorium for Jordbrug, Viborg
Lintrup	2003		2003	Steins Laboratorium A/S
Nysted	2003	Gennemsnit af 10	2003	Grøn center, Holeby
Ribe	2003	1	2003	Steins Laboratorium A/S
Sinding-Ørre	2003		2003	
Snertinge	2003	Gennemsnit over et år, 1 prøve pr. måned. ⁴	2003	Eurofins Danmark A/S
Studsgård	2003	Gennemsnit af 8 ⁵	2003	Eurofins Danmark A/S
Thorsø	14/2-2003	1	17/2-2003- 28/2-2003	Eurofins Danmark A/S
Vester Hjermitlev	10/3-2003	1	19/3-2003	Eurofins Danmark A/S

Noter til tabellen:

1. Gennemsnit af 5 prøver udtaget i 5 forskellige tanke.
2. Gennemsnit af 10 prøver udtaget i 10 forskellige tanke.
3. Gennemsnit af 52 analyser baseret på gennemsnit af 60 prøver.
4. Gennemsnit af 2 prøver udtaget i 2 forskellige tanke.
5. Prøverne udtaget en gang i foråret.

Der er indsamlet næringsstofværdier for 14 af de i alt 20 anlæg, der er medlem af Foreningen for Dansk Biogas. Der er stor variation i proceduren og hyppigheden af prøvetagning og analyse til bestemmelse af næringsstofværdier for de enkelte anlæg. Nogle anlæg udtager prøver hver uge, mens andre udtager med måneders mellemrum.

Ved indsamlingen af resultaterne er der bedt om resultater for den afgassede gylle. Det antages derfor, at anlæggene har indsendt disse data, men flere anlæg har angivet flere data, og disse er medtaget i rapporten. Der kan både

være tale om prøver, som er udtaget i lagertanke inden afgang, prøver udtaget i selve biogasanlægget og prøver som er udtaget af den afgassede gylle. Ved de anlæg hvor det vides, hvor prøven er udtaget, er dette angivet. Værdierne svarer til et omtrentligt slutniveau i reaktoren.

Den laveste værdi for total N på 2,6 kg/ton ses i denne opgørelse for anlægget i Sinding-Ørre, mens højeste værdi på 6,3 kg/ton er fra Vester Hjermitlev. For $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NH}_3$ er den laveste værdi 2,2 kg/ton og den højeste 5,1 kg/ton for henholdsvis Sinding-Ørre og Vester Hjermitlev. Værdierne for fosfor ligger i intervallet 0,56 kg/ton til 1,3 kg/ton, hvor den laveste værdi er for anlægget i Vester Hjermitlev, mens den højeste værdi ses ved anlæggene i Snertinge og Lintrup.

Gennemsnittene for total N, $\text{NH}_4\text{-N}/\text{NH}_3$ og P ligger på henholdsvis 4,74 kg/ton, 3,5 kg/ton og 0,98 kg/ton. Gennemsnittene er beregnet på grundlag af alle værdier i tabel 4.5.

En tidligere undersøgelse udført på DTU viser følgende typiske koncentrationer af ammonium i gylle fra udvalgte anlæg i Danmark. Det ses, at $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{-N}$ niveauet er lidt lavere i reaktoren end efter endt udrådning.

Tabel 4.7 Typisk koncentration af ammonium i gylle.

Anlæg	$\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{-N}$ (g/l) i reaktor	$\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{-N}$ (g/l) efter plus 50 dages udrådning
Studsgård	2,05	2,83
Blåhøj	3,05	3,92
Århus Nord	3,42	4,0
Lintrup	2,95	3,95
Lintrup lager	3,12	3,75
Revninge	3,08	3,66
Grindsted renseanlæg	0,92	1,25

Kilde: Restgaspotentialet i afgasset gylle - DTU [26].

Heraf ses et lidt lavere niveau af ammonium-N i biogasfællesanlæggene. Det ses også, at rådnetanke på Grindsted renseanlæg har et væsentligt lavere indhold af $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{-N}$.

Antages det, at der er plads til at øge ammoniumkoncentrationen 1 g/l ved gradvis tilvænning af bakteriekulturen, hvilket er realistisk, vil biogasanlæggene kunne modtage yderligere ca. 2000 tons ekstra kvælstof målt som $\text{NH}_3/\text{NH}_4\text{-N}$. Hvilket svarer til tilførsel af ca. 50.000 tons Daka bio-svinepulp pr. år med 65% TS (50% VS). Dette er 77% af den potentielle ressource af biogaspulp til biogasanlæg på 65.000 tons pr. år med 65% TS. De potentielt resterende 15.000 tons vil indeholde ca. 600 tons kvælstof, som ikke er udnyttet, og som må finde andre veje f.eks. til rådnetanke på renseanlæg eller eventuelt transport til Sverige, alternativt omdannes til kødbenmel og forbrændes. Endelig vil en øget etablering af biogasanlæg svarende til en øget modtagekapacitet på 20-25% i forhold til 2003-niveauet løse problemet.

Øges svineproduktionen i Danmark, øges behovet yderligere, herunder behov for udbygning med separationsanlæg og anden håndtering af næringsstofferne.

4.5 Udenlandske erfaringer

I Sverige, bl.a. i Linköping, drives biogasanlæg med tilsætning af tryksteriliseret (133°C, 20 min, 3 bar, 5 mm) animalsk affald (sigteaffald fra slagteri) blandet med gylle og spildevandsslam. De sterile animalske biprodukter tilføres uden beregning til biogasanlægget ved hjælp af en rørledning direkte fra slagteriet (røde linie). Biogassens methanindhold svarer energimæssigt til brændværdien i materialet. Biogas renses, komprimeres og benyttes som brændsel til bybusser. Restproduktet indeholder 3-4% TS med højt ammoniumindhold. Slutproduktet vil kunne benyttes på landbrugsjord som jordforbedring.

Tabel 4.8 Svenske anlæg der modtager slagteriaffald.

Anlæg	Affaldstyper	Total-mængde (ton/år)	Slagteriaffald andel (% våd)	Slagteriaffald andel (% tør)	TS (%)
Kalmar	Gødning, slagteriaffald	27.000	~30% slagteriaffald	-	7-8
Kristianstad	Gødning, organisk husholdningsaffald, slagteriaffald og industriaffald	73.000	10% Mave & tarm-indhold (kyllinger), 20% mave- & tarm-indhold (svin & kvæg)	12% Mave & tarmindehold (kyllinger), 20% mave & tarmindehold (svin & kvæg)	9
Laholm	Gødning, slagteriaffald og industriaffald	35.000	23% slagteri- & industriaffald	55% slagteri- & industriaffald	8-10
Linköping	Gødning, slagteriaffald, spildevandsslam, steriliseret højrisikomatr., procesvand og fedtslam	50.000	7% højrisikomatr., 7% alm. slagteriaff., 12% procesvand fra slagteri	18% højrisikomatr., 18% alm. slagteriaff., 15% procesvand fra slagteri	7

Data for april 1998. Kilde: Jes la Cour Jansen. Lunds Tekniska Högskola

4.6 "Katalog" over mulige behandlingsmetoder

Der er en række tekniske muligheder for at løse de procesmæssige problemer på de enkelte anlæg, som vil blive belyst efterfølgende. Det virker dog omsonst at behandle symptomer i en hæmmet/overbelastet proces, hvis det er muligt at udelukke årsagen hertil ved en mere hensigtsmæssig fraktionering af de animalske biprodukter, således at der kan produceres en deklareret biogaspulp, som er velegnet og attraktiv at tilføre biogasanlæg, og som samtidig kan aftage en væsentlig del af de animalske biprodukter, der ellers ville udgøre et bortskaffelsesproblem for slagteribranchen og kødbenmelsfabrikker.

4.6.1 Renere produkter - ændret håndtering

Der er en række kvalitetskrav, der bør tages hensyn til i opskriften på en egnet "biogaspulp", der kan produceres fra centralt hold af Daka for anvendelse på biogasanlæg. Følgende punkter kan fremhæves.

1. Kun svinemateriale for at undgå BSE smitterisiko.
2. Frasortering af ben for at nedbringe fosforindholdet og undgå vanskeligheder med tilstopning i procesanlæg.
3. Minimering af blod for at reducere ammoniumhæmning.
4. Lavt indhold af protein for at reducere risiko for skumning.
5. Findeling og blanding med fedtholdigt materiale af hensyn til biogasudbytte.
6. Tryksterilisering og deklarering af materiale.
7. Evt. stabiliseret med eddikesyre eller lignende.
8. Transport i lukkede beholdere af hensyn til lugt.

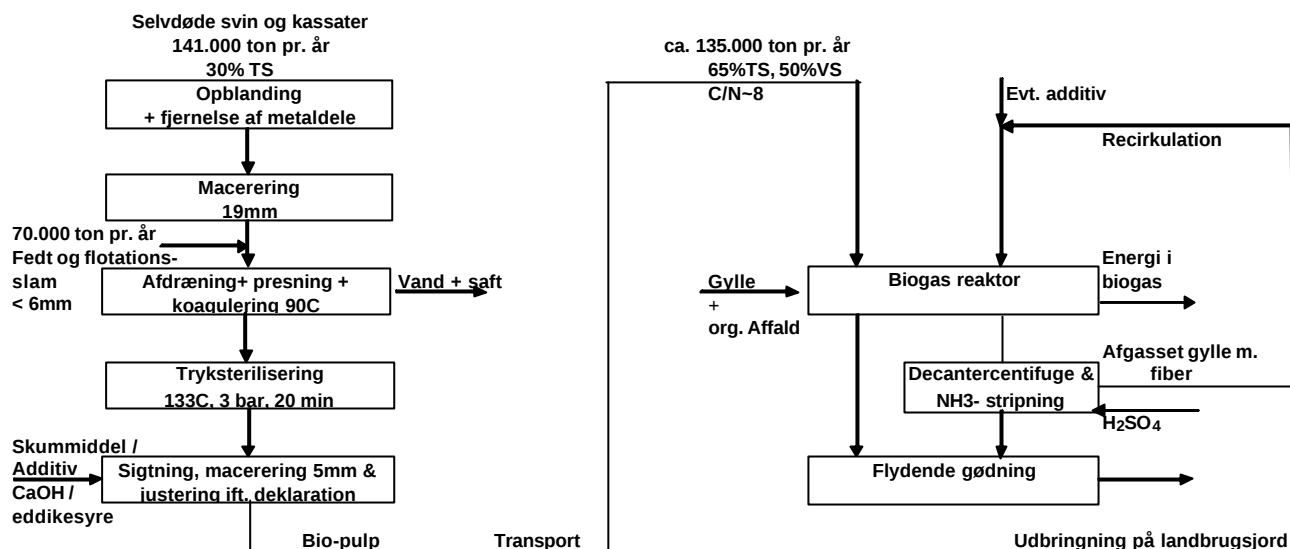
4.6.1.1 Direkte opblanding

En sådan biogaspulp vil i et vist omfang kunne tilsættes direkte til biogasanlæg uden yderligere behandling. På basis af de udførte forsøg (se anneks A) er det vurderet, at der kan tilsættes omkring 2% (20 kg pr. ton tilført gylle) Daka biogaspulp (65% TS 36% råfedt af TS) til de eksisterende biogasanlæg, hvilket svarer til ca. 55% af den maksimalt forventede mængde af materiale egnet til biogaspulp. Denne mængde forudsætter, som tidligere nævnt, optimal håndtering på slagterier og kødbenmelsproducenter, og det er sandsynligt, at der i hvert fald på kortere sigt måske kun er den halve mængde til rådighed, hvorved der tilsyneladende kan opnås balance mellem affaldsressourcen og behandlingskapaciteten ved direkte opblanding i eksisterende biogasanlæg også uden en ensartet fordeling til alle biogasanlæg. Da biogasanlæggene gradvist kan tilvendes en større dosering er det muligt at der med tiden kan tilsættes op til 3% biogaspulp. På længere sigt vil der dog blive behov for flere biogasanlæg til behandling af affaldsressourcen eller væsentlige ombygninger på eksisterende anlæg, så de kan modtage en større mængde pulp.

Da rådnetanke på spildevandsrensplan har en væsentligt lavere belastning og ammoniumbyrde i forhold til biogasfælles anlæg, vil disse rådnetanke relativt kunne modtage en større andel biogaspulp (antagelig omkring 60 kg Daka svinepulp (65% TS heraf 36 % råfedt) pr. ton totalt tilført materiale). Hvor slutdisponeringen af slammet stadig er på landbrugsjord uden afvanding, vil biogaspulp derfor med fordel kunne tilføres her.

Ved tilførsel af større mængder biogaspulp vil der blive behov for procestekniske ændringer på biogasanlæggene for at reducere ammoniumkoncentrationen.

Nedenstående procesflowdiagram illustrerer masseflow og behandlingsmetoden:



Figur 4.9 Behandlingsmetoder til biogas.

4.6.2 Procestekniske metoder

4.6.2.1 Ammoniumreduktion

Ammoniumreduktion kan foretages ved stripping for ammoniak og fortynding ved recirkulation.

Behandling af pulp eller andet fast materiale fra slagteaffald, døde dyr og lignende i et biogasanlæg vil medføre behov for justering af tørstofindholdet for at sikre pumpbarhed. Materialets indhold af ammoniak vil kunne medføre risiko for ammoniumforgiftning af biogasprocessen.

Enten skal materialet tilføres i forholdsvis små mængder, eller også skal det forbehandles, så ammonium-indholdet er tilpasset biogasanlæggets proceskrav.

I det følgende tages udgangspunkt i behandling af en kødpulp med 40% TS og et meget højt N-indhold. Kødpulpen tryksteriliseres og ønskes herefter omsat i et biogasanlæg. Materialet konditioneres således, at det umiddelbart kan tilføres biogasanlægget op til de 25%, der er grænsen for husdyrbekendtgørelsen.

Pulpen er ikke umiddelbart pump- eller omrørbar og må forudsættes opspædet til en blanding med TS på 12-13% før indpumpning i biogasreaktor.

Ved tilførsel af 10.000 tons materiale kræves en vandtilførsel på ca. 27.000 tons pr. år, og det er derfor oplagt, om denne væskemængde kan tilvejebringes ved separering af den afgassede biomasse. Den afgassede biomasse vil indeholde store mængder NH_4^+ -N, og risikoen for ammonium-forgiftning af processen er dermed betydelig.

Stripning af NH_3 gas fra en NH_4^+ holdig vandig opløsning er teknisk velkendt; men har ikke inden for spildevandsrensning haft noget stort gennembrud i sin anvendelse. Teknikken er ligeledes afprøvet helt tilbage fra gylleproblematikkens/biogasteknologiens egentlige politiske erkendelse omkring midten af 1980^{erne} og er ofte bragt i forslag uden nogen

gennemslagskraft. I den aktuelt fornyede interesse for gylleseparering er ammoniakstripping af flere firmaer igen bragt på banen [46]:

Ammoniakstripping fordrer tekniske installationer, der har såvel kapital- som driftsomkostninger. Da NH_3 gassen videre skal bindes, går op mod $\frac{3}{4}$ af driftsomkostningerne til indkøb af kemikalier f.eks. i størrelsesordenen 3 kg svovlsyre eller 5 kg gips pr. kg ammoniak. Denne støkiometriske nødvendighed er en væsentlig økonomiske ulempe. Stripningens effektivitet er meget temperatur- og pH-afhængig.

I nedenstående beregning er massebalancen for en separation med efterfølgende stripping skitseret ud fra erfaringstal fra Krügers rapport: "Opkoncentrering af næringsstoffer i afgasset biomasse" [46].

Da tilsætning af affald udgør over 25% af TS kan udbringning ikke ske iht. husdyrbekendtgørelsen, men skal opfylde slambekendtgørelsen.

Tabel 4.10 Processkema for ammoniumreduktion.

Processkema recirkulation										
Driftstid:	8000time/år			Biogasproduktion:			40m ³ /m ³	Densitet: 1,15kg/m ³		
Procestrin	Mængde ton/år	Flow kg/h	Temp. C	TS %	TS kg/h	TS ton/år	N kg/ton	N kg/time	P kg/ton	P kg/time
Pulp	10.000	1,3	8,0	40,0	0,5	4.000	20,0	25,0	15,0	18,8
Tryksterilisering	10.000	1,3	133	40,0	0,5	4.000	20,0	25,0	15,0	18,8
Pumpning	10.000	1,3	120	40,0	0,5	4.000	20,0	25,0	15,0	18,8
Recirkulation	32.349	4,0	70	3,4%	0,1	1.114	5,7	23,2	1,1	4,4
Anden gylle	50.000	6,3	8	6,0%	0,4	3.000	6,0	37,5	1,0	6,1
Input reaktor	92.349	5,3	52,5	8,8%	1,0	8.114	7,4	85,7	2,5	29,3
Output biogas	2.760									
Output afgasset	89.589	11,2	52,5	8,8%	1,0	7.871	7,7	85,7	2,6	29,3
Separation										
Afgasset biomasse	40.000	5,0	52,5	8,8%	0,4	3.514	7,7	38,3	2,6	13,1
Centrifuge Tyk fraktion	7.651	1,0	52,5	31,4%	0,3	2.401	4,7	4,5	9,1	8,7
Tynd fraktion	32.349	4,0	52,5	3,4%	0,1	1.114	8,4	33,8	1,1	4,4
Stripning										
Tynd fraktion til stripning/ skrubning	32.349	4,0	53	3,4%	0,1	1.114	8,4	33,8	1,1	4,4
Strippet tynd fraktion	32.349	4,0	70	3,4%	0,1	1.114	5,7	23,2	1,1	4,4
Skrubbet fraktion										
Forbrug:	23,9	kg/time svovlsyre								
	46,3	kg/time vand								
Output:	Gødningsvæske	6,69	kg/h NH ₄ ⁺ opl. som				78,74	kg/h (NH ₄) ₂ SO ₄		

Rapportens sigte var at frembringe et højværdigt gødningsprodukt ud fra afgasset gylle, men den skitserede teknologi er den samme ved nedbringelse af N-indholdet i den recirkulerede væskefraktion.

Den strippede fraktion, der anvendes til recirkulation, har et indhold af næringsstoffer svarende til rågylle, men uden dennes gaspotentiale. Det kan således bedre svare sig at tilspæde rågylle.

Endvidere fremgår det, at det resulterende indhold af total N vil ligge på 7,74 kg/ton tilført materiale til biogasreaktoren, hvilket er højt i forhold til en stabil proces.

I stripper/skrubber trinnet uddrives ammoniakken fra vandfasen i et strippetårn og omsættes efterfølgende med svovlsyre i skrubberen til ammoniumsulfat.

Strippereffektiviteten er som tidligere nævnt stærkt pH^+ og temperaturafhængig op til kogepunktet, hvor al ammoniak uddrives. I et kontinuert procesforløb vil tilførsel af overskudsvarme være en fordel. Der skla endvidere arbejdes med et ikke ubetydeligt overskud af svovlsyre. Det resulterende ammoniumsulfat er letopløseligt i vand (koldt vand 75 g/ml) og ikke umiddelbart anvendeligt som gødningsprodukt – dog eventuelt ved en simpel blanding med den faste fraktion, hvormed en del af syreoverskuddet kan udnyttes.

For ammoniakstripping er tekniske løsninger på markedet i afprøvet form.

Forudsættes en indgående ammoniumkoncentration svarende til 5 kg/ton og byggende på, at $\frac{3}{4}$ af totalkvælstof er på ammoniumform, må det antages, at ammoniumkoncentrationen i afgasset materiale herefter vil andrage omkring 6 kg/ton (6000 ppm).

Såfremt afgasset materiale behandles i et inddampningsanlæg, hvor destillatet ønskes som ”vand med lav ammoniumkoncentration” til recirkulering som procesvand for at gøre tilført materiale med 40% tørstof pumpbart til biogasomsætning, vil faststoffractionen være fri for ammoniumkvælstof, men indeholde det organisk bundne restkvælstof og formentlig have et tørstofindhold på 85-90%.

Produktet vil indeholde 5-7 kg organisk bundet kvælstof per ton (0,5-0,7 %). Det vil ikke besidde nogen egentlig gødningsværdi til landbrugsformål og vil formodentlig blive belastet med udbringnings- og modtagegebyrer som f.eks. spildevandsslam.

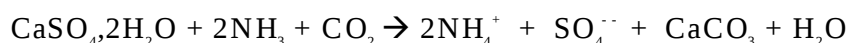
Destillatet vil blive en 0,7 til 1,0% ammoniakopløsning – mætningspunkt for ammoniaks vandopløselighed $\sim 30\text{-}35\%$. Selv med et behov for spædevand på 120 kg/ton afgasset vil procesvandet relativt hurtigt blive mættet, hvilket vil være proceshæmmende og medføre løbende ammoniakafkast fra et inddampningsanlæg.

Ved et inddampningsanlæg kan ammoniakken i gasform opfanges. Den kan herefter lades reagere med svovlsyre ($2\text{NH}_3 + \text{H}_2\text{SO}_4 \rightarrow (\text{NH}_4)_2\text{SO}_4 + \text{varme}$). Det støkiometriske forbrug af 100% syre andrager 2,9 kg/kg NH_3 . En fuldstændig ammoniakfjernelse fra 1 ton afgasset materiale kræver således ca. 18 kg 100% svovlsyre. Med en svovlsyrepris på 1,5 kr./kg andrager de rene marginale omkostninger til syrekøb således 27 kr./ton afgasset materiale. Denne velkendte svovlsyreproces er ikke bundet af nogen form for patenter. Ammoniumsulfat er et højværdigt gødningsprodukt med 21% kvælstof. Reaktionsopløsningen kan f.eks. blandes med den faste fraktion fra inddampningsanlægget og som resultant give et produkt med egentlig gødningsværdi. Det vil være rent gættteri at begynde med prisforudsætninger for et sådant produkt, der fortsat vil henhøre under affaldsbekendtgørelsen og ikke loven om gødningsstoffer – henholdsvis Miljøministeriet og

Fødevarerministeriet – selv om der kemisk set måtte være tale om identiske stoffer.

Det økonomiske holdepunkt i den forbindelse må være, at en gennemsnitsgødsning med 90 N og 13 P/ha i foråret 2003 kostede landmanden 900 kr. – uden eget arbejde, altså udbragt på jorden, men inklusive noget K. Der er ca. 2 millioner ha i Danmark, der får en sådan gennemsnitsgødsning årligt, så markedsøkonomisk er det af stor volumen.

Der vil kunne anvendes en ret uren svovlsyre fra f.eks. svovlfjernelse på kraftværker (Haldor Topsøe processen) – også et affaldsprodukt uden for almindelig prisdannelsesteori - men efterhånden har gipsprocesserne fået overvægt på kraftværkerne. Ammoniumsulfat fra svovlsyre er en ret ubehagelig og kraftig exoterm proces, og det kunne være nemmere at bruge gips. Det kan eventuelt være muligt at komme til en pumpbar opslemning af ammoniumsulfat og calciumcarbonat ud fra gips under samtidig fjernelse af kuldioxid fra biogassen:



Finmalet gips kan behandles med (slemmes op i) ammoniakvand og biogas sendes igennem opslemningen. CH_4 er uopløselig og samles op igen. Ved normal syntese vil man frafiltrere CaCO_3 og inddampe filtratet til krystallisation. Imidlertid har både ammoniumsulfat og calciumcarbonat landbrugsrelevans og opslemningen med calciumcarbonat må kunne udbringes direkte som kvælstofgødning med indbygget reaktionstolkompensation – ammoniumsulfat er en meget sur gødning, der sænker jordens reaktionstal eller pH. En sidegevinst her kan være reduktion af biogassens kuldioxidindhold. Det støkiometriske gipsforbrug vil være 5 kg/kg NH_3 , der samtidig binder 1,3 kg CO_2 . Processen kan i bestemte sammenhænge være patentdækket, men er ellers velkendt.

Ammoniak i gasform fra et inddampningsanlæg kan med sigte på gødningsformål bindes på anden måde. En proces, der med sikkerhed vides dækket af international patentret, er oparbejdning til hexamethylentetramin ($\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$) i en vakuumsyntese. Hexamethylentetramin er et hvidt vandopløseligt stof, der ligner handelsgødning og indeholder 40% kvælstof. Gødningsmæssigt kan det udbringes overfladisk med høj virkningsgrad selvom der med reference til urea ($\text{CO}(\text{NH}_2)_2$) er tale om kvælstof på amidform. Problemet med ikke juridisk set at være et gødningsstof til fri markedsføring er dog stadig ikke løst, men dispensation vil måske lettere kunne fås her end for syre/gips produkterne. Processen må antages alene at kunne hænge økonomisk sammen, hvis hexamethylentetramin kan sælges til fuld markedspris – altså blive løftet ud af affaldsbekendtgørelsen – men selv da vil den blive dyr og man kan betvivle efterspørgslen i konkurrence med mere gængs handelsgødningskvælstof.

En niche kunne tænkes, hvis dette højværdige produkt blev fritaget for en eventuel kommende kvælstofafgift, men dette vil jo så også blive tilfældet for syre-/gipsprodukterne, og distancen skal alene stå på koncentrationen. I Tyskland er fra affaldsstoffer genvundne plantenæringsstoffer efter de af firmaet Seaborne EPM AG udviklede og patentdækkede processer blevet anerkendt som handelsgødning – herunder også $\text{C}_6\text{H}_{12}\text{N}_4$.

Ved katalytiske fremskridt er ammoniaksyntesen over årene blevet meget effektiv, men stadig meget energikrævende. Der er ingen uoverstigelige tekniske problemer ved genvinding af ammoniak fra organiske affaldsprodukter, men alene politisk betingede omkostningsspørgsmål, og det vil stedse forblive meget billigere at producere nyt ammoniakkvælstof til gødningsformål eller andet end at genvinde samme mængde fra affaldsprodukter. Vedrørende ”politisk betingede omkostningsspørgsmål” bør udfaldet for det hollandske kæmpeanlæg i Helmond have i erindring – teknisk perfekt, men lukket da den hollandske stat af EU konkurrencehensyn ikke måtte subsidiere behandlingsprisen for gylle ned til, hvad svineproducenterne ville/kunne betale.

Uden et inddampningsanlæg kunne f.eks. tænkes i en proces som følger:

- Centrifugering af afgasset materiale
- Flydende fraktion til NH_3 stripperkolonne og svovlsyrebinding af NH_3
- Fast fraktion blandes med ammoniumsulfatopløsning i svovlsyreoverskud

Resultanter:

1. Procesvand med ca. 30% reduceret ammoniakindhold
2. Faststoffraktion med ca. 35% tørstof og en teoretisk gødningsværdi på omkring 100 kr./tons

Der er forsøgsmæssigt belæg for – uden hensyntagen til ovennævnte teoretiske gødningsværdi - i fuldskala (biogasanlæg 500 m³ gylle daglig) at estimere omkostningerne til ca. 15 kr./m³ afgasset materiale - 12 kr. til drift og 3 kr. til kapital, af driften udgør udgift til køb af kemikalier syre og brændt kalk 70%. Faststoffraktionens teoretiske gødningsværdi er så høj, at den mindst burde være omkostningsneutral selv ved betydelig transportafstand.

Et regneeksempel for et anlæg på 500 tons/dag er vist nedenstående.

Tabel 4.11 Udgifter ved ammoniumreduktion.

	Centrifuge og stripper/skrubber x 1000 kr.
Investering:	
Centrifuge	2000
Stripper/skrubber	4000
Elarbejde	<u>600</u>
Investeringer i alt	6600
Drift og vedligehold:	
Kemikalier, H ₂ SO ₄ og CaO & gips	1640
Skyllevand (17 kr./m ³)	30
Vedligeholdelse total:	170
(Centrifuge)	70
(Stripper/skrubber)	100
El total (0,4 kr./kWh)	348
400.000 kWh (centrifuge)	160
470.000 kWh (stripper/skrubber)	188
Løn (1 dag/uge a 150 kr./time)	<u>60</u>
Drift i alt	2248
Resultat:	
Årlige kapitaludgifter	726
Årlige kapital + driftsudgifter i alt	2974*)

*) svarer til en behandlingsudgift på **16,3 kr. pr. ton** afgasset materiale.

Anlægsudgifterne er eksklusive bygninger og udstyr til håndtering af den tørre fraktion.

Der er regnet med følgende forudsætninger:

Realrente 7%
Afskrivningsperiode 15 år

Vedrørende faststoffractionen skal der yderligere tilføres lidt calciumcarbonat, da syreoverskuddet i ammoniumsulfatopløsningen er større end, hvad der svarer til ammoniakindholdet i dens vandfase.

Blandingen af faststoffraction og ammoniumsulfatopløsning vil være lagerstabil, men skal opbevares under tag, da ammoniumsulfat er vandopløseligt. Det bør kunne opbevares i overdækkede markstakke, da tørstofkravet er opfyldt, jfr. både husdyrgødnings- og affaldsbekendtgørelser.

For at mindske ammoniumlasten i en indgående masse (bedre C/N forhold) kunne der tænkes en blanding med affaldsfraktioner med lavt/lavere kvælstofindhold som f.eks. organiske husholdningsaffald. En anden mulighed er affald fra landbrug som råddent halm og sen afpudsning fra brakmarker. Sådant affald kan eventuelt blot køres sammen i dynger og bruges over året med det regnvand, det måtte have opsuget.

Konklusioner

Ammoniakstripping er velkendt teknologi, der især økonomisk hæmmes af krav om forholdsvis store mængder tilsætningskemikalier, uden at der opnås en fuldstændig ammoniakfjernelse.

Inddampningsanlæg rummer nogle procesmuligheder for en fuldstændig ammoniakfjernelse.

Det må dog anses for urealistisk at komme under procesomkostninger svarende til 25 kr./ton afgasset, og prisen kan meget vel blive op til 4 gange højere, afhængig af opgraderingsgraden for genvunden NH_3 . Fungi oplyser behandlingsomkostninger på omkring 100 kr./ton afgasset. Med udgangspunkt i en omkostning på 25 kr./ton afgasset og omregnet til tilført mængde pulp, kommer procesomkostningen let op på 200-300 kr./ton pulp tilført, hvilket er mere end værdien af gasproduktionen fra den tilførte pulp. Der bliver således tale om at beregne en behandlingsomkostning for at modtage svinepulpen på biogasanlæggene, hvis mængden skal overstige, hvad anlægget umiddelbart kan modtage jf. afsnit 6.2.2.1.

Behandlingsomkostningen ved 'overdosering' vil markedsmæssigt skulle konkurrere med produktion af kødbenmel og efterfølgende forbrænding.

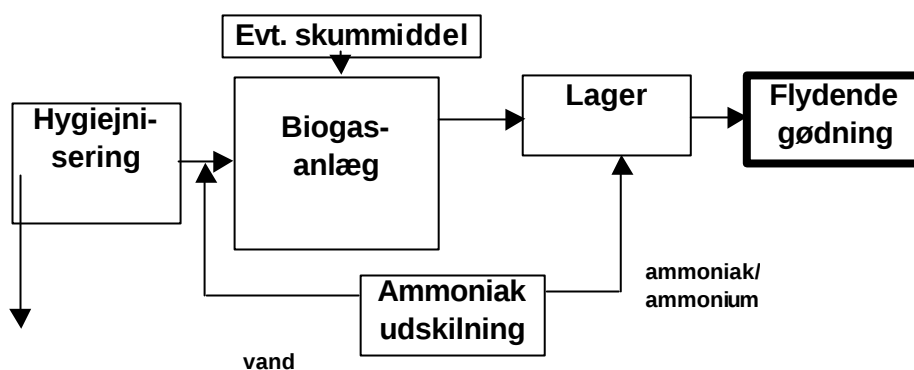
Forslag til videre arbejde

Førnævnte gennemgang og konklusioner leder til følgende forslag til større forsøg, der vil kunne belyse de enkelte behandlingsmetoders effektivitet i større skala.

De basale procesparametre er velkendte, og større selvstændige forsøg vil være både kostbare og usikre uden involvering af specifikke procesleverandørinteresser med henblik på efterfølgende garantistillelse.

Skal man videre ad den vej, bør der gennemføres en prækvalifikation og for et konkret anlæg udarbejdes et specifikt funktionsudbud via uafhængige rådgivere.

Mulige procesleverandører vil i mange tilfælde selv være i stand til at gennemføre større forsøg på aktuelt substrat, hvor referenceanalyser og massebalancer igen må vurderes.



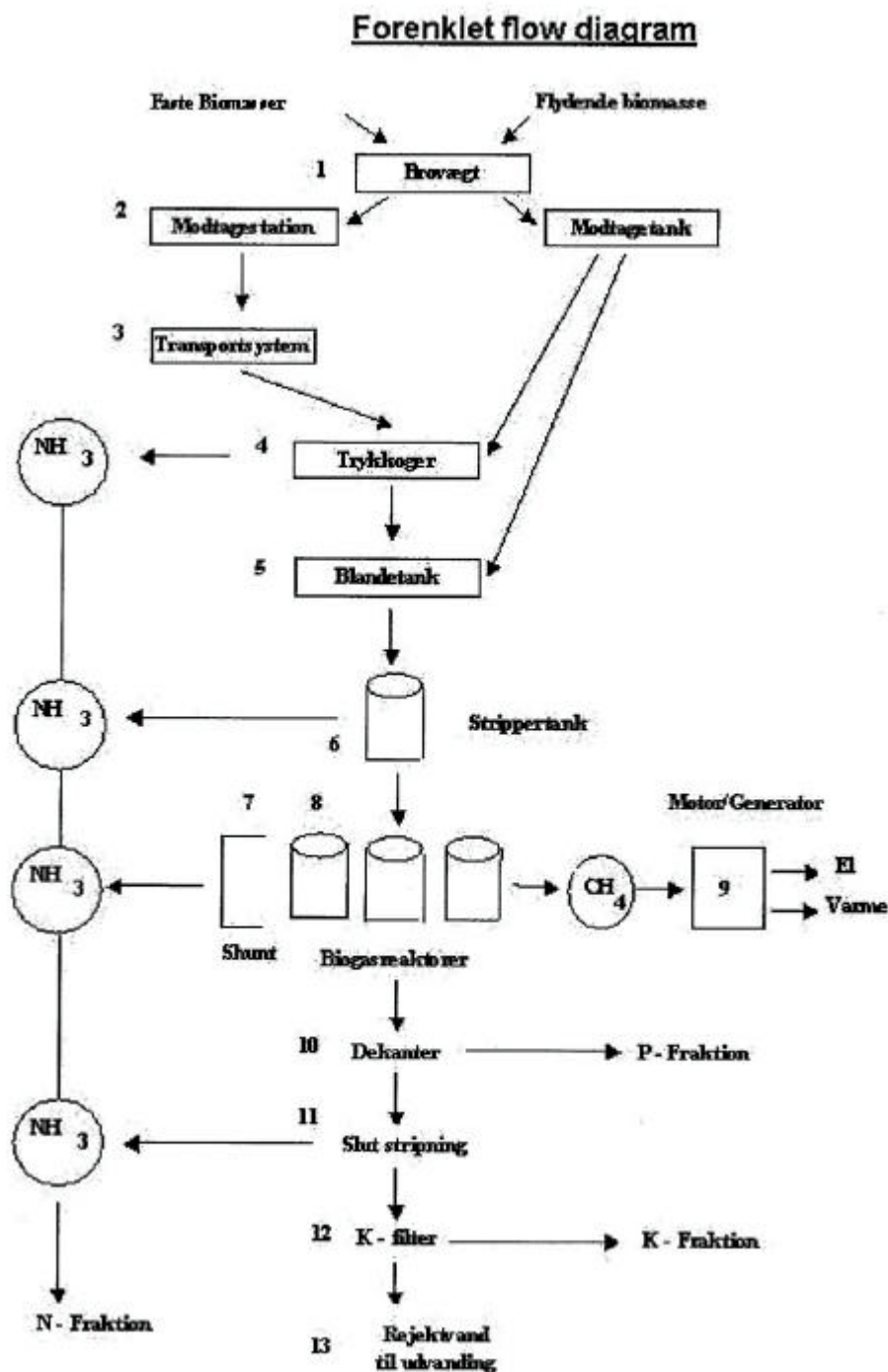
Figur 4.12 Proces til afprøvning i forsøg

En mindre anlægsændring på biogasanlæg, som kan have en vis effekt, kunne være at forsyne en mindre lagertank med overdækning og belufte den afgassede gylle, hvilket vil give en vis ammonium uddrivning, hvorefter den afgassede gylle kan recirkuleres og fortynde koncentrationen i biogasreaktoren til et mere acceptabelt niveau.

Den uddrevne ammoniak vil, som ovenfor beskrevet, kunne fanges i et vasketrin og genanvendes til gødskning.

Nedenfor er vist et af de nye anlægskoncepter, der er demonstreret i fuldskala og for tiden søges markedsført. I konceptet, i dette tilfælde fra Green Farm Energy, indgår en højtemperatur hydrolyse og damp-ammoniak stripping samt opdeling af materialet i flere næringsstoffraktioner som væsentlige elementer. Slutprodukterne er en 25% $\text{NH}_4\text{-N}$ opløsning, en P-holdig fiberfraktion og eventuelt en K-fraktion, samt vand, der er så rent, at det kan benyttes til skyllevand i stalde eller markvanding.

Resultater og tal for driftsøkonomi fra langtidsdrift vurderet af uafhængig instans er endnu ikke tilgængelige, men konceptet ser lovende ud for fremtidige anlæg, når markedet for udbringning af gylle går i mætning, og næringsstoffraktionerne kan transporteres over længere afstand og doseres efter og hvor der er behov herfor.



Figur 4.13 Forenklet procesdiagram for GFE-processen

4.6.2.2 Reduktion af skumning

Erfaringer fra tidligere forsøg udført af EnergiGruppen Jylland med tilførsel af svinepulp og kødbenmel har vist, at en tilførsel af proteinholdigt materiale kan medføre øgede problemer med skumning, som kan give procesmæssige problemer og sætte en øvre grænse for, hvor meget animalsk affald der kan tilføres. Skumdannelse kan give driftsstop i biogasanlæggets gasside.

Det er dog konstateret, at hæmning forekommer forud for skumning, således at skumning ved tilførsel af deklareret svinepulp ikke skulle give problemer. Udrådningsforsøg udført hos gårdejer Kent Skaaning i Sdr. Vium ved Ølgod med tilsætning af 5% biogaspulp, i alt 200 tons, i gårdbiogasanlæg bekræfter

dette. Det er endvidere erfaret, at tilsætning af CaOH kan benyttes til at dæmpe eventuelle lejlighedsvis opståede skumproblemer.

I dag tilføres visse steder en mindre mængde kemisk inaktivt silikoneolie som skumdæpende middel i biogasreaktorer (typisk 0,5 l pr. dag pr. 100 m³ reaktorvolumen under normal drift eller 5 l pr. 100 m³ reaktorvolumen, hvis skum skal slås ned). Metoden blev udviklet tilbage i 1994 med forsøg på Lintrup og Sinding biogasanlæg.

Skumdannelse skyldes, at overfladeaktive stoffer, herunder fedtsyrer C₁₀-C₂₀ og rester fra proteinnedbrydning, vokser under nedbrydningen af lange molekyler. Disse stoffer ophobes ved overfladen i skumfasen, hvor de ikke er tilgængelige for bakterierne. Silikoneolien spreder sig over skumlamellerne og fortrænger de overfladeaktive molekyler, som opretholder skumets stabilitet, hvorved skummet kollapser, og en stabil gasproduktion etableres.

En anden mulighed for skumreduktion kunne være at vaske (bruse) overfladen med en bakteriekulturholdigt slam fra reaktoren, så bakterierne får bedre kontakt med skummet og kan nedbryde det.

4.6.2.3 Sigtning og neddeling

Det er vigtigt, at tilført materiale til biogasanlæg findeles til en homogen masse, da dette medfører et øget gasudbytte.

For at fedt og floatationsslam, skal der - jf. EU forordningen - på slagteriet foretages en sigtning til mindre end 6 mm forud for udskilning af fedt og floatationsslam. En sådan sigtning bør også foretages for biogaspulp, idet ben og bruskdele kan give problemer med tilstopninger i biogasanlægget og vil bundfælde i fortanke og biogasreaktor.

For at forbedre neddelingen og opblandingen på biogasanlægget kan der etableres en maceratorpumpe på biogasanlægges fortank, der modtager animalsk affald.

4.6.2.4 Fosforreduktion

Da fosforindholdet i fremtiden (del af vmpIII forhandling) kan blive begrænsende for, hvor meget gylle der kan udbringes på landbrugsjord, og det er derfor ønskeligt, at tilførsel af animalsk affald ikke bidrager væsentligt til fosforindholdet i den udrådnede gylle.

Reduktion af fosforindholdet kan opnås på 2 principielle måder:

- a) Reduktion af fosforindholdet ved kilden på slagteriet / kødbenmelsfabrikken, eller ved
- b) Fældning af fosfor og separation fra den udrådnede gylle.

Ad. a) Da fosforen hovedsageligt findes i knoglemateriale, foretages fosforreduktion lettest ved, at skærebene fra slagtede svin frasorteres på slagteriet, og på Daka ved at pulp fra hele dyr hakkes i to trin med mellemliggende sigtning, således at størstedelen af ben og bruskrester tilbageholdes.

Ad. b) Da fosforen for en stor del findes i fiberfraktionen i det udrådnede materiale, kan fosforindholdet i udrådnede gylle til landbrugsjord nedbringes i en dekantercentrifuge, som vil kunne frasortere en væsentlig del af fibre.

Det er således muligt at frasortere omkring 80% af fosforen og udbringe den adskilt fra den vandige fraktion. Kvælstof og kalium for langt størstedelen i den vandige fraktion, således bliver tabet ved udtag af fiberfraktionen begrænset. Prisniveauet for en dekantercentrifuge starter i omegnen af 300.000 kr. og driftsomkostningerne er ikke ubetydelige. Det er derfor vigtigt at have gennemtænkt afsætningsmulighederne før man investerer i et separeringsanlæg.

Fiberfraktionen kan, hvis fosforen ikke kan afsættes, f.eks. blandes med snittet halm og presses til kiks med over 60% tørstof, hvorefter den teknisk set kunne benyttes som brændsel på biobrændselsanlæg. Asken herfra vil indeholde de gødningsstoffer, der var bundet i fiberfraktionen. Det er ikke tilladt at afbrænde fiberfraktionen som biomasseaffald - fiberfraktionen fra et gylle separeringsanlæg er stadig husdyrgødning og skal genanvendes. Hvis det brændes er det affald og skal brændes i et affaldsforbrændingsanlæg...

Økonomi i biogasanlæg

Tilførsel af organisk affald på biogasanlæg er ofte behæftet med et modtagegebyr på 25-50 kr. pr. ton leveret på biogasanlægget.

Den vægtede pris for produceret biogas, gældende for kombineret el- og fjernvarmeproduktion, er typisk på 2,5 kr./Nm³, forudsat at biogasanlæggene og gasmotorer har den fornødne kapacitet, og der er afsætning for den producerede varme.

En typisk omkostningsstruktur i pr. m³ total behandlet biomasse for et biogasanlæg er:

Salg af gas	51 kr.
Modtagegebyr for affald	5 kr. *)
Støtte	6 kr. (0)
Transport af gylle	-19 kr.
Produktionsomkostninger	<u>-43 kr. (29-46)</u>
Overskud	0 kr.

*) Affald udgør kun en mindre del af den totale behandlede biomasse.

Da biogasanlæggene ikke giver overskud, men hviler økonomisk i sig selv, bør tilførsel af eksempelvis svinepulp som minimum være økonomisk neutralt for biogasanlæggene, før denne behandlingsvej vil kunne finde sted. Et naturligt prisleje for markedets parter kunne være midtvejs mellem omkostningen ved tilførsel til biogasanlæg og en alternativbortskaffelse ved forbrænding. Prisen bør afspejle omkostninger ved eventuelt behov for fosforseparation.

4.7 Forsøgsresultater

4.7.1 Tidligere udførte forsøg

EnergiGruppen Jylland har tidligere udført forsøg med udrådning af svinepulp og kødbenmelsfraktioner fra Daka. Der blev tilsat 1,4% svinepulp med lavt fedtindhold, som var fortyndet 1/5 med vand. Der blev opnået en biogasproduktion på 300 l/kg VS eller 60-70% af det beregnede potentiale på grund af en kraftig hæmning (ca. 50%) af den samlede biogasproduktion.

Ved tilsætning af halvt så meget kødbenmel blev forholdene ikke bedre. Dertil kom kraftig skumdannelse og bundfald fra kødbenmelet.

Resultaterne var nedslående og viste, at enten måtte der kun tilføres meget små mængder, eller også skulle pulpens sammensættes, så den blev egnet for behandling i biogasanlæg, herunder have et højt fedtindhold.

Direkte tilsætning af kødbenmel blev vurderet som urealistisk at arbejde videre med, samtidig med at en forædling til tørt kødbenmel synes i modstrid med, at der i biogasanlæg arbejdes med våde materialer, eneste plus var at kødbenmelet var lagerstabilt.

4.7.2 Nye forsøg

Der er i under nærværende projekt gjort mange tanker om at få isoleret velegnede materialefraktioner, jf. tidligere kapitler, og få defineret opskriften på en biogaspulp, som er velegnet til at tilføre biogasanlæg generelt.

Der er herefter på basis heraf udført en række batch udrådningsforsøg med Daka biogaspulp som tilsætningssubstrat. Forsøgene er udført i laboratorium på Studsgård biogasanlæg ved Herning.

Forsøgene er udført som termofile batch-forsøg i omrørt reaktor med en konstant temperatur på 50°C med 1000 ml afgasset blandingsprodukt fra biogasreaktor som podemateriale og med en forinkubering på 1 døgn forud for substrattilsætning.

Fra Daka pulpen og nedfrossen podemateriale er udtaget materiale til laboratorieanalyser ved DLG's centrallaboratorier, AUC Esbjerg ved biogasgruppen, Eurofins og EGJ Biogas.

Daka pulpen er leveret fra Daka's fabrik i Løsning og er produceret af hakket svin neddelt og formodentlig blendet til en meget homogen blanding. Materialet er tryksteriliseret og delvist inddampet. Pulpen er en af de varianter, der forventes at blive udbudt til som standardvare fra virksomheden, og har følgende specifikationer:

TS:	65,2%	af total
VS:	49,4%	af total
VS/TS:	75,8%	
Råfedt:	23,3%	af total
Råprotein:	23,7%	af total
Aske:	15,8%	af total
Andet:	2,4%	af total
Fosfor P:	2,9%	af total
Kulstof C:	50%	af TS
Total N:	3,79%	af total = 6,1% af TS
C/N:	8,2	



Figur 4.14 Foto af den tilførte Daka biogaspulp, materialet fremstår som en meget findelt homogen brungrå masse med konsistens som fedtet grød.

Det benyttede podemateriale (udrådnet blandingsbiomasse fra Studsgård biogasanlæg) havde følgende data:

Sammensætning:	71% svinegylle, 18% kvæggylle, 6% blegejord 3% fedt og flotationsslam 2% andet affald.
TS start forsøg 1,2 og 3:	77, 58 og 61 %
VS start forsøg 1,2 og 3:	38, 30 og 31 %
TS slut forsøg 1,2 og 3:	71, 46 og 59 %
VS slut forsøg 1,2 og 3:	32, 22 og 28 %
pH:	7,9
Kulstof C:	30% af TS
Total - N:	6,5 g/l af total = 6,1% af TS
NH ₄ -N:	2,7-3,0 g/l
P:	1 g/l af total
C/N:	4,9

Omregnes til indgående materiale til biogasanlæg, har C/N-indholdet været omkring 8,5-9 altså svarende til C/N-forholdet i Daka pulpen.

Forsøgene er udført som 3 tidsmæssigt adskilte forsøgsrækker i serier af 3 dobbelt bestemmelse pr. parametervariation og i alt 7 batches pr. forsøg - dvs. 2 serier og 1 kontroludrådning af podematerialet.



Figur 4.15 Foto af forsøgsopstilling i biogaslaboratoriet.

Der er udført følgende forsøg:

Forsøg 1: Høj belastning med tilsætning af 20 og 30 g substrat for at finde grænse for hæmning.

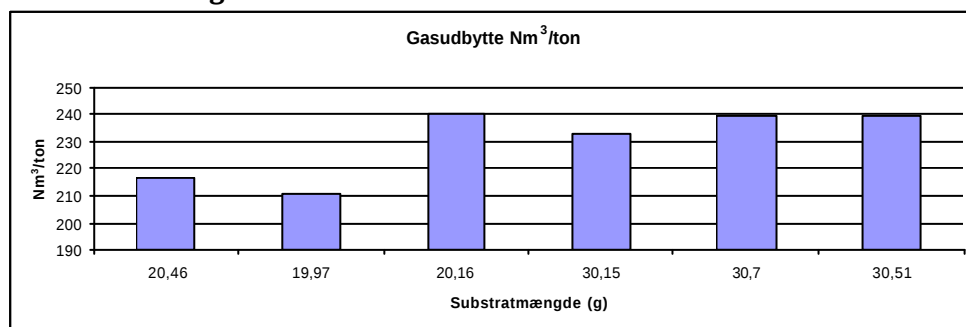
Forsøg 2: Høj belastning med tilsætning af rapsolie svarende til 50% af substratmængde for at se, om der kan kompenseres for hæmning ved øgning af C/N forhold. Der er tilsat henholdsvis 20+10 g og 30+15 g dvs. at der samlet tilsættes 2/3 pulp og 1/3 olie.

Forsøg 3: Lav belastning med tilsætning af 5 og 10 g substrat for at bestemme teoretisk gasudbytte.

pH er ved de udførte forsøg holdt på omkring 7,8.

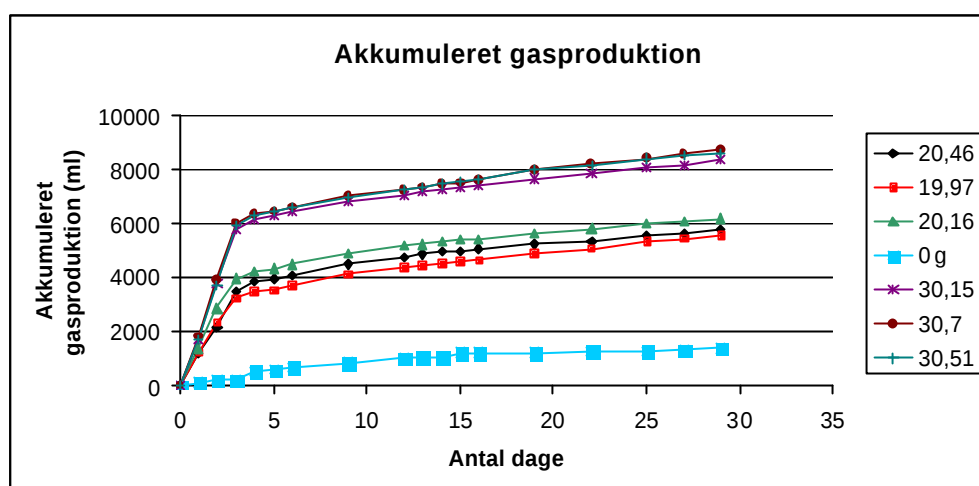
Rapsolien har et C-indhold på 74%.

Resultat af forsøg 1:



Figur 4.16 Specifikt gasudbytte for forsøg 1.

Substrat: Daka pulp høj belastning, samlet TS i reaktor var 7,3%. Forsøget varede 29 dage.



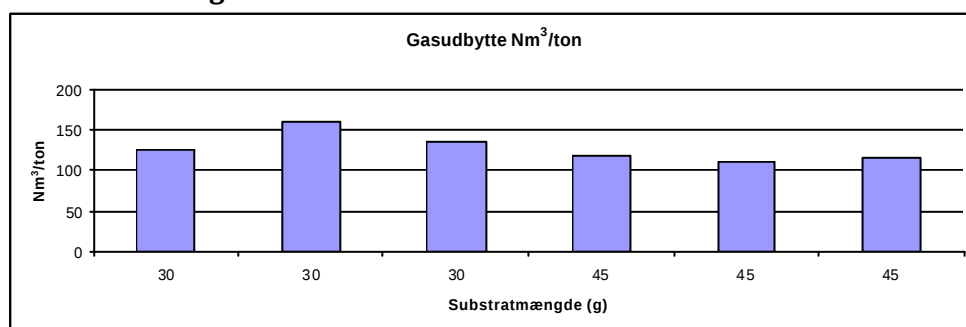
Figur 4.17 Akkumuleret gasproduktion ved forsøg 1 over 29 dage
"legend" angiver tilsat substratmængde i gram til 1 kg.

Det ses af figur 4.16, at biogasudbyttet pr. ton Daka substrat ligger mellem 210 og 240 l/kg substrat efter 29 dage. Omsættes til en standardværdi efter 16 dage, opnås i begge serier en gennemsnitsværdi for biogasproduktionen på 181 Nm³/ton substrat. Af figur 4.17 ses, at der er tegn på hæmning i starten af forløbet efter ca. 3 dage. Ved analyse af ammoniumindholdet efter afsluttet forsøg kunne det konstateres at slut ammoniumindholdet er steget fra 3,05 til ca. 4-4,3 g/l NH₄-N, hvilket er lige i overkanten for at processen kan køre stabilt. Total N er målt til ca. (6,7 g/l) som slutværdi.

Det lave gasudbytte af referencematerialet skyldes, at det allerede er udrådnat før det er brugt som podemateriale.

Det kan konkluderes, at den tilsatte mængde substrat ligger på grænsen af, hvad der kan tilføres på et veldrevet biogasanlæg.

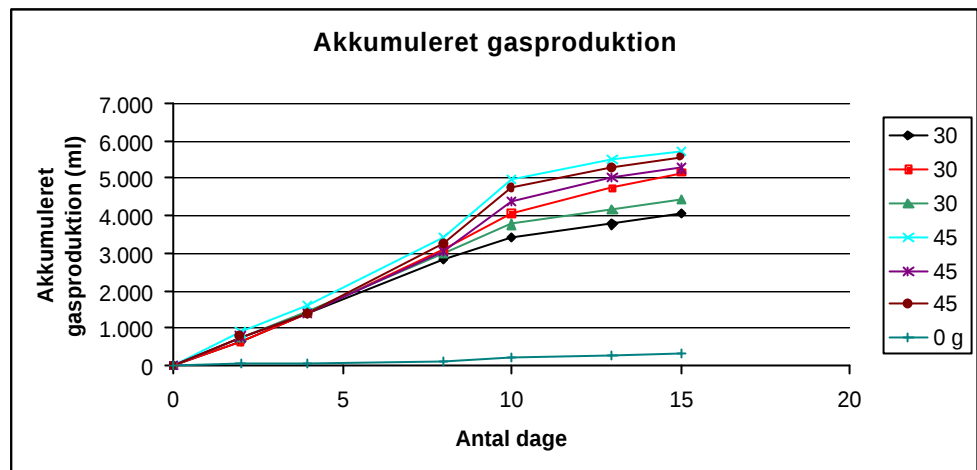
Resultat af forsøg 2:



Figur 4.18 Specifikt gasudbytte for forsøg 2.

Substrat: 2/3 Daka pulp + 1/3 rapsolie, samlet TS i reaktor var 6,1 - 6,7%.

Det ses, at biogasudbyttet for de 2 serier efter 16 dage udgør henholdsvis 140 og 115 Nm³/ton substrat.



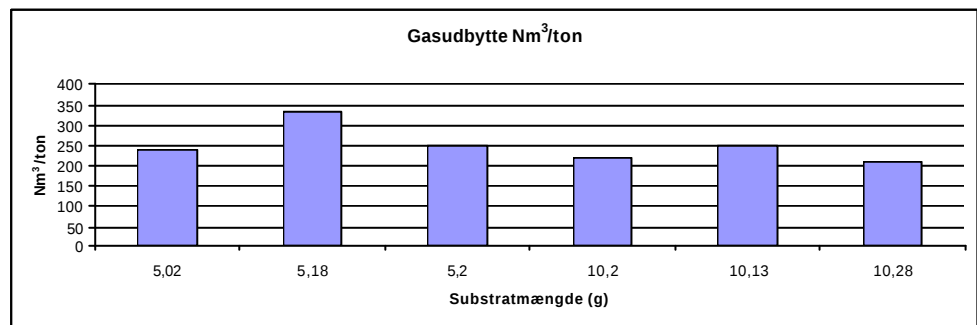
Figur 4.19 Gasproduktion ved forsøg 2 over 15 dage.

Det ses, at der er en kraftig hæmning, hvilket skyldes for høj belastning, som bakterierne dog måske kan vendes til over tid. Ved en normal opholdstid på 16 dage vil en pæn del uomsat materiale således passere anlægget.

VFA (Volatile Fatty Acids) blev målt ved forsøgets slutning og viste et niveau på stigende fra 500 mg/l 1700 mg/l, syretallet er altså ikke kritisk, da 2000 ppm normalt ikke giver problemer - syretallet kan dog ikke stå alene som vurderingsparameter, og det kan have været væsentlig større i starten af forsøget.

Forsøgene peger ikke på, at et bedre C/N forhold (i dette tilfælde omkring C/N=20), vil kompensere for ammoniumhæmning, hvis denne overhovedet optræder. Resultatet peger snarere på, at kraftig øget C-dosering virker modsat på grund af for høj belastning. Det tyder på, at fedt fortrinsvis bør tilføres lavt belastede biogasanlæg.

Resultat af forsøg 3:



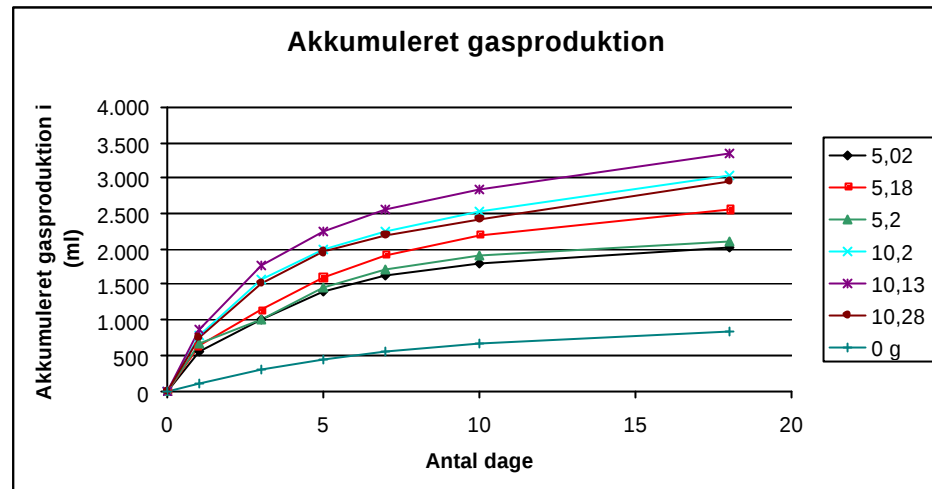
Figur 4.20 Specifikt gasudbytte ved forsøg 3.

Substrat: Daka pulp ved lav belastning, samlet TS i reaktor var 5-5,2%. Opholdstiden var 18 dage.

Det ses, at biogasudbyttet pr. ton Daka substrat ligger ret konstant. Biogasudbyttet efter 16 dage er henholdsvis 243 og 223 l/kg substrat (hvis der ses bort fra batch 2). CH₄ indholdet var >65%. Der er ingen tegn på hæmning og slut ammonium indholdet ligger på ca. 3,5 g/l NH₄-N. Total N er ca. 8,8 g/l.

Syretallet (VFA) lå ved forsøgets slutning på ca. 200 ppm svarende til gode driftsbetingelser.

Gasudviklingskurven er flot og uforstyrret:



Figur 4.21 Gasproduktion ved forsøg 3 over 18 dage.

4.8 Anvendelse af slutprodukt

Afgasset gylle er velegnet til gødskning, da gyllen er mere tyndtflydende og mindre lugtende og har et højere indhold af plantetilgængeligt kvælstof på ammoniumform. Da kvælstof på ammoniumform let fordamper, er det vigtigt, at gyllen nedfældes umiddelbart i forbindelse udbringningen. I øvrigt er P- og K-indholdet uændret efter afgasningen og tilnærmelsesvis også total-N. Mængden af smittekim og spiredygtige ukrudtsfrø er ved afgasningen reduceret til nær nul.

Forholdet mellem fosfor og kalium er typisk 1:3, hvilket passer med et sædskifte med f.eks. korn og raps, hvor behovet ofte er 20 kg fosfor og 60 kg kalium pr. ha. Hvor sædskiftet er domineret af grovfoder, er der behov for ekstra kalium f.eks. fra tilsætning af halmaske.

Efter omsætningen i biogasanlæggene vil kvælstoffet i det animalske affald fra at være bundet i proteiner og andre organiske forbindelser som tidligere nævnt frigøres som ammonium. Omkring 75% vil frigøres til ammoniumformen. Ammonium er vandopløselig, meget mobil og let tilgængelig for planterne. Efter behandling på et biogasanlæg kan man derfor opnå en meget høj udnyttelse af kvælstoffet i marken, omkring 60 til 75% afhængig af tidspunktet for spredningen og metoden til udbringning, samt af hvilken afgrøde gødningen tildeles. Efter lovgivningen skal det kun indregnes med en udnyttelsesprocent på 30 i gødningsregnskaberne.

Fosfor er meget stærkt bundet i forskellige kemiske strukturer og er ikke særligt tilgængelig for planterne. Men det er generelt for fosfor, hvorfor det i mange jorder naturligt er en begrænsende faktor for udbyttet, dog ikke i Danmark, fordi de gennem mange år er opgødsket med fosfor, så der i dag faktisk er overskud af fosfor.

Fosfor tilføres med foder, hvor fosforen ved hjælp af enzymer gøres opløselig og optagelig. En del passerer dog direkte gennem tarmene og ender i gødningen. Almindeligvis har foder et (for) højt indhold af fosfor for at sikre, at dyrene optager nok til at dække behovet. Derfor har husdyrgødning et højt fosforindhold.

Der er to puljer af fosfor i jorden, en organisk pulje med fosfor bundet i humus, planterester og mikrobielt, samt en uorganisk pulje af primært uopløselige calcium og jern forbindelser. I almindelige jorder er der 40-60% i hver pulje. 1-2% findes i den mikrobielle del og 0,1 promille som direkte plantetilgængeligt. Fra hver pulje sker frigørelsen til en for planterne tilgængelig fosforform meget langsomt.

Selv ved tildeling af mineralsk gødning er fosforen ofte utilgængeligt for planterne, eller den bliver det i jorden. Fosfor reagerer med mange mineraler og er tungtopløselig. Ofte sker det sammen med calcium, der findes i rigelige mængder i jorden. De ikke-tilgængelige fosforforbindelser kan være i form af apatit (calciumfosfat) bundet med calciumflurid, calciumcarbonat eller calciumhydroxid. Andre former kan være monocalcium eller dicalciumfosfat.

Biogasanlæg er normalt beliggende i husdyrtætte områder, hvor landmændene på grund af restriktioner i gødskningen (harmonikravene) kan have vanskeligt ved at udbringe en ekstra mængde tilført fosfor på et givent jordtilliggende.

Det fremgår af den tidligere råvareopgørelse over de animalske biprodukter, at den mængde, der fremover forventes at kunne gå til biogas, udgøres af fiske- og mejerifald (69.000 tons), mave- og tarmindehold (144.000 tons), fedt og flotationsslam (70.000 tons) og tryksteriliseret Kat. 2 materiale (141.000 tons).

Nedenstående tabel redegør for indholdet af kvælstof og fosfor i disse strømme.

Tabel 4.22 Fordeling af N & P i animalske affald.

Fraktion	Mængde ton/år	Kvælstof		Fosfor	
		kg/ton råvare	ton/år	kg/ton råvare	ton/år
Fiske- og mejerifald ¹⁾	69.000	31 (kg/ton TS) 1)	262	40 (kg/ton TS) 1)	334
Mave- og tarmindehold	144.000	19	2.736	3	432
Fedt og flotationsslam	70.000	1,2 3)	84	1,5 3)	105
Tryksteriliseret Kat. 2 materiale:					
Svinepulp	65.000	2)	1.560	2)	845
Kyllingeaffald	3.000	2)	72	2)	39
Hakkede, selvdøde svin (angivet v. 40% TS)	73.000	24	1.752	20	1460
I alt	521.000		6.466		3.215

- 1) Der er kun fundet oplysninger for fiskeaffald, og det antages forenklet, at mejerifaldet har samme tørstofindhold samt N- og P-indhold. Tørstofindholdet i fiskeaffald er i gennemsnit på 12%. Antagelsen om mejerifaldet er ikke signifikant i den større sammenhæng.

- 2) Indholdet af N og P antages at være henholdsvis 24 kg N/ton råvare og 13 kg P/ton råvare, hvilket svarer til indholdet af N og P i hakket svinepulp, jf. oplysninger fra Daka.
- 3) Der er kun oplyst om indholdet af N og P i fedtfraktion fra Daka. Det antages konservativt, at indholdet af N og P i fraktionen ”fedt og flotationsslam” svarer til indholdet i fedtfraktionen, dvs. henholdsvis 1,2 kg N/ton råvare og 1,5 kg P/ton råvare.

De gældende regler for udbringningsareal med hensyn til kvælstof og fosfor er ifølge Slambekendtgørelsen [56] maks. 170 kg N/ha og maks. 30 kg P/ha. N- og P-strømmene i de ovenfor skitserede animalske biprodukter kræver derfor minimum et udbringningsareal på 38.038 ha, for at kravet for N er overholdt, og minimum 107.167 ha for at kravet for P er overholdt. Det ses, at de animalske produkters indhold af fosfor er det mest kritiske med hensyn til udbringningsareal og frasortering af den fosforholdige benfraktion har derfor en væsentlig betydning i forhold til bestemmelse af det nødvendige areal.

Det opdyrkede areal i Danmark udgør ca. 2,6 mio. ha. På ca. halvdelen af arealet spredes husdyrgødning, og 0,5 mio. ha bruges til at sprede forskellige affaldsstoffer og aske fra halmforbrænding. Det overskydende markareal, der f.eks. kan bruges til udbringning af Kat. 2 og Kat. 3 materiale, udgjorde i 2002: 852.947 ha, og forventes i 2010 skønsmæssigt at udgøre 462.577 ha (Kilde [27]: Afsætning af bioforgasset organisk affald, Hedeselskabet 2003). Arealerne ligger primært i det østlige Jylland og på Sjælland. Det skal på denne baggrund vurderes, at der – både nu og fremover – vil være tilstrækkeligt med udbringningsarealer til at afsætte de ekstra mængder restprodukter, der vil opstå, ved at tilføre Kat. 2 og Kat. 3 materiale til biogasanlæggene i de anførte mængder, dvs. efter frasortering af svinebensfraktionen.

Anvendelse af mindre fosfor i foder synes at være en oplagt vej til at opnå bedre balance mellem jordtilliggende og dyrehold, forudsat at de nuværende regler om husdyrenheder erstattes af reelt målte værdier på fosfor.

Det påpeges dog, at der i beregningerne af det overskydende markareal ikke tages hensyn til, om de pågældende landmænd, der ejer jorden, ønsker at modtage disse restprodukter fra biogasanlæggene. Ligeledes kan der være arealer, hvor der er specielle krav til de affaldsprodukter, der afsættes på arealet, eller som ikke er velegnet eller udlagt til udbringning af restprodukterne. Samlet set vil det reelle overskydende udbringningsareal altså være mindre end det teoretiske; men der synes at være god margin ned til det nødvendige areal for udbringning set for Danmark som helhed. Lokalt kan der selvfølgelig opstå knaphed på udbringningsjord specielt i Jylland (Viborg, Ringkøbing, Ribe og Sønderjyllands amter). Specielt hvis den udrådnede biomasse ikke må udbringes på arealer anvendt til græsning efter en karantæneperiode. Det forventes dog, at EU vil dispensere herfra, når sagen er endeligt behandlet.

Benmel er ikke brugt som gødningsstof i Danmark, da det tidligere var en dyr form for gødning. Det er også tungt opløseligt og langsomt tilgængeligt i jorden for planterne. Myndighederne ønsker ikke at give tilladelse til denne anvendelse af frygt for at en del af benmelet vil finde vej til foderbrug, som ikke er tilladt.

I varmebehandlet benmel opvarmet til høj temperatur findes fosfor som tricalciumfosfat, hvor 25-30% er tilgængeligt fosfat. Tricalciumfosfat er uopløseligt og skal behandles med svovlsyre for at blive vandopløseligt som CaHPO_4 . Forbrænding er nødvendig som forbehandling for at sikre fjernelse af organisk stof. Det kan herefter igen behandles med ammoniak, hvorved der dannes ammoniumfosfat. Alternativt kan anvendes salpetersyre, hvorved der dannes nitrofosfat.

De samme former for behandling anvendes af gødningsindustrien for at gøre stenfosforen, som man graver op af jorden, tilgængelig for planterne. Efter behandlingen kan fosforen indgå i mineralgødninger, som de kendes til gødskning af markerne, f.eks. som superfosfat. Metoderne forbundet hermed er beskrevet i efterfølgende kapitler.

5 Termisk behandling

5.1 Termisk behandling

Termisk behandling af animalsk affald med sigte på energiudnyttelse og bortskaffelse og herefter med sigte på udnyttelse af fosforressourcen i asken består af flere trin, hvoraf den første normalt er tryksterilisation og afvanding efterfulgt af (sam-)forbrænding og eventuel efterbehandling, hvorefter asken kan benyttes i gødningsproducerende processer.

Ved samforbrænding forstås forbrænding af kødbenmel og fedt sammen med andet brændsel på varme- eller kraftværkskedler.

Der findes således en række forskellige metoder for termisk behandling af animalsk affald:

- Tryksterilisation .
- Forbrænding.
- Fluid-bed forbrænding / forgasning.
- Forbrænding på kraftværkskedler.
- Forbrænding direkte i cementovn.
- Efteropvarmning.

5.2 Tryksterilisation

Ved tryksterilisering foretages en opvarmning til 133°C ved 3 bar(o) i 20 minutter.

Da råvarerne ikke kan lagres ret længe, uden at de går i forrådnelse, benyttes våd sterilisering og afvanding/fedtudskilning ofte til at gøre materialet lagerstabil, indtil det kan brændes. Denne behandling er utilstrækkelig som behandling af Kat. 1 materiale; men kan benyttes som forbehandlingsmetode.

5.3 Forbrænding

Teoretisk kan de våde animalske biprodukter forbrændes direkte; men vandet kan forstyrre forbrændingsprocessen, og det er nødvendigt først at afdampe vandet for herefter at opvarme dampen til forbrændingstemperaturen for senere eventuelt at udkondensere vandet fra røggassen. I praksis er dette ikke nødvendigvis uhensigtsmæssigt, og det kræver en egnet kedelkonstruktion. Den eneste konstruktion, der er velegnet hertil i mindre skala (omkring 10-30 MW), er kedler, der benytter sig af fluidbed princippet. De øvrige kedeltyper kræver tørre animalske biprodukter. Affaldskedler vil dog også kunne forbrænde "vådt" materiale.

Ved tilførsel af animalsk affald for eksempel kødbenmel til en kedel, vil denne skulle overholde EU's affaldsforbrændingsdirektiv (2000/76/EU). Ved samforbrænding med andet brændsel, lægges vægtstangsreglen til grund for

vurdering af de tilladelige emissioner (dvs. en forholdsmæssig vægtning af tilladte emissioner i forhold til mængden af affald og basisbrændsel).

På grund af kødbenmels høje nitrogenindhold giver forbrændingen relativt høje emissioner af NO_x som yderligere kan forværres af forbrændingsbetingelserne især ved høje temperaturer. Ved samforbrænding ses en reduktion i NO_x da N findes på en form, der reagerer med NO_x til N_2 formentlig amin-forbindelser.

5.4 Fluidbed forbrænding / forgasning

Ved forbrænding af animalsk affald (Kat. 2 og 3 materiale) i en fluidbed kedel, skal materialet neddeles til <8 mm og eventuelt opblandes med andet brændsel for eksempel træflis eller tørv. I visse tilfælde kompakteres blandingen til piller, før den ledes gennem en fluidbed forbrændingsovn eller forgasser. Udviklingstendensen går dog mod direkte tilførsel af hakket pulp i fluidbed forbrændingsovne.

En hver forbrænding består af 4 efter hinanden følgende delprocesser, nemlig tørring, pyrolyse, termisk forgasning og forbrænding. Ved termisk forgasning tilføres luft i underskud sammen med vanddamp. Luftmængden er ikke tilstrækkelig til forbrænding hvorved brændbare gasser uddrives af affaldet samtidig med at fast kulstof omsættes med vandamp til H_2 og CO , der også er brændbare gasser. Alt organisk materiale er nu på gasform og den producerede gas kan efter mere eller mindre kompliceret rensning - afhængig af den valgte proces - anvendes til at drive forbrændingsmotorer, der kan give højere el/varme forhold end traditionelle damp turbineanlæg. Teknologien er dog stadig på demonstrationsstadiet og der foreligger meget få driftserfaringer med større anlæg.

Forbrændings- / forgasningstemperaturen er typisk $800-900^\circ\text{C}$.

Direkte indfyring af kødbenmel i en cirkulerende fluidbed reaktor kan medføre, at en del af materialet passerer gennem kedlen uden at være tilstrækkeligt udbrændt. Dette problem kan næppe være stort i en boblende fluidbed, designet til formålet. Fluidbedforbrænding har i øvrigt den fordel, at der ikke er ristegennemfald.

På Grenå Kraftvarmeværk er der udført forsøg med samfyring af kul og kødbenmel i en 80 MWt fluidbed kedel. Kødbenmel kan erstatte halmen, men blandingen kul/halm/kødbenmel er begrænset pga. overhederbelægninger.

I [17] beskrives en forbrænding af kød-/benmel i en "fluidized bed combustor". Kødbenmel blandes med tørv, og af blandingen dannes brændelsespiller ved kompaktering, hvorefter pillerne forbrændes. På denne metode kan forbrændes piller med op til 35% kødbenmel. Ved højere andel af kødbenmel har pillerne en tendens til at falde fra hinanden. Ved højere andel af kødbenmel kan der desuden opstå problemer med sintring af asken, som kan medføre, at der skal tilsættes et antislaggemiddel til brændslet. I henhold til SEP i Sverige er det dog bedre at anvende flis som samforbrændingsmiddel, idet tørv indeholder forholdsvis store mængder af tungmetaller.

I Tyskland brændes kødbenmel på fluidbedanlæg sammen med kul. Her blandes op til 25% i anlæggene.

I Sverige har Daka's søsterselskab udført forsøg med forbrænding af hakket pulp sammen med flis og affaldspiller i en 12 MW fluid-bed, med gode erfaringer. Her er begrænsningen i tilførslen dog blandingsens brændværdi.

I England har man afprøvet anlæg til forbrænding af hakket pulp uden samfyring. I Sverige er et sådan anlæg endnu ikke opført, men man mener, at det er muligt. Asken fra fluidbedforbrænding af hakket pulp indeholder muligvis mere pyrofosfat end ortofosfat, som er ønsket. Dette kan medføre en længere opløsningstid og eventuelt lavere udnyttelse af P fra asken.

Af kedelleverandører med erfaring med fluidbed forbrænding af kødbenmel i mindre skala kan bl.a. nævnes Wykes (UK), Seghers / BioSolidAir (B), Lurgi (D) og Kvaerner (N), Ebara (J), Foster Wheeler (SF).

5.5 Forbrænding på kraftværkskedler

Brugen af kødbenmel på kraftværkskedler er ved kraftvarmedrift den mest energieffektive måde at udnytte energiindholdet på, samtidig med at effektiv røggasrensning er til stede. På kraftværkskedler kan en mindre mængde kødbenmel blandes med kul. Kødbenmelsasken blandes herved med kulaske og vil efterfølgende kunne deponeres eller indgå i cementproduktion, såfremt modtagekriterierne herfor overholdes. Blandingsasken vil dog næppe være velegnet som råmateriale til gødningsproduktion.

På ristefyrede anlæg vil der ved forbrænding af kødbenmel normalt konstateres ristegennemfald, som ikke er tilstrækkeligt udbrændt.

Brændes kødbenmel sammen med n-gas i en multibrændselsenhed, fås en ren flyveaske, som kan benyttes som råmateriale for udvinding af fosforgødning.

Elsam har gode erfaringer hermed fra forbrænding af kødbenmel på Fynsværket blok 3 (269 MWe). Denne kedel, der er fra 1974, fyrer med såvel kulstøv i suspension som n-gas afhængig af driftsform og belastning. Forbrændingstemperaturen er over 1000°C. Der er udført en række forsøg siden 2001. Forsøgene viser, at der ved samforbrænding med kødbenmel forekommer en øget korrosion, og der er konstateret slaggedannelse. Da der i slaggen kan være indlejret prionrester ved forbrænding af Kat. 1 materiale, udtages og formales slaggen i en særlig mølle, hvorefter den genindfyres. Dette betyder, at al aske udtages som flyveaske. Der er ikke detekteret proteinrester i denne flyveaske. Fortiden har Elsam kun ét anlæg med naturgasfyring godkendt til forbrænding af kødbenmel.

Såfremt der kun brændes kødbenmel baseret på materiale fra ikke klovbærende dyr, er overførsel af BSE fremkaldende prioner udelukket.

5.6 Forbrænding i cementovn

Kødbenmel eller aske herfra kan tilføres cementproduktion opblandet med de øvrige råvarer, der tilføres roterovnen til cementproduktionen. På grund af de høje temperaturer heri sker der en fuldstændig destruktion af eventuelle prionrester fra forbrænding af Kat. 1 materiale.

Det maximale kødbenmelindhold, som kan tilføres en cementproduktion, er begrænset af tilførslen af fosfor og klorid. Begrænsningen afhænger af, hvilke

øvrige råvarer, der benyttes til cementproduktionen. Det høje nitrogenindhold i kødbenmel betyder, at der kan blive problemer med for høj emission af kvælstofilter, NO_x .

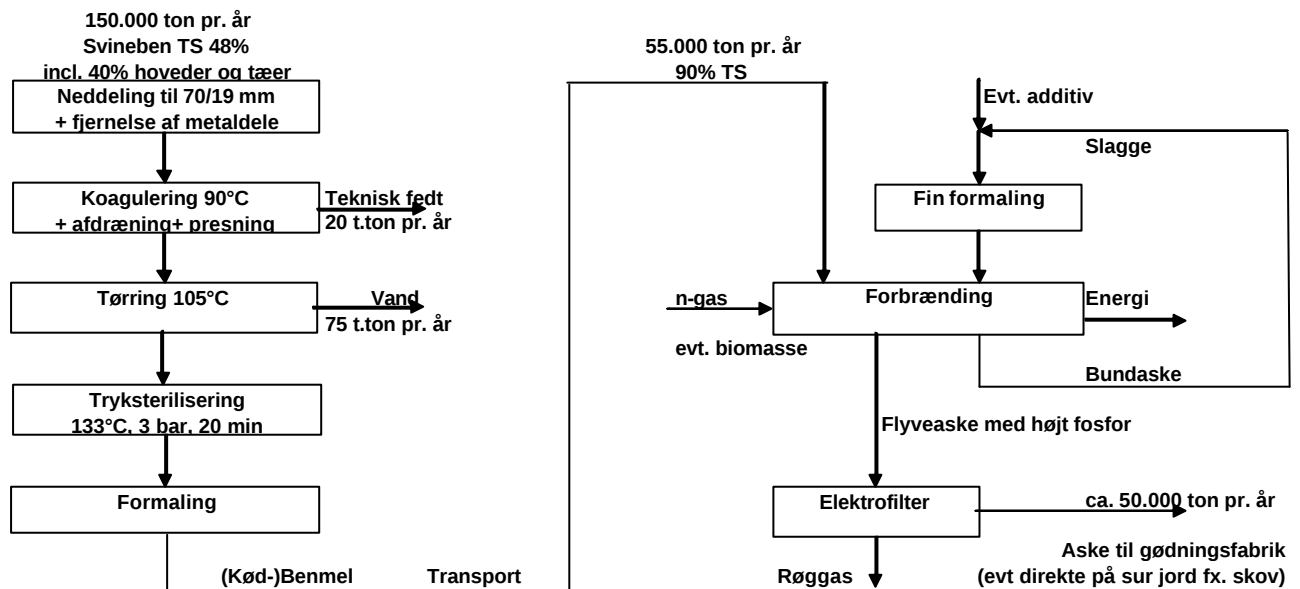
Ved indarbejdningen af kødbenmel i cement opnår man ikke en genanvendelse af fosforkilden.

5.7 Efteropvarmning

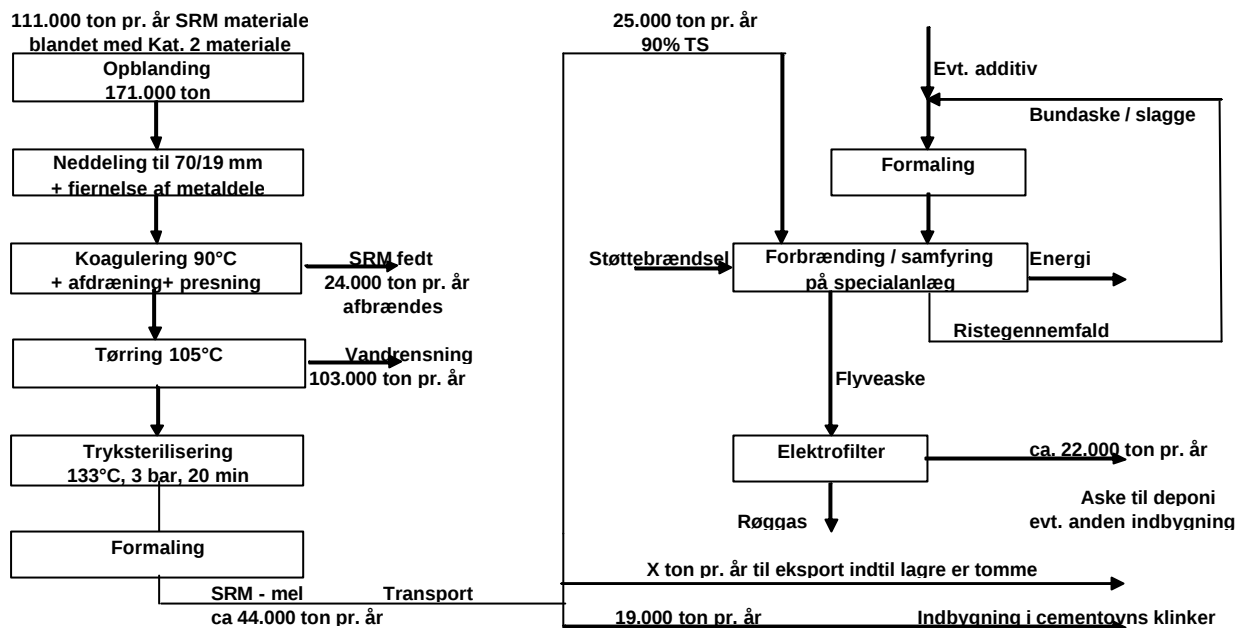
Kødbenmel eller aske herfra kan efteropvarmes i en roterovn uden specifik tilknytning til cementindustrien. Herved vil der ske en fuldstændig destruktion af eventuelle prionrester, idet temperatur og opholdstid kan vælges således at alt materiale med sikkerhed opvarmes over 1000°C . En sådan opvarmning vil primært have til formål at sikre en fuldstændig destruktion af eventuelle prioner fra slagteriaffaldet.

5.8 Procesdiagrammer

Håndteringen af animalsk affald kan illustreres i nedenstående procesflowdiagrammer. Heri illustreres hele procesforløbet fra det våde slagteriaffald til produktion af flyveaske:



Figur 5.1 Procesflow for håndtering af slagteriaffald via kødbenmel til aske.



Figur 5.2 Procesflow for håndtering af SRM-affald mm. via kødbenmel til aske.

Tilsvarende viser figur 5.2 et procesflowdiagram for SRM-fraktionen samt øvrige fraktioner, som ikke er egnede til produktion af gødning eller biogas.

5.9 Økonomi for forbrændingsanlæg

Fluidbed forbrænding

Daka overvejer at etablere et fluidbedanlæg, hvor slagteriaffald brændes uden forudgående produktion af kødbenmel dvs. som pressekage eller hakket kødaffald 40% TS direkte tilført i bed gennem en 50 mm brændselslanse vha. en monopumpe, som afprøvet i Sverige bl.a. i Karlskoga. Prisniveauet for et anlæg med kapacitet på 100-150.000 ton slagteriaffald pr. år er 200-250 millioner kr.

	kr. ekskl. moms
Anlægsinvestering	250.000.000
Faste udgifter (ekstra løn) pr. år	300.000
Kapitalomkostninger pr. år	10.400.000
Variable produktionsomkostninger pr. år (vedligehold og hjælpepestoffer)	1.100.000
Omkostninger i alt pr. år	59.400.000

Forudsættes en investering på 250 millioner kr., en forrentning på 5% og en afskrivning på 5 år, samt løn til én ekstra ansat, bliver prisen for afbrænding ca. 400 kr./t slagteriaffald. Forudsat en brændværdi på 7,8 MJ/kg slagteriaffald (halvdelen af brændværdien for kødbenmel), kan brændværdien erstatte ca. 210 l olie pr. ton slagteriaffald.

Ved små anlæg belaster affaldsdirektivets krav til måleudstyr og dokumentation af udledte emissioner økonomien uforholdsmæssigt.

Forbrænding på kraftværkskedler

Prisen for indsamling, forbehandling, lagring og forbrænding af materialet udgør samlet omkring 500-1000 kr./t ton råvare.

I Ingeniøren [50] er der i 2001 nævnt en pris på ca. 1000 kr./t for forbrænding på kraftværker. I henhold til Elsam er denne pris for høj, men Elsam kan ikke konkurrere med nedenstående pris, som opnås ved afsætning til cementfabrikker.

Forbrænding i roterovn

Aalborg Portland har for at kunne forbrænde SRM-materiale foretaget investeringer i siloer, transport- og vejudstyr. Med den nuværende medbetaling er investeringerne rentable. Økonomien er ikke vurderet yderligere. I henhold til artikel i Ingeniøren [51] sendes en del af SRM-materialet til cementfabrikker i Tyskland. I henhold til artiklen skønnes det, at prisen for destruktion af SRM-materialet ligger i intervallet 200-400 kr./t afhængig af transportafstanden.

Oplagring i depot

Prisen for deponering af f.eks. PVC el trykimprægneret træ er i henhold til RGS90's prisliste på nettet (juli 2003) ca. 900 kr./t. KommuneKemi anfører tilsvarende ca. 1200 kr./t for affald, som kan deponeres i kontrolleret deponi i Danmark, og ca. 9000 kr./t for affald til eksternt sikkerhedsdeponi. Indholdet af TOC må ikke være over 250 ppm for det kontrollerede deponi, hvilket måske ikke kan overholdes for asken, jf. Elsams analyser. Elsam kan deponere asken på egne deponier, hvoraf nogle har krav om kontrol af bl.a. P-indhold i det regnvand, som siver igennem deponiet.

5.10 anbefalinger og videre arbejde for termiske metoder

Tryksterilisering og afvanding synes at være en nødvendig proces for langt de fleste affaldstyper for at opnå et lagerstabil og holdbart produkt. Processen udføres normalt på landets kødbenmel fabrikker. Efter tryksterilisering og afvanding er man nødt til at skelne mellem anvendelsesmuligheder for Kat. 2 affald / Kat. 3 affald og anvendelsesmuligheder for Kat. 1 affald.

Kat. 2 affald og Kat. 3 affald kan anvendes:

- 1 Til fremstilling af biogas m.m. (se kapitel 4).
- 2 Som gødning i form af kødbenmel eller benmel direkte på marken.
- 3 Som brændsel med tilhørende askeproduktion.

Anvendelsen af kødbenmel eller benmel som gødning på marken er forladt af landbruget for mange år siden. Projektet skønner, at afsætningen af materialerne til sådant brug vil være yderst begrænset under Danske forhold, hvorfor der under dette projekt ikke mere vil blive arbejdet med denne mulighed.

Hovedinteressen samler sig derfor om anvendelse af materialerne som brændsel med tilhørende askeproduktion, hvor vi har kommenteret to metoder:

- 1 Fluidbed forbrænding
- 2 Forbrænding på kraftværkskedler.

Det skal bemærkes, at der i det følgende kun i mindre omfang er vurderet på brændselsøkonomien, men i højere grad er fokuseret på processernes praktiske gennemførlighed.

De fleste fluidbed-processer, der hidtil er betragtet, synes at kræve, at kødbenmelet sambrændes med et andet brændsel, hvilket fører til en blandingsaske, som ikke er egnet til brug i gødningsindustrien. Endvidere synes der at være sintringsproblemer forbundet med asken. Det har ikke været muligt at fremskaffe analyser af asken fra disse fluidbed forsøg. Analyser fra engelske anlæg har vist, at de engelske krav til restindhold af aminosyrer kan overholdes og 4 anlæg kører med rent kødbenmel. Førrend det kan vurderes, om asken fra fluidbed anlæg kan anvendes til gødningsproduktion, udestår en lang række forsøg både hos anlægsproducenterne og hos en eventuel modtager af asken.

Ved forbrænding af kødbenmel på kraftværkskedler kan man sambrænde med naturgas, hvilket efterlader en aske, som næsten kun hidrører fra kødbenmelet.

Forbrændingen af kødbenmel synes at give anledning til en vis korrosion af kraftværkskedlerne på grund af alkaliklorider, som sublimerer ved de høje temperaturer. Dette problem kan være særdeles alvorligt og må antages at blive fulgt omhyggeligt af kraftværket.

Vi kan skelne imellem:

- 1 Forbrænding med ristegennemfald
- 2 Forbrænding med formaling og genindfyring af ristegennemfald.

Eftersom vi her kun betragter forbrænding af Kat. 2 og Kat. 3 materialer, som ikke kan indeholde prioner, ville det være muligt at gennemføre forbrændingen med et vist ristegennemfald, som på affaldsforbrændingsanlæg.

For Kat. 1 materiale eksisterer der i dagens Danmark følgende muligheder:

- 1 Oplagring i depot
- 2 Forbrænding i cementovn (roterovn).
- 3 Fremtidig forbrænding i dedikeret forbrændingsanlæg.

Elsams metode til forbrænding af kødbenmel med naturgas og genindfyring af ristegennemfaldet eller fluidbed forbrænding synes at medføre så høje temperaturer, at eventuelle prioner destrueres, hvorfor metoderne også burde være anvendelige til behandling af Kat. 1 materiale.

Problemet er imidlertid, at processerne først må have "det blå stempel" fra en ansvarlig offentlig myndighed, og her er det nok et problem, at der endnu ikke findes danske regler, anvisninger og krav til kontrol af forbrændingens kvalitet. Projektet anbefaler derfor, at arbejdet med en godkendelsesprocedure fremmes mest muligt, for uden rimelig dokumentation for, at Elsam's metode fører til en prionfri aske, skal man næppe vente, at gødningsindustrien vil aftage aske hidrørende fra Kat. 1 materialer.

6 Udnyttelse af fosfor

6.1 Gødningsproducerende processer

I det følgende er beskrevet en mulig genanvendelse af aske fra kødbenmelsforbrænding som råstof til gødningsproducerende processer. Det er vurderet at der realistisk vil kunne tilføres 25.000 ton aske fra forbrænding af svineben til gødningsproduktion, idet det ikke forventes at gødningsindustrien vil modtage aske fra forbrænding af SRM materiale og at en stor del af svinematerialet vil finde andre veje til forbrænding, som ikke kan levere en tilstrækkelig ren aske af en kvalitet, der kan indgå i de gødningsproducerende processer.

6.2 Produktion af gødning ved syreoplukning

Det er et fællestræk for den del af gødningsindustrien, der bruger råfosfat som et udgangsmateriale til fremstilling af fosforholdige gødninger, at processen starter med en oplukningsproces under anvendelse af en syre i den hensigt at gøre fosfatet vandopløseligt eller citratopløseligt.

Man kan derfor systematisere screeningsprocessen ved at betragte råfosfatets (eller askens) forhold, når dette behandles med de syrer, som er gængse i gødningsindustrien. Disse syrer er:

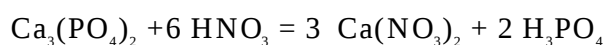
- Salpetersyre
- Svovlsyre
- Fosforsyre
- Saltsyre

Disse syrer benyttes, som basis for screeningsprocessen for udnyttelse af fosfor.

De efterfølgende beskrivelser er baseret på anvendelse af råfosfat. Med henblik på udnyttelse af fosfor fra slagteriaffald, skal råfosfat i beskrivelserne blot erstattes af aske. Se i øvrigt afsnit 6.8.1 og 6.8.2.

6.3 Oplukning med salpetersyre

Salpetersyre indeholder som bekendt nitrat, som er et vigtigt gødningsstof. Salpetersyre til gødningsformål produceres i reglen med en koncentration på 60-62% HNO_3 . Ved opløsning af råfosfat i salpetersyre er den principielle reaktion:



Under oplukningen udvikles gas indeholdende NO_x eller fluorforbindelser, hvorfor gassen renses i en særlig vaskesektion.

Normalt udføres oplukningsprocessen med et lille overskud af syre, således at man efter endt reaktion vil have en opløsning, som hovedsagelig indeholder calciumnitrat, fosforsyre og salpetersyre. Hertil kommer en ”syreuopløselig rest” (bestående af sand, ureageret råfosfat etc.), som skilles fra reaktionsopløsningen, inden den behandles videre.

Efter oplukningen med salpetersyre kan oparbejdningen af reaktionsopløsningen til færdige produkter følge forskellige metoder, hvoraf tre nævnes herunder:

1. The Nitrophosphate Route
2. The Mixed Acid Route
3. The Kemira Route

Kun de to sidstnævnte metoder anvendes i Danmark.

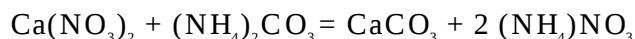
6.3.1 Nitrofosfatmetode

Processen starter med opløsning af råfosfat i salpetersyre i en særlig oplukningssektion.

Processen fører til en opløsning bestående af fosforsyre og calciumnitrat, hvori der er suspenderet forskellige faste partikler, som dog for hovedsagens vedkommende består af sand. Sandet frasepareres, vaskes og kan anvendes af bygningsindustrien. Den således rensede opløsning sendes nu til et antal krystallisatorer, som først køles med vand og senere med flydende ammoniak til krystallisationstemperaturen hvor calciumnitrat udkrystalliseres som $\text{Ca}(\text{NO}_3)_2 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$.

Det dannede salt fjernes ved hjælp af centrifuger, tromlefiltere eller båndfiltere og vaskes fri for moderopløsningen. Den således fremstillede nitrofosfatopløsning (NP-opløsning) udgør startmaterialet til fremstilling af en lang række NPK-gødninger.

Calciumnitrathydratet kan granuleres og sælges som gødning, men kan også omdannes til calciumkarbonat og ammoniumnitrat ved en behandling med ammoniumkarbonat:



hvorefter calciumcarbonat og ammoniumnitrat kan anvendes til fremstilling af CAN (Calcium Ammonium Nitrat), der også er en vigtig gødning.

6.3.2 Mixed acid

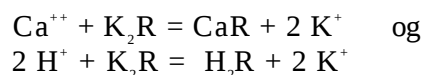
Processen er meget fleksibel og kan producere gødninger med varierende grader af vandopløseligt fosfat.

Efter oplukningsprocessen med salpetersyre tilføjes andre råmaterialer såsom fosforsyre, svovlsyre, salpetersyre og ammoniumnitratopløsning: Dette er en eksoterm proces. Den sure slurry ammoniseres nu med luftformig ammoniak, og efter neutralisationen kan tilføjes andre stoffer såsom ammoniumfosfater, superfosfater, ammoniumsulfat eller forbindelser, der indeholder kalium og magnesium. De fleste af disse materialer kan også tilsættes før neutralisationen, men hvis råmaterialerne indeholder klorid, skal pH i reaktionsblandingen være 5-6 for at undgå dannelsen af klorbrinte.

6.3.3 Kemira-metoden

Kemira-metoden er af en lidt speciel karakter, idet den medtager en "ionbytningsproces" i procesforløbet:

Den rensede opløsning fra oplukningsprocessen sendes ind på en kolonne indeholdende en kat-ion-bytter (resin) på kaliumform (KR). Herved optager resinen Ca^{++} -ioner og H^{+} -ioner samtidig med, at resinen frigiver K^{+} -ioner til opløsningen:



Det skal bemærkes, at talrige metal-ioner, der er til stede som urenheder, også optages af resinen. Fra kolonnen kommer der derfor en opløsning, som er fattigere på calcium og rigere på kalium, hvilket betyder, at opløsningen er velegnet til fremstilling af gødninger med et relativt højt indhold af vandopløseligt P_2O_5 .

Efter udvaskning af kolonnen regenereres den ved hjælp af en kaliumklorid-opløsning, som uddriver Ca^{++} -ioner, H^{+} -ioner og diverse metal-ioner. Processerne, angivet ved de to reaktionsligninger ovenfor, forløber nu fra venstre mod højre. Afløbet fra kolonnen under regeneration består således hovedsageligt af calciumklorid og saltsyre samt små mængder af nitrat, fosfat og urenheder.

Calciumkloridafløbet bliver neutraliseret med kalk, således at fosfat og metalforureninger fjernes, inden opløsningen ledes til det offentlige renseanlæg.

Ionbytningsprocessen betyder altså, at der indføres et nyttigt plantenæringsstof (kalium), medens der samtidigt fjernes stoffer (calcium mv.), som planterne ikke har behov for.

I stedet for at anvende produktafløbet fra ionbytningsanlægget til fremstilling af NPK-gødninger kan man også anvende afløbet til fremstilling af specialprodukter såsom dicalciumfosfat (DCP) og kaliumnitrat (KNO_3).

6.4 Oplukning med svovlsyre

Svovlsyre anvendes fortrinsvist ved fremstilling af

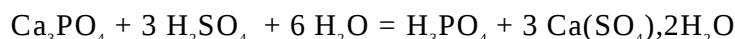
- Normalt superfosfat
- Fosforsyre

Superfosfat

Ved fremstilling af normalt superfosfat blandes råfosfat og svovlsyre i et sådant forhold, at reaktionsblandingen kortvarigt gennemløber en flydende fase for derefter at størkne. Efter findeling af den størknede masse, lagring (hvor de kemiske processer fortsætter) og fornyet findeling, har man det produkt som kaldes normalt superfosfat med et indhold af vandopløseligt P_2O_5 på cirka 18%.

Fosforsyre

Øger man forholdet mellem svovlsyre og råfosfat kan fremstille fosforsyre efter:



Den udfældede gips adskilles fra fosforsyreopløsningen ved filtrering.

Fosforsyreopløsningen vil typisk indeholde cirka 28% P_2O_5 . Opløsningen kan inddampes til for eksempel 52% P_2O_5 (eller mere).

6.5 Oplukning med fosforsyre

Behandler man råfosfat med fosforsyre, kan man som hovedprodukt få dannet monocalciumfosfat efter nedenstående reaktionsligning:



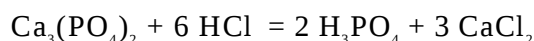
Som for det normale superfosfat er blanding af råfosfat og fosforsyre kortvarigt flydende, hvorefter blandingen størkner til en masse, som må findeles. Efter lagring (hvor de kemiske processer fortsætter) og fornyet findeling har et produkt med typisk 45 % P_2O_5 , som kaldes ”beriget superfosfat” eller ”triple superfosfat”.

6.6 Oplukning med saltsyre

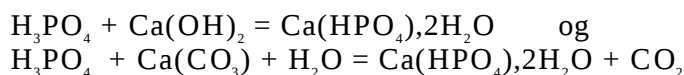
Saltsyre er kun sjældent anvendt her i landet til fremstilling af gødning. Saltsyre indeholder – i modsætning til svovlsyre, salpetersyre og fosforsyre – ingen stoffer af væsentlig betydning for planternes ernæring.

Forsøger man at fremstille et produkt svarende til superfosfat, får man et produkt, som er stærkt hygroskopisk (vandsugende) på grund af CaCl_2 -indholdet. En sådan egenskab er i høj grad uønsket.

Opløser man råfosfat i en passende mængde saltsyre får man:



Neutraliserer man herefter reaktionsopløsningen med calciumhydroxyd eller calciumcarbonat, kan man få udfældet dicalciumfosfat, $\text{Ca}(\text{HPO}_4), 2\text{H}_2\text{O}$ efter:



Neutralisationen må formodentlig udføres, som en ”brudt neutralisation”, idet der under neutralisationens første del udfældes en del urenheder (for eksempel calciumfluorid). Når ”urenhederne” er fjernet ved filtrering, fortsætter neutraliseringen, og dicalciumfosfatet udfældes. De udfældede urenheder kan udgøre et problem, hvis man ikke kan tilbageføre dem til andre dele af produktionen.

Efter fældningen af dicalciumfosfatet er der en opløsning af calciumklorid tilbage. Heraf kan calciumklorid vindes i krystallinsk form ved inddampning og krystallisering. Dicalciumfosfatet (DCP) kan anvendes som gødning, for

selv om stoffet er praktisk taget vandopløseligt, er det citratopløseligt og kan som sådant udnyttes af planterne.

Ofte anvendes DCP som tilsætning til dyrefoder som P-kilde. En vigtig parameter ved vurderingen af DCP's egnethed hertil er fluoridindholdet, som ikke må overstige 200 ppm. Aske har formodentlig et væsentligt lavere F-indhold end råfosfat, så det kan ikke udelukkes, at aske vil være en bedre kilde til fremstilling af DCP til animalsk brug end råfosfat.

6.7 Gødning på basis af kødbenmel

Det er hensigtsmæssigt at skelne mellem:

- Kød-/benmel og
- Benmel

Kød-/benmel indeholder meget organisk materiale fra kød og organisk materiale, som er til stede i benenes matrice. Benmel indeholder udover selve benet det organiske materiale, som er til stede i benenes matrice.

6.7.1 Kød-/benmel

Kød-/benmel har indtil BSE-epidemiens start været brugt som et værdifuldt tilskud til dyrefoder, og det er især solgt på basis af indholdet af fordøjeligt protein. Materialet var for kostbart til at anvendes som gødningsstof, men i dag hvor materialet kun i begrænset omfang kan anvendes som foder, kunne man forestille sig, at materialet blev anvendt som en "organisk gødning" direkte på marken.

Kvælstofindholdet ville blive gjort tilgængeligt ved mikroorganismernes nedbrydning af det organiske stof, og fosforindholdet er citratopløseligt og derfor tilgængeligt for planterne.

Landcenteret i Skejby har udført forsøg for Daka [39] af kød-/benmels egnethed som gødning, men i Danmark er bruget og erfaringerne hermed er meget begrænsede.

6.7.2 Benmel

Benmel indeholder i princippet kun det organiske stof, som indgår i benmatricen.

Benmel har tidligere været almindeligt anvendt som gødningsstof, idet P-indholdet er citratopløseligt. Allerede den berømte engelske kemiker Humphry Davy skrev i 1813: "Bones are much used as manure in the neighbourhood of London . The more divided they are, the more powerful are the effects".

Benmelet mistede efterhånden sin betydning i takt med at superfosfatet vandt indpas, men måske kan benmelet få fornyet interesse i visse lande, nu hvor markedssituationen er ændret.

Anvendelsen af både kød-/benmel og benmel til gødningsbrug kræver, at materialerne er fremstillede på basis af Kat. 2 eller Kat. 3 materiale, idet Kat. 1 materiale ikke må anvendes på grund af smittefaren fra prioner.

Hverken kød-/benmel eller benmel er egnede som P-kilder for den moderne gødningsindustri. Det organiske stof vil reducere salpetersyre således, at man får både et øget syreforbrug og en øget udvikling af kvælstofoxider (NO_x).

Endvidere er organisk stof ikke tilladt i nitratholdige gødninger af sikkerhedshensyn (skal være mindre end 4 kg organisk stof (beregnet som C) per ton gødning), da der ellers er eksplosionsfare.

6.7.3 Calcineret benmel (benaske)

Calcineres ben, bortbrændes benenes organiske fraktion, og tilbage har man en benaske.

Gødningsvirkningen af benaske svarer til gødningsvirkningen af råfosfat, dvs. at gødningsvirkningen er meget ringe.

Derimod er benaske en udmærket P-kilde til fremstilling af superfosfat, som i mere end 100 år har været gødningsindustriens vigtigste fosforholdige enkeltgødning.

Fra omkring 1850 steg gødningsforbruget kraftigt og hermed efterspørgselen efter ben. Det var i det væsentlige mangelen på ben, som gjorde, at de mineralske råfosfater udkonkurrerede benasken.

Markedssituationen er i dag ændret drastisk på grund af BSE-situationen, og beslutningen om at undgå kannibalisme. Der vil formodentligt være store mængder af benaske til rådighed i mange europæiske lande, hvorfor det er vigtigt, at gødningsindustrien igen interesserer sig for benaskens muligheder.

Det er dog en forudsætning, at gødningsindustrien kan stole på, at den aske som modtages, er fri for prioner.

6.8 Tekniske parametre

6.8.1 Krav til aske

Elsam har analyseret askesammensætningen fra afbrænding af kød- og benmel ved samforbrænding af naturgas. Asken er således ikke forurenset med uønskede stoffer, hvilket ville have været tilfældet ved samforbrænding med f.eks. kul.

I tabel 6.1 og 6.2 er vist resultaterne af Elsams analyser af aske i en sammenligning med intervallerne for forskellige typer råfosfat, som alle anvendes i gødningsindustrien.

Som det fremgår af tabel 6.1, ligger indholdet af langt de fleste makrostofer inden for intervallerne for forskellige typer råfosfat, og fosforindholdet er tilfredsstillende højt.

Tabel 6.1 Indhold af makrostofer i aske fra Elsam og forskellige råfosfater samt Kemiras modtagekrav til råfosfater/aske.

	Omregnet fra Elsams tal	Forskellige råfosfater	Råfosfater til Salpetersyreproces
Makrostof	WT-%	WT-%	WT-%
P ₂ O ₅	37,3	30,6-40,1	38-40
P	16,3	13,6-17,5	16,6-17,5
Ca	32,6	33,7-39	33-39
Si	2,79	0,27-3,4	0,2-1,5
Al	0,96	0,04-0,65	0-0,3
Fe	0,41	0,11-2,8	0,1-0,4
Mg	0,86	0,04-1,46	0,04-1,5
Ti	0,07	-	-
Na	1,54	0,10-0,66	0,1-0,3
K	1,54	0,02-0,31	0,02-0,31
S	1,09	<0,01-2,4	<0,01-0,05
F		0,7-4,2	0-4
Ccarb		0,95-1,57	0-0,8
Corg	0,48*	0,06-1,3	0-0,2

*) Bestemt ved glødetab, kan evt. indeholde andre stoffer.

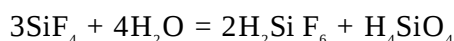
Det har ikke været muligt at indhente forsøgsdata for opløseligheden og dermed udnyttelsen af P-indholdet fra aske. I [19] refereres forsøg med kalcinerede ben. Heri refereres en maksimal opløsning af P₂O₅ på ca. 67%. I råfosfat er tilgængeligheden af P₂O₅ normalt ca. 99%.

Al-indholdet i asken er overraskende højt sammenlignet med Al-indholdet i råfosfaterne. Al-indholdet vil påvirke vandopløseligheden af fosfor, idet AlPO₄ er tungtopløseligt i vand. Det er imidlertid citratopløseligt og dermed tilgængeligt for planterne.

K- og Na-indholdet i asken er også højere end i råfosfaterne. Fra et gødningsmæssigt synspunkt er indholdet dog af underordnet betydning. Da askens F-indhold formodentligt er lavt (se nedenfor), forventes det ikke at give anledning til tekniske problemer. Derimod er et højt K- og Na-indhold uønsket i råfosfaterne, fordi indholdet i visse situationer kan give driftsmæssige problemer, idet begge metaller danner særdeles tungtopløselige forbindelser med silicium hexafluorid-ionen (der altid er til stede efter oplukning af råfosfat med syre). Hvis K₂SiF₆ og Na₂SiF₆ udkrystalliserer som ”sten” i rørsystemerne, kan det give driftsmæssige problemer.

Fluoridindholdet i asken er ikke analyseret, men er formodentligt lavt sammenlignet med indholdet i råfosfaterne. Ifølge Marshall [18] er askens fluorindhold af størrelsesordenen 0,05%. Et lavt fluorindhold i asken kan vise sig at være en betydelig fordel, hvis asken anvendes til fremstilling af DCP til foderbrug, idet F-indholdet heri højst må være 200 ppm.

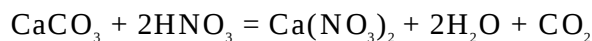
Det forventede lave F-indhold må også forventes at føre til en lavere F-emission under oplukningsprocessen. Både HF og SiF₄ er toksiske gasser. Silicium tetrafluorid kan give problemer i gasvaskesystemerne, idet SiF₄ hydrolyseres efter:



Kiselsyren udfældes som et meget voluminøst bundfald i vaskevandet. Det anbefales, at der udføres analyser af askens F-indhold.

Titananalysen i asken er ikke påkrævet set fra et gødningsmæssigt synspunkt.

C_{carb} er karbonatindholdet omregnet til elementært kulstof (C).
Karbonatindholdet i råfosfaterne bliver cirka 4,8 – 7,9%. Karbonat virker syreforbrugende for eksempel:



Kuldioxid undviger sammen med øvrige gasser og kan give anledning til skumproblemer. Gasudviklingen er ikke altid en ulempe. Når råfosfat anvendes til fremstillingen af superfosfat, kan gasudviklingen være en fordel, fordi superfosfatet bliver porøst af gasudviklingen og dermed langt lettere at udskære. Der er ikke udført karbonatanalyser på asken, men det anbefales.

C_{org} er indholdet af organisk stof beregnet som elementært kulstof (C). Indholdet af organisk materiale er højest i de sedimentære råfosfater (hvor indholdet hidrører fra tidligere tiders dyre- og planteliv) og mindst i de vulkanske råfosfater.

Foruden øget syreforbrug, øget NO_x -udvikling og sikkerhedsproblemer kan ”organisk stof” give kosmetiske problemer, idet gødningen kan blive farvet, hvad man af handelsmæssige grunde måske ønsker at undgå. Som det fremgår af tabel 6.1, er C_{org} lavere i den analyserede aske end i de almindelige råfosfater. Alligevel har det vist sig, at asken er forholdsvis mørk, hvilket som nævnt er uønsket. En enkelt askeanalyse fra fluidbedforbrænding af aske foretaget af Wykes i England [55] viser et indhold af organisk kulstof, som ligger inden for variationerne på Elsams analyser, alligevel fremtræder de små askeprøver, som Kemira har vurderet, lysere i farven (lysebrun i stedet for sort). Aske fra fluidbed forbrænding er således eventuelt mindre problematisk med hensyn til misfarvning. Til gengæld viser foreløbige vurderinger af aske fra fluidbed-forbrænding, at en bed-fraktion af aske tilsyneladende giver skumningsproblemer, og at en flyveaske-fraktion ved opløsning i salpetersyre bliver svær at håndtere på grund af konsistensproblemer.

Ved en evt. anvendelse af Kat. 1 materiale må der desuden stilles krav som sikrer, at der ikke er prioner i asken. I en godt udbrændt aske må det organiske kulstofindhold (og det elementære kulstof) være tæt på 0%, hvis man skal have tiltro til, at eventuelle prioner er destrueret. En simpel bestemmelse af glødetabet er ikke tilstrækkelig, hvorfor det er yderst relevant, at Elsam også har ladet asken analysere for aminosyrer (se side 95).

Tabel 6.2 Indhold af sporstoffer i aske fra Elsam og forskellige råfosfater samt Kemiras modtagekrav til råfosfater/aske.

	Omregnet fra Elsams tal	Forskellige råfosfater	Råfosfater til Salpetersyreproces
Sporstoffer	ppm	ppm	ppm
Cl-	11000	56-300	56-100
Pb	12	1,3-47	0-2
Cr	29	14-313	20-30
Cu	41	9-102	20-40
Ni	25	1,4-60	0-30
As	8,5	0,9-45	0-2
Cd	0,2	<1-9	<1
V	38		
Zn	349	6-270	30-60
U		0-125	0
Hg		<0,02-0,05	<0,02
Sr		400-6400	0-2200
Y		38-1700	30-250
La		18-2000	300-2000
Ce		27-2500	900-2500

Tabel 6.3 Indhold af sporstoffer i aske fra Elsam i forhold til P-indhold og grænseværdier iht. "slambekendtgørelsen" og bekendtgørelse om indhold af cadmium i fosforholdig gødning.

	Indhold i aske (Elsamstal)	MST's grænseværdier
Sporstoffer	ppm (totalfosfor)	ppm (totalfosfor)
Pb	74	10000
Ni	154	2500
Cd	1,2	(100) 110 [223]
Hg		200

Kloridindholdet i asken adskiller sig dog markant fra kloridindholdet i råfosfaterne, hvad der er lidt overraskende, fordi ældre analyser af ben [47] indikerer et lavt indhold af klorid (størrelsesorden 0,1% klorid). Kloridindholdet stammer formentlig hovedsageligt fra kropsvæskerne og i mindre grad fra selve knoglerne. Kloridindholdet bør være lavere end 300-400 ppm for at undgå korrosionsproblemer i det udstyr af rustfrit stål, som anvendes i gødningsindustrien.

Årsagen til askens høje kloridindhold bør nøje studeres og om muligt elimineres. Det må klarlægges, hvad kloridkoncentrationen er i reaktionsopløsningen efter oplukningen. Metoder til nedbringelse af askens kloridindhold må overvejes, for eksempel vask med vand.

Kviksølv og Cadmium er nok de to metaller, der har det dårligste ry i forureningsmæssig sammenhæng, og indholdet af disse stoffer i råvarerne kræves ofte bestemt.

Cadmiumindholdet i asken er lavere end i råfosfaterne. Gødningsindustrien har i ganske mange år klaret kravene til Cd-indholdet i gødningerne ved at udvælge råfosfater med et lavt Cd-indhold. Her har man altså et "nyt" råstof

med højt P-indhold og lavt Cd-indhold. Man kunne forestille sig, at man blandede aske og råfosfat, således at blandingen fik et lavere Cd-indhold.

Arsenindholdet i asken ligger højere end i de råfosfater, som anvendes til salpetersyreprocessen, men inden for normalområdet for råfosfater.

Kviksølvindholdet i asken er ikke målt, men det ligger formodentligt væsentligt under Cd-indholdet. Det anbefales, at man lader udføre nogle Hg-analyser, således at man kender niveauet. Et lavt kviksølvindhold er en fordel.

Zinkindholdet i asken ligger lidt over zinkindholdet i råfosfaterne. Det har næppe betydning, idet Zn er et essentielt sporstof for planter.

I råfosfaterne finder man i regelen en mængde af de naturligt forekommende radioaktive stoffer. De kan give problemer med radonudvikling i råfosfatsiloer, radiumindhold i kemi-gips til bygningsbrug eller opkoncentrering af radioaktive stoffer i udfældninger. De radioaktive stoffer udgør dog ikke noget stort sundhedsmæssigt, driftmæssigt eller gødningsmæssigt problem for gødningsindustrien. Kan det imidlertid demonstreres, at asken er stort set fri for radioaktive stoffer, må det naturligvis betragtes som en fordel.

Indholdet af de radioaktive stoffer U, Sr, Y er ikke analyseret, men betydningen af disse stoffer vurderes som uden relevans. Indhold vil formentlig være mindre end i råfosfater, hvilket naturligvis er en fordel. Det foreslås derfor, at man lader asken analysere for U, Sr, Y og Ra.

6.8.2 Produktionstekniske parametre

Reaktivitet med syrer

På baggrund af ovenstående analyser er der ikke grund til at antage, at reaktivitet med syrer vil være væsentlig forskellig fra de erfaringer, som man har med råfosfater. Man kan forestille sig, at der kan være forskelle i syreforbruget ved oplukning af aske henholdsvis råfosfat.

Marshall [18] har studeret reaktionen mellem fosfat og fosforsyre. I artiklen konkluderes, at fosforsyre reagerer mere villigt med aske fra ben og afdampet benmel end med en traditionel råfosfat.

Gasemission ved oplukning

Det er yderligere et fællestræk ved oplukningsprocesserne, at de næsten altid er ledsaget af en udvikling af toksiske eller korrosive gasarter såsom HF, HCl, SiF₄ og CO₂. Man må antage, at også aske vil give anledning til gasudvikling, om end i mindre grad. Der er både anlægsudgifter og driftsudgifter til gasrensning forbundet med en oplukningsproces, og det vil derfor være rimeligt at bestemme, hvor meget HCl der udvikles ved oplukningen.

Urenheder

Ved produktion af superfosfat vil superfosfatet indeholde alle de urenheder, som asken (råfosfat) og svovlsyren måtte indeholde, for eksempel tungmetaller (bortset fra de stoffer, som bortgår i luftform).

Fosforsyre er et af de vigtigste mellemprodukter i gødningsindustrien, idet næsten hele P-mængden er vandopløselig. Råfosfatets og svovlsyrens urenheder vil ved produktionen fordeles mellem gipsen og fosforsyreopløsningen.

Ved oplukning med fosforsyre bliver fosforsyrens og råfosfatets urenheder i gødningsproduktet.

Askeanalyser fra Elsam viser som beskrevet et indhold af tungmetaller, som ligger inden for intervallerne af indhold i råfosfater.

Filtrering

Ved produktion af fosforsyre udfældes gips, som adskilles fra fosforsyreopløsningen ved filtrering. Denne filtrering er på ingen måde er problemfri, så anvendelse af aske kan introducere nye problemer.

Restprodukter

Ved produktion af fosforsyre dannes store mængder af såkaldt kemi-gips, som efter passende rensning og brænding kan indgå i produktion af byggematerialer (gipsplader og lignende).

I udlandet oplagres gipsen ofte i store depoter eller ledes ud i havet. I Fredericia havde Kemira en fosforsyrefabrik, som ledte gipsen ud i Lillebælt. Fabrikken blev lukket i 1987 på grund af gipsens indhold af fosfor og tungmetaller.

6.9 Smitterisiko

Udnyttelse af fosforressourcen i slagteraffald skal ske på en sådan måde, at risiko for overførsel af sygdomme fra slagteraffaldet bliver minimeret. Ved en evt. anvendelse af kategori 1 materiale må der derfor stilles krav som sikrer, at der ikke er prioner i asken. Omtale af smitterisiko og -reduktion i dette afsnit vedrører derfor kategori 1 materiale.

Prionbårne sygdomme Det har jf. [13] og [14] vist sig, at det er overordentligt vanskeligt at inaktivere BSE prion-proteinet. Den foretrukne metode er i dag forbrænding af kødbenmelet ved så høj temperatur, at prioner destrueres.

6.9.1 Smittereduktion ved opvarmning

Det er dokumenteret af Brown [15], at en foraskning af inficeret væv ved 600°C ikke er tilstrækkelig til fuldstændig destruktion af prion-proteinet, medens en foraskning ved 1000°C syntes at sikre en fuldstændig destruktion. Det er muligt, at en opvarmning til over 800°C vil have samme virkning, men indtil noget sådant er bevist, er den sikre løsning en opvarmning af asken til 1000°C.

For at prioner bliver fuldstændig destrueret, må man sikre sig, at ethvert spor af både organisk og elementært kulstof i hele askemængden bortbrændes. Større partikler af kød/benmel kan beskytte eventuelt smitstof mod destruktion. I praksis kan man derfor forestille sig følgende trin i en destruktionsproces:

- En primær forbrænding, hvor stort set alt organisk kulstof bortbrændes,
- En sigtning og en formaling af den grove fraktion (slagge), som er sigtet fra.

- En efterbrænding ved 1000°C med en passende opholdstid og med et passende iltoverskud af den samlede askemængde.

”UK Environmental Agency Guidelines” stiller krav om, at der ikke må være mere end 0,005% protein i asken.

Fluidbed forbrænding

Fluidbed forbrænding foregår ved 8-900°C, og det kan derfor ikke garanteres at være fuldstændig effektivt med hensyn til destruktion af prion-proteiner. Det engelske firma Wykes, som leverer fluidbedanlæg, har dog positive resultater fra fuldskalaanlæg, idet analyser af asken herfra viser et proteinindhold på 0,0003-0,0006%, altså mindre end det engelske krav på 0,005% protein i asken [48].

Forbrænding på kraftværkskedler

Ved forbrænding på kraftværkskedler kommer temperaturen typisk op på minimum 1000°C. Det kan dog ikke garanteres, at der ikke forekommer ristegennemfald, som betyder, at dele af materialet ikke bliver varmet tilstrækkeligt op. Dette ristegennemfald skal i så fald behandles som ovenfor beskrevet og for eksempel genindfyres (Elsam metoden, som er beskrevet tidligere).

I henhold til [17] har National Power plc (UK) ved afbrænding af kødbenmel ved temperaturer mellem 1200-1500°C i 4-5 sekunder kunnet overholde kravet om, at der ikke må være mere end 0,005% protein i asken, men i prøver fra bunden af ovnen (slagge) med en opholdstid på 0,25-1 sekund har kravet ikke kunnet overholdes.

Elsam har fået analyseret flyveasken fra deres forsøg med afbrænding af kød- og benmel. Ifølge Elsam er der ikke detekteret aminosyrer i denne analyse. Detektionsgrænserne ligger i intervallet 0,006-0,035 g/100 g (WT-%) og ligger derfor alle sammen over kravet i "UK Environmental Agency Guidelines". Disse analyser kan derfor ikke leve op til "UK Environmental Agency Guidelines" krav. Det er endnu ikke afklaret hvilke krav der vil blive stillet for forbrænding af kødbenmel i Danmark.

Forbrænding i cementovn

Kødbenmel eller aske herfra kan tilføres cementproduktion opblandet med de øvrige råvarer, der tilføres roterovnen til cementproduktionen. På grund af de høje temperaturer heri, sker der en fuldstændig destruktion af eventuelle prion-rester. Ydermere indlejres materialet i cementprodukterne og udgår dermed af fødekæden.

6.9.2 Kemisk destruktion af prioner

Et alternativ eller supplement til destruktion af prionproteinet ved hjælp af opvarmning kunne være en kemisk destruktion.

Normalt er det relativt let at hydrolysere et protein med syre, men prion-proteinet er så specielt, at man ikke kan tage noget for givet. Den syrebehandling, som asken vil gennemgå, hvis den anvendes i gødningsindustrien, vil muligvis fjerne eventuelle prionrester fra Kat. 1 aske, som måtte være til stede efter en eventuel mangelfuld forbrænding, men der er ikke fundet nogen dokumentation herfor i litteraturen.

Hvis aske fra Kat. 1 materiale skal anvendes af gødningsindustrien, betyder en dårlig forbrænding, at gødningsindustrien i sidste ende bliver ansvarlig for, at gødningen ikke indeholder prion-rester. Man kan ikke forvente, at gødningsindustrien vil påtage sig dette ansvar blot for at få adgang til et nyt råstof, som på enkelte punkter vil være ringere end de råfosfater, som allerede er på markedet.

I henhold til [16] kan prioner inaktiveres ved en behandling med natriumhydroxyd i kombination med opvarmning. Den samme effekt har en behandling med natriumhypoklorit med et højt indhold af aktivt klor. Artiklen angiver ikke effektiviteten af denne behandlingsform.

6.9.3 BSE-situationen

Overføres den eksisterende BSE-situation i UK til danske forhold, vil risikoen for, at en dansker dør af NVCJD ifølge statistikeren Bjørn Lomborg være 1:2000. Dvs. at en dansker vil dø af sygdommen for hvert 2000 tilfælde af BSE i Danmark. Indtil 2003 inkl. er der fundet 12 BSE tilfælde i Danmark.

6.10 Valg af gødningsprocesser, hvori aske kan indgå

Vi har gennemgået de forskellige gødningsprocesser, hvor man kan forestille sig asken anvendt som P-kilde, det vil sige at asken kan erstatte råfosfat i den oplukningsproces, som mange gødningsprocesser starter med. De nævnte processer omfatter:

- 1 Fremstilling af NP- og NPK-gødninger efter oplukning med salpetersyre.
- 2 Fremstilling af superfosfat ved oplukning med svovlsyre.
- 3 Fremstilling af fosforsyre og gips ved oplukning med svovlsyre.
- 4 Fremstilling af triplefosfat ved oplukning med fosforsyre.
- 5 Fremstilling DCP (dicalciumfosfat) ved oplukning med saltsyre.

Ud fra den askeanalyse, der var til rådighed, har vi skønnet, at asken kan erstatte råfosfat i samtlige processer, selv om der naturligvis må forventes visse receptkorrektioner.

Det alvorligste problem, som vi har lokaliseret, synes at være askens høje klorid-indhold - et problem som må studeres nøje.

Vi forventer, at asken har et lavt fluorid-indhold (selv om det ikke er bekræftet ved analyse endnu), hvilket må betragtes som en fordel set i relation til råfosfaternes ofte høje indhold af fluorid.

En undersøgelse af askens egnethed som råstof i gødningsindustrien vil være omfattende, idet den som minimum kræver, at oplukningsprocesserne med forskellige syrer klarlægges, idet man forestiller sig, at råfosfat helt eller delvist erstattes af aske. Efter en sådan indledende undersøgelse, må man forestille sig, at der bliver yderligere behov for en lang række af kemiske, fysiske og tekniske undersøgelser.

Det er næppe muligt for øjeblikket til at gennemføre en sådan omfattende generel undersøgelse af alle processerne, hvorfor vi må foretage et valg.

Markedsforholdene og nyttevirkningen af undersøgelsen for gødningsindustrien er faktorer, man må tage hensyn til. Gødningsindustrien er formodentlig den eneste industri, som er i stand til at aftage en større askemængde og udnytte den effektivt.

Indtil for relativt få år siden blev alle de nævnte produkter produceret her i landet. I dag er efterspørgslen efter P- og PK-gødninger meget beskeden, hvorfor gødningsindustrien kun producerer NP- og NPK-gødninger samt visse specielle produkter som DCP og KNO_3 .

Salpetersyre er endvidere den eneste syre, som gødningsindustrien i dag selv producerer her i landet.

Da det håbes og forventes, at gødningsindustrien vil medvirke i et undersøgelsesprogram over askens anvendelse i gødningsindustrien, er det naturligt i dag at begrænse undersøgelsen ved at vælge de metoder, der beror på, at asken opløses i salpetersyre.

Resultat af screeningen af den termiske behandling kan illustreres i følgende oversigt:

PARAMETRE FOR INDLEDENDE SCREENING	TEKNISKE PARAMETRE				
	Aske	Prod. tekniske problemer	SMITTERISIKO	ANVENDELIGHED SOM GØDNING	
METODER					
<u>Termisk behandling</u>					
Tryksterilisation og afvanding			X	Ikke relevant	
Fluid bed forbrænding	Sintring Blandings- aske	Belægnings- dannelse og korrosions- problemer	Teoretisk mulighed, men engelske forsøg afkræfter pt. risiko	Kategori II og III	
Forbrænding på kraftværkskedler	OK ved N- gas	Korrosion formentlig pga. chlorider	Ingen når slagge (ristegennemfald) genindføres	Kategori II og III Evt. også Kat. I	
Forbrænding direkte i cementovn	Begrænset mængde kan tilføres cement pga. P og Cl^-		Ingen - produktet indgår ikke i fødekæden	Kat. I	
Efteropvarmning	OK		Ingen	Kat. I	

Figur 6.4 Screeningsparametre for termisk behandling

På baggrund af notatet udarbejdet under fase 1 [23] og på basis af screening vedrørende den termiske behandling samt under behørig hensyntagen til minimering af smitterisiko konkluderes det foreløbig, at den bedste udnyttelse af fosforressourcen opnås ved at samforbrænde Kat. 2 og 3 materiale og naturgas for en efterfølgende anvendelse af asken til gødningsfremstilling.

Fraktioner med smitterisiko (Kat. 1) og knogler fra blandede slagterier, hvor der alt andet lige vil være en lille risiko for sammenblanding af affald, kan man så vælge fortsat at afbrænde i cementovn, så smitterisikoen fjernes helt fra fødekæden.

Resultat af screeningen af gødningsproducerende processer kan illustreres i følgende oversigt:

PARAMETRE FOR INDLEDENDE SCREENING		TEKNISKE PARAMETRE	Reaktivitet med syrer	Gæsnemission	Urenheder	Prod. tekniske problemer	Produktion i Danmark	Ansætningsmulighed i Danmark
METODER								
Gødningsproducerende processer								
Opløsning med salpetersyre		Syreforbrug kan ændre sig ved anvendelse af aske	X	Cl ⁻		X	X	
Opløsning med svovlsyre		Do.	X	Cl ⁻	Evt. filtreringsproblemer ved anvendelse af aske	+	+	
Opløsning med fosforsyre		Do.	X	Cl ⁻		+	+	
Opløsning med HCl		Do.	X	Cl ⁻		+	+	
Direkte anvendelse af kød- og benmel		Do.	X	Cl ⁻				(Kun fra svin)

Figur 6.5 Screeningsparametre for gødningsfremstilling

Som det fremgår af ovenstående screeningsskema vedrørende de gødningsproducerende processer, er der ikke identificeret nogen forskelle i de rent gødningstekniske parametre.

Det er derfor nærliggende at udvælge en proces baseret på salpetersyre som resultat af screeningen.

Aske fra afbrænding af kødbenmel kan alternativt anvendes til at udnytte fosforindholdet til produktion af f.eks. vaskepulver. I dette projekt har fokus været på gødningproducerende processer.

6.11 Procesdiagrammer

6.11.1 Procesforudsætninger

Oplukning af råfosfat/aske med salpetersyre

Efter udvælgelsesproceduren vurderedes, at den mest interessante proces i dagens Danmark var en proces, hvorved asken opløses i salpetersyre, hvorefter den dannede slurry oparbejdes til gødning via Kemira-processen, der er speciel ved at indeholde en ionbytningsproces.

Vi fandt imidlertid også, at asken indeholdt et meget højt klorid-indhold (1,1% Cl), der må betegnes som ekstremt højt, set i relation til, at man normalt anser et kloridindhold i råfosfat på 0,3%, som værende meget højt.

Med mindre man kan finde en løsning på klorid-problemet kan man næppe anvende asken som erstatning for råfosfat i et anlæg svarende til Kemira's anlæg i Fredericia.

Desuden er det en forudsætning fra gødningsindustriens side, at man kan levere et ensartet produkt, som ikke varierer farvemæssigt fra leverance til leverance.

Farveproblemet

Kemira har udført en del forsøg for at afklare mulige metoder til at fjerne farven fra asken. Vurderingen er pt., at det er teknisk muligt, men økonomien er endnu ikke afklaret.

Kloridproblemet

Kloridproblemet bør omhyggeligt undersøges og nødvendige forsøg udføres.

På grund af korrosion er klorid i et stærkt surt miljø særdeles skadeligt for rustfrit stål, som ofte anvendes som konstruktionsmateriale i gødningsindustrien.

For Kemiras ionbytningsproces gælder endvidere, at resinens levetid nedsættes ved et højt kloridindhold i den til ionbytningssystemet tilførte slurry.

Det vurderes ikke, at være muligt, at nedbringe kloridindholdet i asken gennem yderligere sortering af slagteriaffaldet, tværtimod er frasorteringen af alle svineknogler måske for optimistisk, idet knogler fra raske svin næppe vil blive kasseret.

For råfosfaternes vedkommende kan kloridindholdet ofte nedsættes ved en calcinering. Dette syntes dog ikke at være tilfældet for askens vedkommende, selv om denne har været bragt op på så høje temperaturer, at alkaliklorider fordamper. Hvis kødbenmelet indeholder 0,5% klorid og har et askeindhold på 28%, ville man forvente et kloridindhold i asken på $100 \cdot 0,5/28 = 1,8\%$, og man finder 1,1%, så tabet af klorid under "calcineringen" er kun af størrelsesordenen 0,7%.

Hvis råfosfatets kloridindhold er vandopløseligt, kan man reducere kloridindholdet ved en vask med vand. Således har man ved vask med vand nedbragt kloridindholdet i et råfosfat med 0,25% Cl til 0,04% Cl (tør basis). Råfosfatet opslemmes under omrøring i vand, herefter filtreres og filterkagen vaskes med vand og tørres eventuelt. Der kræves fra 1,2-3,0 m³ vand per ton råfosfat, og vandindholdet i filterkagen vil være 20-25%. Denne teknik er anvendt i visse patenter udstedt i Rumænien i 1977 [49]. Om en lignende teknik kan anvendes i forbindelse med asken afhænger først og fremmest af, om kloridindholdet er vandopløseligt, men også af aske-opslemningens filtreringsegenskaber. Alternativet til en filtrering af den vaskede aske kunne være en simpel sedimentering af denne. Sedimenteringsforsøg vil kunne afklare dette forhold.

Der er grund til at tro, at kloridindholdet i asken overvejende findes som NaCl, hvilket, som bekendt, er vandopløseligt, hvorfor vaskeforsøg med vand bør udføres. Elsam har lavet indledende vaskeforsøg, som bekræfter, at kloridindholdet kan vaskes ud. Der udestår yderligere vaskeforsøg for at afklare præcis hvordan vasken skal foregå, og hvilke vandmængder der er nødvendige.

En fjernelse af kloridindholdet fra asken indebærer et eller flere ekstra procestrin, som der i regelen ikke er behov for ved anvendelse af de gængse råfosfater, og sådanne procestrin vil være bekostelige, både hvad angår investering og drift.

Som basis for den økonomiske vurdering af omkostningerne ved anvendelse af aske til gødningsproduktion er der taget udgangspunkt i to antagne procesløsninger, som vurderes at udgøre to økonomiske yderpunkter:

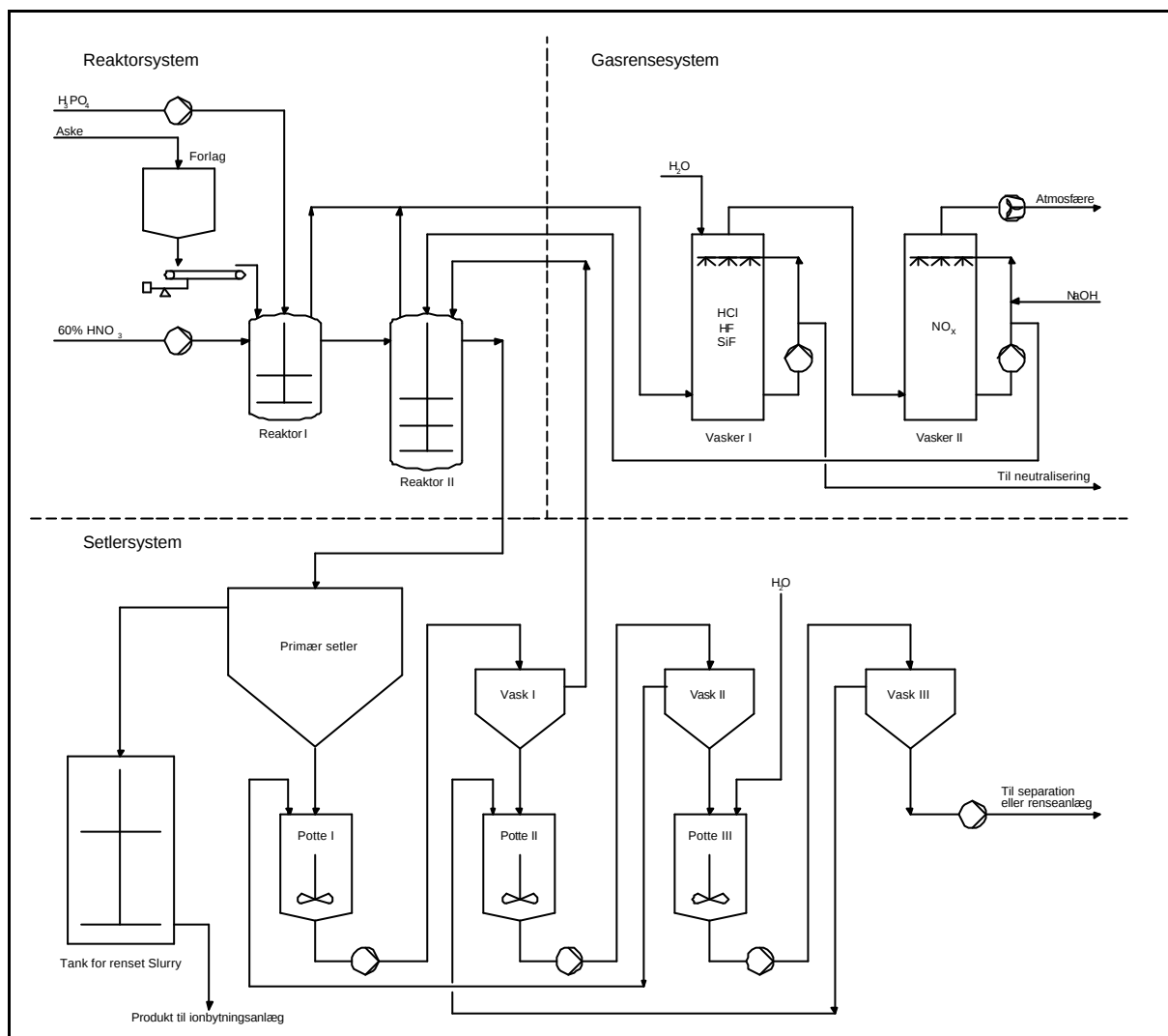
- 1 Kloridindholdet kan ikke fjernes fra asken, hvorved asken må håndteres i en ny og særskilt oplukningssektion i korrosionsbestandige materialer, samt der må påregnes et ekstra forbrug af ionbytterresin.
- 2 Kloridindholdet kan fjernes ved en simpel vask og sedimentering, hvorefter asken kan anvendes i fabrikkens eksisterende system.

Man kan komme i den situation, at kloridfjernelsen ikke er tilstrækkeligt effektiv eller bliver for bekostelig. I så fald må man vælge en anden metode til oparbejdning af asken, for eksempel at opløse asken i saltsyre, hvor et kloridindhold i asken ikke spiller nogen rolle. Da de indledende vaskeforsøg har været positive, er denne løsningsmulighed ikke undersøgt nærmere.

6.11.2 Oplukningssektion

Det er i oplukningssektionen vi umiddelbart vil forvente at finde de største forskelle ved en drift baseret på aske og en drift baseret på råfosfat, hvorfor det især er denne sektion, vi vil beskæftige os med. Det betyder ikke, at der ikke kan opstå problemer ved anvendelse af aske i de øvrige sektioner. De vil dog formodentlig være ret lette at afhjælpe, og der er ikke grund til nærmere at analysere eventuelle problemer i de øvrige sektioner, så længe forholdene i oplukningssektionen ikke er fuldt klarlagte.

I nedenstående figur er optegnet et procesflowdiagram for en oplukningssektion til produktion af gødning, hvor salpetersyre anvendes til oplukningen. Desuden vises det tilhørende gasskrubbersystem og setlersystem.



Figur 6.6 Procesflowdiagram for oplukningssektion mm.

Processen er forklaret efterfølgende:

Oplukning

Den proces, hvorved asken opløses i salpetersyre, betegnes som en oplukningsproces, og den sektion af fabriksanlægget, hvori processen foregår, kaldes oplukningssektionen.

Oplukningssektionen kan siges at bestå af tre systemer:

- Reaktorsystemet, hvor den egentlige oplukning foregår
- Gasrensesystemet, som renser afgangsgassen fra reaktorerne og andet apparatur.
- Setlersystemet, som fjerner de syreuopløselige bestanddele i reaktionsopløsningen fra reaktorerne.

Reaktorsystemet

Reaktorsystemet består af to reaktorer indbyrdes forbundet med et overløb og begge forsynede med omrørere. Til "Reaktor I" ledes råfosfat (eller aske), som doseres via en båndvægt. Endvidere tilsættes salpetersyre (og ofte også

fosforsyre) via doseringspumper. Styresystemet er indrettet således, at man kan øge eller mindske produktionen uden at ændre på forholdene mellem råfosfat, salpetersyre og fosforsyre. Det mellemprodukt, som oplukningssektionen fremstiller, ender i ” Tank for rensed slurry”, og doseringen til reaktor I styres derfor af niveauet i denne tank.

Den udviklede gas (HF , HCl , SiF_4 , NO_x , CO_2) sendes til gasvaskesystemet. Til Reaktor I hører et hjælpesystem (ikke vist på flowdiagrammet), hvorfra der kan doseres et skumdæpende middel til reaktoren. Som nævnt er der overløb fra Reaktor I til Reaktor II. Gas fra reaktor II ledes også til gasvaskesystemet.

Der er yderligere to tilløb til Reaktor II, nemlig tilløbet fra gasvaskesystemets NO_x -vasker og tilløbet fra vaskesetler I's overløb.

Gasvaskesystemet

Gasvaskesystemet består af to vaskere i serie.

Vasker I fjerner fortrinsvis HCl - og F -forbindelser ved vask med vand. Der er indsprøjtning af vand gennem et arrangement af dyser. Det er en stor vandmængde, som recirkuleres over vaskeren, men normalt kun en mindre delstrøm, som udtages, og som sendes til neutralisation uden for systemet.

Vasker II fjerner NO_x ved en vask med en NaOH -opløsning. Der indsprøjtes NaOH -opløsning gennem et system af dyser, pH måles og reguleres. Det er en stor mængde vaskeopløsning, som recirkuleres over vaskeren, men det er normalt kun en mindre delstrøm, som udtages og sendes til Reaktor II (delstrømmen indeholder NaNO_3 og NaNO_2).

Det bemærkes, at der i toppen i hver af de to vaskere sidder en dråbeudskiller.

Gasvaskesystemet behandler endvidere gas der afsuges fra setlerne (afsugningen er ikke vist på figuren).

En ventilator sørger for gastransporten gennem gasvaskesystemet til atmosfæren.

Setlersystemet

Efter oplukningen i Reaktor I og Reaktor II vil der stadig være en del af råfosfatet, som ikke er bragt i opløsning. Denne såkaldte ”syreuopløselige rest” består overvejende af sand, såfremt det er råfosfat som tilføres reaktorsystemet. Den syreuopløselige rest må fjernes, dels af hensyn til faren for at tilstoppe ionbytningsanlæggets kolonner, dels fordi den øver en uheldig slidende effekt på procesapparaturet (især på pumperne), og dels fordi den er uden gødningsmæssig værdi.

Fjernelsen af den ”syreuopløselige rest” sker her i et setlersystem, idet reaktionsslurrien fra Reaktor II ledes til den såkaldte primærsetler, der er dimensioneret således at hovedparten af den ”syreuopløselige rest” sedimenterer her. Den lille del af den syreuopløselige rest, som ikke sedimenterer, vil normalt senere afsættes i ionbytningssystemets kolonner, hvorfra den atter fjernes af ionbytningsystemets ”back-wash-system”. Det rensede overløb fra primærsetleren ledes til ”Tank for rensed slurry” og er klar til viderebehandling i ionbytningsanlægget.

Underløbet fra primærsetleren – som indeholder hovedparten af den syreuopløselige rest- indeholder imidlertid også værdifulde stoffer, som må genvindes. Dette sker i tre såkaldte vaskesetlere med tilhørende blandepotter med omrøring.

Underløbet fra både primærsetleren og fra vaskesetlerne udtages ikke kontinuerligt, men ved at en tidsstyret bundventil i setleren åbnes med mellemrum og tømmer en portion af underløbet ud i blandepotten.

Til potte I under primærsetleren ledes overløbet fra vaskesetler II, og efter blanding sendes pottens indhold til vaskesetler I. Overløbet fra vaskesetler I sendes tilbage til reaktor II og vil indeholde de genvundne værdistoffer.

Underløbet fra vaskesetler I føres til potte II, hvor det opblandes med overløbet fra vaskesetler III.

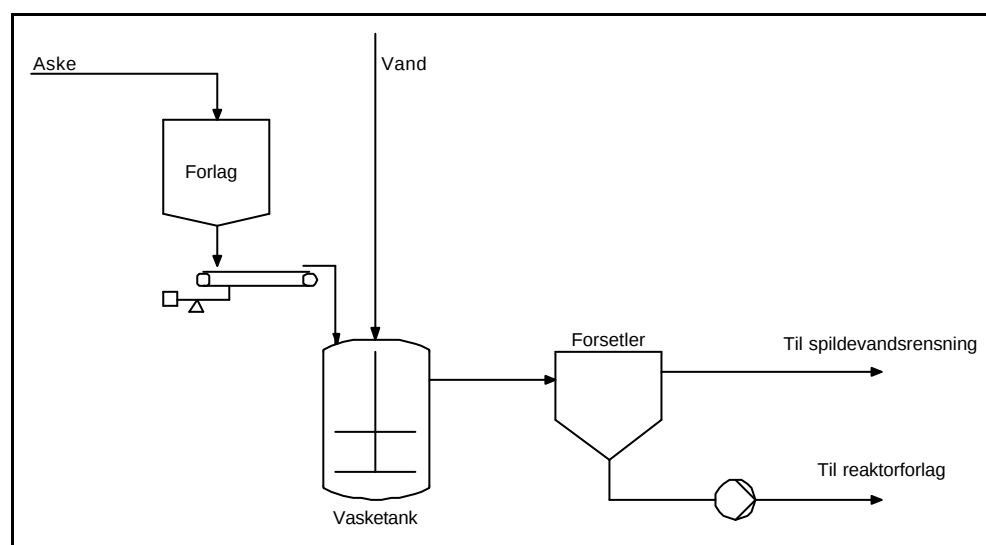
Underløbet fra vaskesetler II føres til potte III, hvor der opblandes med vand, hvorefter det føres til vaskesetler III.

Fra bunden af vaskesetler III fjernes den rensede ”syreuopløselige rest”, som kan sendes til depot eller yderligere separation eller rensning, afhængig af hvad resten skal anvendes til. Hvis mængden af den ”syreuopløselige rest” er passende lille, kan den også tilbageføres gødningsproduktionen på et egnet sted.

Til setlersystemet hører også hjælpesystem, som tillader, at man kan dosere et flokkuleringsmiddel til hver af de fire setlere. Flokkuleringsmidlet fremmer sedimentationen af den ”syreuopløselige rest” i setleren.

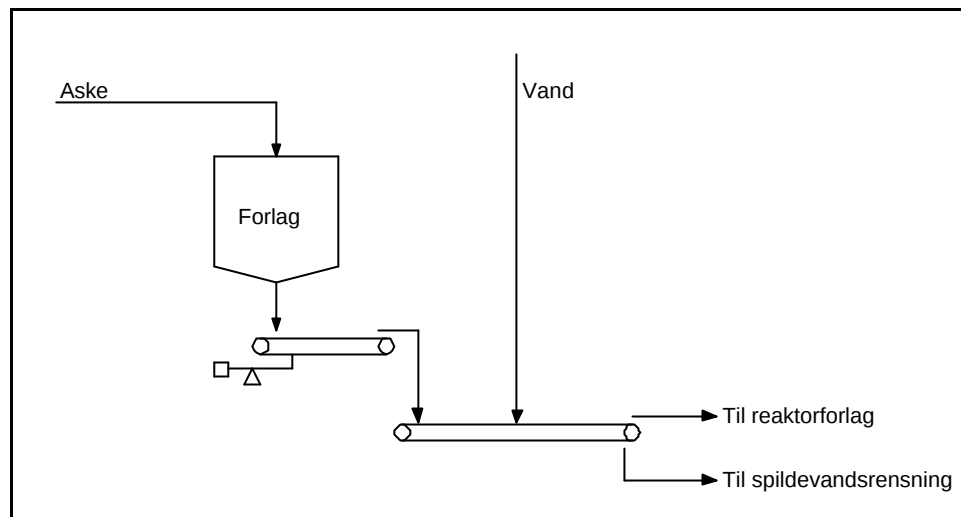
6.11.3 Simpel vask

I nedenstående figur er optegnet et procesflowdiagram for en proces, som omfatter en simpel vask af asken med vand i en beholder med omrøring efterfulgt af en sedimentering i en setler før materialet ledes til forlag til eksisterende reaktor I.



Figur 6.7 Procesflowdiagram for vask og sedimentering.

Alternativt vil en simpel vask formentlig kunne udføres på et båndfilter, hvorfra asken ligeledes ledes til forlaget i det eksisterende anlæg.



Figur 6.8 Procesflowdiagram for vask på båndfilter.

Procesparametre for ovennævnte vaskeprocesser skal afklares, før endelige kapaciteter og forbrug kan fastlægges.

6.12 Økonomi for gødningsprocesser

De procestekniske forudsætninger for at vurdere økonomien med hensyn til at anvende aske fra slagteriaffald til produktion af gødning er langt fra afklarede, idet forsøg, der skal ligge til grund for en vurdering af processen, endnu ikke er udført.

Der er derfor lavet to forskellige økonomiske overslag over investeringer i forbindelse med en delvis substitution af råfosfat med aske. Resultaterne af disse to estimater kan på nuværende tidspunkt give et indtryk af behandlingsomkostningerne ved den foreslåede anvendelse.

På basis af flowdiagrammet i figur 6.3 til 6.5 er der lavet økonomiske overslag over den ekstra behandlingsomkostning for gødningsproduktion med aske i stedet for råfosfat. For begge overslag er forudsat en forrentning på 5% af investering og en afskrivning på 5 år. Det er forudsat, at der ikke kræves ekstra personale eller kemikalieforbrug (kræver afklaring med forsøg). Desuden er forudsat vedligehold for 3% af investeringen pr. år samt en besparelse på 23.000 t/år råfosfat á 50 \$/ton ved anvendelse af 25.000 tons aske. Anlægsinvesteringer er baseret på udstyrspriser hjemhentet for rustfrit stål 316L. For en løsning i kloridbestandigt stål er disse priser ganget med 5, idet såvel materiale som forarbejdning er dyrere. Udstyrsprisen er efterfølgende ganget med 3 for at tage højde for ingeniørarbejde, installation og herunder styring og regulering.

For løsningen med vask af asken er desuden forudsat, at der anvendes 3 m³ vand/ton aske til en pris á 30 kr./m³ (køb og afledning).

Simpel vask

For en løsning, hvor asken vaskes på båndfilter eller ved simpel opløsning og sedimentering skønnes følgende:

	kr. ekskl. moms
Anlægsinvestering	6.000.000
Faste udgifter (ekstra løn) pr. år	0
Kapitalomkostninger pr. år	1.400.000
Variable produktionsomkostninger pr. år (vedligehold og vand)	2.430.000
Indtægter/besparelser pr. år	7.500.000
Nettoomkostninger i alt pr. år	-3.650.000

"Behandlingsomkostningen" bliver herved ca. -150 kr./t (negativ) på grund af besparelsen på råfosfat. Som det ses, udgør de variable produktionsomkostninger en større andel end investeringsomkostningerne, hvilket afspejler, at vandforbrug og -pris har forholdsmæssig stor betydning for dette overslag.

Især spildevandsprisen kan være usikker, idet kloridholdigt spildevand kan være svært at "afsætte" til almindelige spildevandsanlæg. Når der er gennemført vaskeforsøg, vil man efterfølgende kunne analysere og vurdere spildevandet.

Vaskevandet betyder desuden, at asken vil være våd, og dermed vil koncentrationen af salpetersyren falde. Forsøg vil kunne afklare, om man kan justere vandbalancen ved at bruge mindre skyllevand til skylningen i setlersystemet. Hvis en sådan justering af vandbalancen ikke er mulig, vil det være nødvendigt at tørre asken, at erstatte en del af salpetersyren (60-62%) med 98-100% salpetersyre eller at fordampe ekstra vand efter ionbytningsanlægget.

En løsning, hvor en del af salpetersyren erstattes med f.eks. 98% salpetersyre, vil kræve ekstra investering i en salpetersyretank samt indkøb af salpetersyre i analysekvaliteter til urealistisk høje priser. En sådan løsning er derfor ikke økonomisk rentabel.

Elsam har vurderet investering i et vaskesystem inklusive tørring til 17 millioner kr. Dette svarer til ca. en fordobling af udstyrsprisen på grund af ekstra tørreudstyr samt en højere vurdering af bygningspris. Ved en investering på 17 millioner kr. bliver prisoverslaget inklusive ekstra energiforbrug til tørring af aske:

	kr. ekskl. moms
Anlægsinvestering	17.000.000
Faste udgifter (ekstra løn) pr. år	0
Kapitalomkostninger pr. år	4.000.000
Variable produktionsomkostninger pr. år (vedligehold og vand)	3.500.000
Indtægter/besparelser pr. år	7.500.000
Nettoomkostninger i alt pr. år	0

Dette svarer til en behandlingsomkostning på ca. 0 kr./ton (kostneutral).

Oplukningssektion

For en løsning, hvor kloridindholdet ikke kan vaskes, er der foretaget et skøn over udgifterne, forudsat at der skal etableres en helt ny oplukningssektion, som vist på figur 6.3, fremstillet i korrosionsbestandige materialer. For et anlæg udført i traditionelle materialer, primært 316 L er anlægsinvesteringen skønnet til 10 millioner kr, medens prisen for udførelse i et korrosionsbestandigt materiale (baseret på Sanicro 28) er skønnet til 45 millioner kr. Eventuelle ekstraudgifter til et større resinforbrug er ikke medregnet i overslaget:

	kr. ekskl. moms
Anlægsinvestering	45.000.000
Faste udgifter (ekstra løn) pr. år	0
Kapitalomkostninger pr. år	10.400.000
Variable produktionsomkostninger pr. år (vedligehold og vand)	1.350.000
Indtægter/besparelser pr. år	7.500.000
Nettoomkostninger i alt pr. år	4.250.000

Behandlingsomkostningen bliver herved ca. 170 kr./t.

Ovennævnte resultater skal begge opfattes som tillægsomkostning for anvendelse af aske i stedet for råfosfat. Hertil skal lægges omkostninger til transport af asken fra forbrændingsanlæg til gødningsproducenten. Transportomkostninger ved transport fra Elsam til Kemira er skønsmæssigt 100 kr./t.

Som det fremgår af ovenstående, er der en del usikre forudsætninger som baggrund for disse behandlingspriser, hvorfor disse skal opfattes mere som en prisindikation end som endelige priser.

6.13 anbefalinger og videre arbejde for gødningsprocesser

Vi har gennemgået de forskellige gødningsprocesser, hvor man kan forestille sig asken anvendt som P-kilde, det vil sige at asken kan erstatte råfosfat i den oplukningsproces, som mange gødningsprocesser starter med. Det er vurderet, at asken kan erstatte råfosfat i samtlige processer, selv om der naturligvis må forventes visse receptkorrektioner.

Markedsforholdene og nyttevirkningen af undersøgelsen for gødningsindustrien er faktorer, man må tage hensyn til, og på denne baggrund er der foretaget en nærmere vurdering af gødningsproduktion med salpetersyre, der er den eneste syre, som gødningsindustrien i dag selv producerer her i landet.

Det var intentionen, at forbrændingsproces og gødningsproduktion skulle være vurderet detaljeret for at få afklaret procestekniske forudsætninger og eventuelle problemer.

Problemet er imidlertid, at forbrændingsprocesserne først må have ”det blå stempel” fra en ansvarlig offentlig myndighed. Her er det nok et problem, at der endnu ikke findes tilstrækkeligt med fælles europæiske regler, anvisninger

og krav til kontrol af forbrændingens kvalitet. Uden myndighedernes garanti for, at asken er smittefri, har det foreløbigt vist sig umuligt at afsætte denne for en efterfølgende udnyttelse af fosforressourcen heri. Forsøg med asken har derfor ikke fået den prioritet, som det var forventet ved projektets påbegyndelse.

Projektet anbefaler derfor, at arbejdet med en godkendelsesprocedure for forbrændingsprocesserne fremmes mest muligt, for uden rimelig dokumentation for, at forbrændingsprocesserne fører til en prionfri aske, skal man næppe vente, at gødningsindustrien eller andre, som kan udnytte fosforindholdet, vil aftage asken.

Når myndighedernes accept af asken foreligger, kan man formentlig få sat skub i den tekniske udvikling af processerne. Her kan nævnes en række af de tekniske faktorer, som vi anbefaler, at der arbejdes videre med:

- Reduktion af kloridindholdet ved vask med vand f.eks. ved hjælp af et båndfilter.
- Muligheder for udnyttelse eller recirkulation af kloridholdigt skyllevand.
- Analyse af askens fluorid indhold.
- Forsøg med opløsning af aske, herunder undersøgelse af tilgængeligheden af fosforindholdet og syreforbrug.
- Analyse af syreuopløselig rest og undersøgelse af sedimenteringsegenskaber.
- Bestemmelse af gasemission ved oplukningsprocessen.
- Løsning af de kosmetiske problemer (uønsket mørk aske).
- Fysiske og tekniske undersøgelser af askens egenskaber i procesudstyret. Her kan parametre som partikelfordeling, specifik overflade, massefylde, skræntvinkel og askens smeltepunkt have betydning for, hvorledes asken vil "opføre sig" i gødningsindustriens apparatur: transportbånd, snegle, siloer, vægte etc., og om asken vil forårsage store støvgener i fabrikken.

7 Konklusion

Anvendelse af animalske biprodukter er i dag forbundet med omkostninger, hvor det tidligere repræsenterede en værdi som kraftfoder. I Danmark slagtes årligt over 21 millioner svin og 0,6 millioner kvæg mv. Dette giver store mængder affald. I alt producers der årligt ca. 1 millioner ton affald i Danmark omfattet af EU's regler (1774/2002). Projektets hovedkonklusion er at der ved øget omhu i opdeling af slagteriaffald relativt let kan findes fornuftige disponeringsveje for dette affald. Nedenfor gives forslag til en prioriteret disponering:

Foder til kæledyr mv.

- Kat. 3 tryksteriliseret materiale til pet food og pelsdyrfoder forud for anden anvendelse. Tryksteriliseret blodmel fra andre dyr end drøvtyggere kan anvendes til fiskedambrug og evt. kyllingefarme under særlige forhold.
- Kat. 2 tryksteriliseret fjerkræmateriale til pelsdyrfoder forud for anden anvendelse

Biogas og genanvendelse af næringsstoffer

- Kat. 3 hygiejniseret fedt- og flotationsslam til biogas.
- Kat. 2 tryksteriliseret kyllingepulp og svinepulp og inkl. selvdøde dyr til biogas max. ca. 3% af samlet tilført mængde materiale til biogasanlægget.
- Kat. 3 hygiejniseret fiske- og mejeriaffald til biogas.
- Kat. 2 gødning (mave-, tarmindehold og strøelse) til biogas / udbringning på mark.

Forbrænding og genanvendelse af aske

- Kat. 1 materiale til cementindustri tilført som kødbenmel fx som eksport til Tyskland.
- Kat. 1 og Kat. 2 materiale til dedikeret forbrændingsanlæg. Ved forbrænding skal aske fra forbrænding af Kat. 1 materiale deponeres kontrolleret.
- Kat. 2 benmel til n-gas fyrede kraftværker godkendt til affaldsforbrænding med kraftvarmeproduktion og genindfyring af aske og evt. oparbejdning af vasket aske i gødningsindustri.
- Kat. 2 kødbenmel til affaldsforbrænding med kraftvarmeproduktion og deponering af asken.
- Teknisk fedt (askefri) vil kunne brændes til energiproduktion på miljøgodkendte anlæg eller bruges til produktion af biodiesel.

Udnyttelse af bio-pulp

Kat. 2 slagteriaffald til biogasanlæg skal være deklareret og tryksteriliseret og vil hovedsagligt bestå af finthakket svinepulp med højt fedtindhold. Det er vigtigt at knoglerester er frasorteret da fosforindholdet vil give problemer med tilstrækkeligt landbrugsareal til slutdisponeringen. Fosfor kan dog fjernes sammen med fiberfraktionen ved brug af en dekantercentrifuge, hvilket der er del anlæg, der allerede har installeret. Hvis den deklarerede bio-pulp kan

fordeles jævnt til landets biogasanlæg er der i hvert fald på kort sigt balance mellem produceret mængde, modtagekapacitet og slutdisponering på landbrugsjord. På længere sigt, hvor mængderne forventes at stige, vil der dog blive behov for flere biogasanlæg for at kunne behandle affaldsressourcen eller væsentlige ombygninger på eksisterende anlæg, så de kan modtage en større mængde pulp.

Der bliver nu en opgave for markedets parter i at sætte denne disponering i system herunder at nå til en markedsbestemt behandlingsomkostning, der sandsynligvis vil ligge et sted mellem frit leveret an biogasanlæg og frit afhentet på Daka - afhængig af fedtindholdet. Markedsværdien er under de nuværende bestemmelser stærkt afhængig af harmonikravene og om alternativ bortskaffelse ved forbrænding vil være belagt med affaldsafgifter.

Udnyttelsen af fosfor ressourcen

De forskellige gødningsprocesser, hvor man kan forestille sig asken anvendt som P-kilde er gennemgået, det vil sige at asken kan erstatte råfosfat i den oplukningsproces, som mange gødningsprocesser starter med. Det er vurderet, at asken kan erstatte råfosfat i samtlige processer, selv om der naturligvis må forventes visse receptkorrektioner.

Markedsforholdene og nyttevirkningen af undersøgelsen for gødningsindustrien er faktorer, man må tage hensyn til, og på denne baggrund er der foretaget en nærmere vurdering af gødningsproduktion med salpetersyre, der er den eneste syre, som gødningsindustrien i dag selv producerer her i landet.

Projektet konkluderer at anvendelse af aske fra forbrænding af benmel som råvare til gødningsproduktion er teknisk farbar, men økonomisk vanskelig at gennemføre uden lovgivningsbestemte ændringer i omkostningsstruktur mv. Som situationen er ved udgangen af 2003 vil denne disponering ikke kunne konkurrere med at køre kødbenmel til tyske cementfabrikker og forbrændingsanlæg.

8 Litteraturliste

- [1] Miljøstyrelsen, (2002): Prioritetsplan for program for renere produkter mv.
- [2] Regeringen, (2003): Affaldsstrategi 2005-08.
- [3] EU-forordning om sundhedsbestemmelser for animalske biprodukter (1774/2002): Health rules concerning animal by-products not intended for human consumption.
- [4] Braungart, M., (2000): Recycling of Nutrients in Modern Livestock Production. Livscyklusvurdering over animalske proteiner. EPEA - Internationale Umweltforschung GmbH.
- [5] Claus Lübeck Christensen (nu COWI) universitetsprojekt, (2000), miljøgennemgang af Daka virksomheden i Løsning ved Hedensted, med kortlægning af vand- og stofstrømme. Visse af spildevandsstrømmene er desuden analyseret yderligere for inhiberende stoffer, fordi der er registreret nitrifikationshæmning på virksomhedens anlæg.
- [6] Landbrugets Rådgivningscenter, (1994). Seminar om spredning af smittestoffer fra husdyrgødning og organisk affald.
- [7] Miljøprojekt 328, (1996). Anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål inkl. bilag (arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 47).
- [8] DAKOFA-temadag (2002). Går der BSE i komposten?
- [9] KVL, (1999). Metoder til forøgelse af biogasudbyttet fra husdyrgødning. Inst. for Jordbrugsvidenskab.
- [10] Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 32, (1999). Afsætning af kompost og bioforgasset dagrenovation. Forundersøgelse om markedsforhold.
- [11] Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 64, (1993). Jordbrugsmæssig værdi af produkter fra organisk dagrenovation.
- [12] Proposal for a Regulation of the European Parliament and of the Council laying down the health rules concerning animal by-products not intended for human. Oct. 2000, KOM (2000) 574 final, 2000/0259 (COD). ANNEX 1.
- [13] Inactivation of the bovine spongiform encephalopathy agent by rendering procedures, D.M. Taylor, S.L. Woodgate, M.J. Atkinson, The Veterinary Record, (1995) side 137 og side 605-610.
- [14] Solvent extraction as an adjunct to rendering: the effect on BSE and scrapie agents of hot solvents followed by dry heat and steam,

D.M.Taylor, K. Fernie, I. McConnell, C.E. Ferguson, P.J. Steele The Veterinary Record ,(1998) 143, side 6-9.

- [15] New studies on the heat resistance of hamster-adapted scrapie agent: Threshold survival after ashing at 600°C suggest an inorganic template of replication, P. Brown et al, Proc. Natl. Acad. Sci, USA, Vol. 97 issue 7, side 3418-3421, March 28, (2000).
- [16] Inactivation of the BSE agent, D. Taylor, C.R. Biologies 325, (2002), side 75-76.
- [17] Behavior of meat and bonemeal/peat pellets in a bench scale fluidised bed combustor, K. McDonnell et al. Energy 26, (2001), side 81-90.
- [18] Factors Affecting the Phosphoric Acid- Phosphate Rock Reaction, H.L Marshall, L.F., Rader, Jr., and K.D.Jacob, Industrial and Engineering Chemistry, (Nov. 1933), side 1253-1259.
- [19] Recovery of phosphate from calcinated bone by dissolution in hydrochloric acid solutions, Ayhan Demirbas, Yuksel Abali, Ebubekir Mert, Resources, Conservation and Recycling 26, (1999) side 251- 258 .
- [20] Production of NPK fertilizers by the Nitrophosphate Route, Booklet No.7, EFMA, (1995).
- [21] Production of NPK fertilizers by the Mixed Acid Routes, Booklet No. 8, EFMA, (1995).
- [22] Slam og halmaske til gødning. Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen. Nr. 28, (1992).
- [23] Dokument nr. 55962-100, (2003). Arbejdsnotat vedr. kortlægning af animalske biprodukter. SFI og COWI.
- [24] Biogasfællesanlæg - et bidrag til bæredygtigt landbrug. Landbrugets Rådgivningscenter, Landskontoret for Planteavl (2000).
- [26] Restgaspotentialet i afgangsgylle - DTU, Eva Arler, Troels Hilstrøm og Søren H. Laursen (2003).
- [27] Afsætning af bioforgasset organisk affald. Miljøprojekt nr. 832 Hedeselskabet et al. (2003). MST j.nr.: 3277 - 0025.
- [28] Opinion and report on the safety of dicalcium phosphate precipitated from ruminant bones and used as an animal feed additive. Update from the SSC meeting (26-27 Oct. 2000). European Commission Health & Consumer Protection Directorate-General.
- [29] IPC Guidance Note S2 1.05 Amplification note No.1 Processes Subject to Integrated Pollution Control. Combustion of Meat and Bone Meal MBM, (2003).
- [30] Jens Dall Bentzen, personlig kommunikation med Seghers Better Technologies, (2003).

- [31] Chief Inspector's Guidance Note. Series 2 (S2). Processes Subject to Integrated Pollution Control. Fuel Production and combustion Sector (incl. Power Generation).
- [32] Dansk BioEnergi nr. 67, (febr. 2003), Biogasstatistik, BioPress.
- [33] Kommunikation med Jes La Cour Jansen, Lunds Tekniska Högskola, (2003).
- [34] Internationalt affaldsnyt 4 (2001), side 29 - Videntcenter for affald. / UmWelt Magazin, 30 årgang, april 2001, side 68-69.
- [35] Anvendelse af minkaffald til biogasproduktion. Reto M. Hummelshøj, COWI. (Jan. 2002).
- [36] Mesophilic and thermophilic anaerobic digestion of source-sorted organic wastes: effect of ammonia on glucoses degradation and methane production. C. Gallert - J. Winther. Appl Microbiol Biotechnol, (1997) 48: side 405-410.
- [37] Analysis of environmental factors affecting methane production from high-solids organic waste. J.J.Lay, Y.Y.Li, T.Noike, J.Endo and S.Ishimoto. Pergamon Wat.Sci.Tech. Vol. 36, No. 6-7, side 493-500, (1997).
- [38] Udnyttelse af gødningsstoffer i kødbenmel efter behandling på biogas-anlæg. Henrik Ørtenblad, EnergiGruppen Jylland, (2003).
- [39] Gødningsvirkning af kød- og benmel med fokus på N og P. - litteratur review af Torkild Birkmose, landskontoret for Planteavl (2002).
- [40] Askeanalyser fra forbrænding af kødbenmel på Fynsværket blok 3. Elsam (2002).
- [41] Kød- og benmel bruges til cement. Ingeniøren nr. 20, (2001).
- [42] Prionen und der Rinderwahnsinn. Fleischwirtschaft 11,(2002), (om risici).
- [43] Høringsudkast til vejledning. Vejledning til Bekendtgørelse om anvendelse af affald til jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen). Miljøstyrelsen, (juli 2003).
- [44] Anvendelse af svinepulp i danske biogasanlæg. Anita Lindahl, Signe Vork, og Jens Bo Holm Nielsen, Bioenergigruppen v. AUE/SDU, Esbjerg, (juli 2003).
- [45] Animalske biprodukter I biogasanlæg. B. Sander Nielsen (konsulent i landbrugsrådet og sekretær for Brancheforeningen for Biogas) Dansk BioEnergi nr. 68, (april 2003).
- [46] Opkoncentrering af næringsstoffer i afgasset biomasse, F. Teisen, K. Paamand og M. Hedegaard, (juli 2003).

- [47] The Nature of Bone, H. Basset jun., Journal of Chemical Society, London 111 (3), side 620-633, (1917).
- [48] Recovery of energy from waste, Wykes Engineering, PDM's FBC Performance, (Nov. 2000).
- [49] Fertilizer Acids, Proceedings of the British Sulphur Corporation's, Third International Conferences on Fertilizer, London, side 12-14. November, (1979), XV-29.
- [50] Store fortjenester i kogalskaben, Ingeniøren (2. febr.2001).
- [51] Bjerger af kød- og benmel eksporteres til Tyskland, Dansk landbrug sender mere end 200.000 ton dyreaffald fra kogalskabskrisen til udlandet, Ingeniøren (2. maj 2003).
- [52] Personlig kommunikation med Jes la Cour Jansen m.fl. (2003).
- [53] Dokument nr. 55962-202. Arbejdsnotat vedr. Screening af metoder til udnyttelse af fosfor, (2003).
- [54] A quantitative assessment of the BSE risk associated with the ashes and slag from the incineration of meat and bone meal in a gasfired power plant (Preliminary). L.G. Paisley and Julie Hostrup-Pedersen. Danish Veterinary Laboratory, (2003).
- [55] Ash Characteristics, Fax from Wykes Engineering to COWI A/S, (14. aug. 2003).
- [56] Miljøstyrelsen. Bekendtgørelse nr. 623 af 30. juni 2003 om anvendelse af affald til jordbrugsformål (Slambekendtgørelsen).
- [57] EU forordningen om grænseoverskridende transport af affald.
- [58] Miljøstyrelsen. Bekendtgørelse nr. 162 af 11. marts 2003 om anlæg, der forbrænder affald (Affaldsforbrændingsbekendtgørelsen).
- [59] Fødevareministeriet. Bekendtgørelse nr. 355 af 19. maj 2003 om bortskaffelse og forarbejdning af animalske biprodukter.
- [60] Europakommissionen: (EF) 1234/2003 (fodringsforbudet).

Bilag A. Resultater af udrådningsforsøg

Udrådningsforsøg

Gennemført april – juni 2003 i forbindelse med projektet "Udvikling af metoder til udnyttelse af animalsk affald i biogasanlæg"

INDHOLD

UDRÅDNINGSFORSØG AF ANIMALSK AFFALD	3
GRUNDLAG FOR ANALYSEN	3
SVINEPULP	3
REAKTORMATERIALER	4
FASTLÆGGELSE AF C/N-FORHOLD	4
BESKRIVELSE AF UDRÅDNINGSFORSØG	5
1. FORSØGSSERIE	5
2. FORSØGSSERIE	6
3. FORSØGSSERIE	6
RESULTATER AF UDRÅDNINGSFORSØG	7
RESULTAT AF 1. FORSØGSSERIE	7
RESULTAT AF 2. FORSØGSSERIE	8
RESULTAT AF 3. FORSØGSSERIE	8
SAMLET VURDERING AF FORSØGSSERIERNES RESULTATER	9
BEGRÆNSENDE FAKTOR	10
ANALYSENS KONKLUSION	10

UDRÅDNINGSFORSØG AF ANIMALSK AFFALD

I forbindelse med det af Miljøstyrelsen udbudte projekt ”Udvikling af metoder til udnyttelse af animalsk affald i biogasanlæg” er der på EnergiGruppen Jylland A/S laboratorium i tilknytning til Studsgård Biogasanlæg gennemført en række udrådningsforsøg.

Disse forsøg skal, suppleret med resultater fra tidligere udførte analyser, medvirke til afdekning af de muligheder og begrænsninger, der er forbundet med tilførsel og behandling af animalsk affald i biogasanlæg.

Nærværende tekst beskriver de udførte forsøg samt de heraf fremkomne resultater.

Grundlag for analysen

I forbindelse med analyserne er anvendt svinepulp leveret fra DAKA a.m.b.a.’s afdeling i Løsning. Dette materiale er i forbindelse med udrådningsforsøgene opblandet med reaktormateriale fra en af de to biogasreaktorer på Studsgård Biogasanlæg.

For øvrige oplysninger omkring blandingsforhold, opholdstider mv. henvises til afsnittet ”Beskrivelse af udrådningsforsøg”.

Svinepulp

Som substrat er anvendt svinepulp leveret fra DAKA a.m.b.a.

Materialet er leveret i en af de varianter, der forventes at blive udbudt som standardvare fra virksomheden og fremkommer som et homogent produkt, idet dette har undergået tryksterilisation.

Materialet, der fremstår som en findelt homogen grå masse med konsistens som grød, er gennem laboratoricanalyse fundet til at have følgende indhold:

Råprotein:	23,7 % af Total
Total N:	3,79 % af Total
Råfedt i TS:	35,7 % af TS
Aske:	15,8 % af Total
Vand:	34,8 % af Total
Tørstof:	65,2 % af Total
Fosfor P:	2,9 % af Total

Det høje fedtindhold indikerer umiddelbart, at materialet er interessant som råstof til biogasanlæg; men indholdet af kvælstof og til dels protein bevirker imidlertid, at der er grund til at undersøge, hvorvidt anvendelse af materialet giver anledning til hemning af biogasprocessen eller skurning i reaktoren.

Reaktormateriale

For at få et så realistisk resultat som muligt, er der som podemateriale valgt reaktormateriale fra et igangværende biogasanlæg.

Anlægget, Studsgård Biogasanlæg ved Herning, repræsenterer den typiske driftssituation for danske biogasanlæg, idet der er tale om et anlæg under termofil drift som modtager svine- og kvægylle såvel som en række forskellige organiske affaldsprodukter.

I nedenstående tabel er angivet, hvilke materialer, der blev tilført anlægget i den periode, hvor der blev udtaget materiale fra reaktoren til brug for udrådningsforsøgene.

Materiale tilført anlægget i forsøgsperioden			
Produkt	Total mængde i perioden	Gennemsnitlig daglig mængde	
	Tons	Tons/dag	
Svineylle	23.390	254	
Kvægylle	6.011	65	
Blegejord	2.124	23	
Fedt og fedtslam	657	7,1	
Flotationsslam	221	2,4	
Spritprodukter	125	1,4	
Div. industriprodukter	313	3,4	
I alt	32.841	356,3	

Med det formål at kunne identificere hvor store mængder svinepulp, der skal tilsættes for at opnå de ønskede indhold af kvælstof i opblandingerne, er der foretaget analyser af det ved udrådningsforsøgene anvendte materiale, hvorved nogle karakteristiske værdier er fundet.

Total P:	1 g/L
Total N:	6,5 g/L
NH ₄ -N:	2,8 g/L
Tørstof:	65 g/L
pH:	7,9

Fastlæggelse af C/N-forhold

Med det formål at fastlægge C/N forholdet i svinepulpen og reaktormaterialet, har laboratoriet Eurofins Danmark foretaget en analyse, hvis resultater er præsenteret i nedenstående tabel.

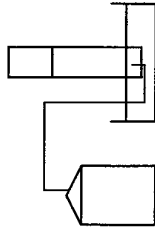
Resultater fra analyse til fastlæggelse af C/N-forhold				
	Kvælstof	Total % i TS	Kulstof	Total % i TS
Daka Svinepulp	6,08		50	
Podemateriale	6,13		30	
				C/N % forhold
				8
				5

Beskrivelse af udrådningsforsøg

Forsøgene er udført som batch-udrådning med gasopsamling i fortrængningsbeholder.

Der er anvendt syv forsøgsreaktorer, hver med et volumen på 1000 ml. Reaktorerne er placeret i vandbad med konstant temperatur på 50 °C, idet der er tale om termofil udrådning.

Hver af reaktorerne er via slange forbundet til en fortrængningsbeholder, hvori den producerede biogas blev opsamlet og mængden kunne aflæses (figur 1). Reaktorerne blev omrørt dagligt.



Figur 1.: Illustrationen af forsøgsopbygning til udrådning.

Basismediet bestod af afgasset biomasse fra Studsgård Biogasanlæg, der blev opblandet med basismediet i 2 forskellige koncentrationer.

Forsøgene er udført med 3-dobbelbestemmelse og den sidste reaktor er anvendt som reference med ren basismedie.

Inden substratet blev tilsat reaktorerne, var disse med basismedie forinkuberet i 48 timer, således at den mængde biogas, der vil være i dette materiale, kunne afgasses. Herved reduceres usikkerheden på målingerne væsentligt.

Koncentrationerne af produktet er valgt ud fra en erfaringsmæssig grænse for forekomst af hæmming af biogasprocessen ved 3,5 – 4,0 g NH₄-N/l.

I det følgende beskrives indholdet af hver af de 3 gennemførte forsøgsserier.

1. Forsøgsserie

Formål:

At undersøge forhold ved tilførsel af animalsk affald til biogasanlæg. Tilsætningsmængden af svinepulp er valgt således, at der fremkommer to forskellige belastningsgrader, én der forventes at være under hhv. over den teoretisk beregnede grænse for hæmming.

For at kunne bestemme de nødvendige mængder svinepulp, der skal tilsættes for at nå de ønskede koncentrationer, er dels anvendt den af DAKA udførte analyse af svinepulpen og dels en laboratorieanalyse af basismaterialet udført ved Ålborg Universitet Esbjerg.

Reaktor 1: Reference, 1 ltr. podemateriale fra Studsgård Biogasanlæg.

Reaktor 2 – 4: Som R1 samt tilsætning af 20 g svinepulp, hvorved der forventes et ammonium indhold i blandingen på 3,5 g NH₄-N/l.

Reaktor 5 – 7: Som R1 samt tilsætning af 30 g svinepulp, hvorved der forventes et ammonium indhold i blandingen på 4,0 g NH₄-N/l.

Forsøget blev igangsat onsdag den 26. marts og blev afsluttet 24. april 2003 efter 29 dages forløb.

2. Forsøgsserie

Formål:

Som udgangspunkt gennemførtes forsøget med samme udgangsmaterialer og koncentrationer som ved 1. forsøgsserie, dog blev der i dette tilfælde tilsat en vis mængde fedt i form af rapsolie til blandingen. Formålet hermed var at undersøge virkningen af et forbedret C/N-forhold, eksempelvis hvorvidt det herved er muligt at øge belastningsgrænsen ved hvilken der fremkommer hæmming af biogasprocessen.

Reaktor 1: Reference, 1 ltr. podemateriale fra Studsgård Biogasanlæg.

Reaktor 2 – 4: Som R1 samt tilsætning af 20 g svinepulp og 10g rapsolie.

Reaktor 5 – 7: Som R1 samt tilsætning af 30 g svinepulp og 15 g rapsolie.

Forsøget gennemførtes over 15 forsøgsdage i tidsrummet fra 18. maj til 2. juni 2003.

3. Forsøgsserie

Formål:

På baggrund af resultaterne fra de 2 foregående forsøgsserier, hvor der var indikationer på hæmming, blev der gennemført en 3. forsøgsserie, der havde til formål at bestemme gaspotentialer i materialet. Pulpen blev derfor tilsat i koncentrationer, der med sikkerhed var under grænsen for hæmming, nemlig henholdsvis 5 og 10 g pr. reaktor.

Reaktor 1: Reference, 1 ltr. podemateriale fra Studsgård Biogasanlæg.

Reaktor 2 – 4: Som R1 samt tilsætning af 5 g svinepulp.

Reaktor 5 – 7: Som R1 samt tilsætning af 10 g svinepulp.

Forsøget gennemførtes over 18 forsøgsdage i tidsrummet fra 6. juni til 24. juni 2003.

Resultater af udrådningforsøg

I det følgende gennemgås resultaterne af udrådningforsøgene og de løbende analyser, der er foretaget undervejs i forløbet, præsenteres. Desuden gives en fortolkning af disse analyser og forsøgenes øvrige resultater.

Foruden analyserne foretaget i laboratoriet ved Studsgård Biogasanlæg er der foretaget en række analyser dels ved Ålborg Universitet Eshjerg og dels ved Eurofin Danmark.

Resultat af 1. forsøgsperiode

Gasproduktionen var stor i forsøgets første 3 til 4 dage hvorefter den var moderat.

Der blev ikke observeret skumninger eller andre forstyrrelser.

Gasproduktionen var efter 16 dage:

20 g tilsætning:	182 nm ³ /ton
30 g tilsætning:	207 nm ³ /ton

Gasproduktionen efter 29 dage:

20 g tilsætning:	223 nm ³ /ton
30 g tilsætning:	237 nm ³ /ton

Kontrolreaktoren havde ved forsøgets afslutning en kvælstofbelastning på

3,05 g NH ₄ -N/L
6,4 g Total – N/L

20 g tilsætning havde ved forsøgets afslutning en kvælstofbelastning på

3,98 g NH ₄ -N/L
6,6 g Total – N/L

30 g tilsætning havde ved forsøgets afslutning en kvælstofbelastning på

4,30 g NH ₄ -N/L
6,7 g Total – N/L

Det ses at belastningen er blevet større en det forventede på henholdsvis 3,5 og 4,0 g NH₄-N/l.

Ud fra udviklingen i gasproduktionen og ud fra kvælstofbelastningen indikeres det, at denne opblandingskoncentration medfører en belastning, der er tæt på den maksimale.

Resultat af 2. forsøgsperiode

Forsøgets formål var at undersøge om øget kulstoftilsætning og dermed ændret C/N forhold kunne øge belastbarheden. Derfor er svinepulptilsætningen som forsøg 1, men derforuden er der tilsat rapsolie.

Gasproduktionen er hurtig i de første dage for derefter at aftage, der er en åbenlys hæmning. Efter 15 dage blev forsøget afbrudt.

Gasproduktionen efter 15 dage:

20 g svinepulp + 10 g olie: 140 nm ³ /ton
30 g svinepulp + 15 g olie: 115 nm ³ /ton

Kontrolreaktoren havde ved forsøget afslutning en kvælstofbelastning på:

2,76 g NH ₄ -N/L
6,0 g Total – N/L

20 g svinepulp + 10 g olie tilsætning havde ved forsøgets afslutning en kvælstofbelastning på:

3,47 g NH ₄ -N/L
8,1 g Total – N/L

30 g svinepulp + 15 g olie tilsætning havde ved forsøgets afslutning en kvælstofbelastning på:

3,89 g NH ₄ -N/L
7,2 g Total – N/L

Forsøget må betragtes som overbelastet, men ikke kvælstofhæmmet. Der er i stedet tale om en simpel overfodring, hvilket syretallene også indikerer.

Resultat af 3. forsøgsperiode

Forsøget havde en gasudvikling som forventet, med størstedelen realiseret de første 5 dage.

Gasproduktionen efter 18 dage:

5 g svinepulp:	243 nm ³ /ton
10 g svinepulp:	223 nm ³ /ton

Kontrolreaktoren havde ved forsøgets afslutning en kvælstofbelastning på:

3,22 g NH₄-N/L
7,8 g Total – N/L

5 g svinepulp tilsætning havde ved forsøgets afslutning en kvælstofbelastning på:

3,49 g NH₄-N/L
8,8 g Total – N/L

10 g svinepulp tilsætning havde ved forsøgets afslutning en kvælstofbelastning på:

3,45 g NH₄-N/L
8,7 g Total – N/L

Samlet vurdering af forsøgsresultater

Forsøgene forløb planmæssigt, idet der dog mod forventning ikke optrådte skumning med deraf følgende problemer.

Den testede svinepulp blev leveret tryksteriliseret og havde en konsistens er som tyk grød. Da pulpen samtidig med relativ lethed lod sig opløse, vurderes det at den umiddelbart vil kunne anvendes i større skala i biogasanlæg, se dog nedenstående bemærkninger omkring kvælstofbelastning.

Udbytte:

Teoretiske udbytte for svinepulp:

Fedt	291 nm ³ /ton
Protein	166 nm ³ /ton
I alt	456 nm ³ /ton

Forsøgsresultat:	243 nm ³ /ton
Nedbrydningsgrad:	53%

Korrelation mellem batchforsøg og kontinuert fødet biogasanlæg.

Omsætningen mellem et batchforsøg og en kontinuert proces i et biogasanlæg, er noget usikker, men sammenlignet med andre batchforsøg og den praktiske drift af biogasanlæg, er der ingen indikation af, at pulpen ikke er velegnet til biogasproduktion.

Dette må dog ske under hensyntagen til reaktorens kvælstofbelastning og med en passende tilvænningsperiode. Det er herunder vigtigt, at tilførslen af materiale forløber således, at der er en ensartet belastning af biogasreaktoren, idet udsving i belastningsgraden kan medføre ustabilitet i

processen og dermed risiko for reduktion eller fuldstændig nedbrud af biogasproduktionen med deraf følgende driftstab.

Kvælstofhæmning:

Hvis der regnes konservativt under forudsætning af, at alt kvælstof bundet i pulpen frigives og ender som 75% ammonium og 25% ammoniak samt grænsen for hæmning ligger omkring 4 g NH₄-N/l, kan der regnes på tilledning af kvælstof fra pulpen.

Beregningseksempel: Et anlæg har en NH₄-N koncentration på ca. 3 kg/tons, hvilket burde kunne øges til ca. 4 kg/tons.

Kvælstofindhold i pulpen er 37,92 kg/tons

Hvilket giver : $100\% \cdot (4 \text{ kg/tons} - 3 \text{ kg/tons}) / (0,75 \cdot 37,92 \text{ kg/tons}) = 3,5\%$ af biomassen

Hvorvidt processen kan tilvænnes til større kvælstofbelastning må enten afklares ved praktisk drift eller ved længerevarende laboratorieforsøg, der ligger uden for nærværende projekts rammer.

Begrænsende faktor

Ud fra ovennævnte må kvælstofmængden betragtes som den begrænsning, der afgør hvor stor en mængde, et givent biogasanlæg kan anvende.

Heraf følger, at såfremt en del af kvælstoffet fjernes, eksempelvis ved stripping, vil det være muligt at tilføre betydeligt større mængder af dette animalske biprodukt til biogasanlæg end tilfældet er, når der ikke sker en kvælstofreduktion.

Analysens konklusion

På baggrund af den gennemførte analyse kan følgende konkluderes:

Svinepulp, i den form der har indgået i nærværende forsøg, kan umiddelbart anvendes i biogasanlæg, dog i begrænsede mængder, grundet kvælstof- hæmning.

I beregningen med kvælstofhæmning er der ikke taget hensyn til nedbrydningsgraden eller andet, hvilket er bevist, da det må tilrådes at starte med en lav belastning for at tilvæne processen til materialet. Grænsen for hvor hårdt processen kan presses, er noget usikker, hvorfor processen bør følges nøje, ved tilsætning af pulp.

Foruden de proces tekniske forhold i forbindelse med biogasbehandlingen, vil der desuden være konsekvenser ved landbrugets udbringningskrav mht. til kvælstof og fosfor, der må inddrages ved kvantificering af det tilgængelige af disponeringspotentiale for animalsk affald gennem tilførsel til biogasanlæg.

Hvorvidt svinepulp skal anvendes, bør for de enkelte anlæg vurderes i forhold til, hvilke typer affald der ellers er tilgængelige, herunder de økonomiske konsekvenser som følge af fortrængning af de aktuelt anvendte typer organisk affald.

Det kan afslutningsvis bemærkes, at de opskrevne resultater og konklusioner kun er gældende for det specifikke materiale, der er anvendt ved forsøget. Ønskes eksempelvis anvendt en pulp med lavere fedtindhold henholdsvis højere proteinindhold, vil situationen være ganske anderledes, da der i så tilfælde vil være tale om en betydelig hårdere belastning af reaktoren.

Resultat skema Analyser udført af Aalborg universitet Esbjerg Bioafd.

Prøve nr. og dato	Kalium g/L	Total P g/L	NH ₄ -N g/L	Total - N g/L	COD	Tørstof g/L	Aske g/L
Daka Svinepulp Daka analyse		29		37,9		652	158
Podematriale 14-03-2003	2,19	1,0	2,55	5,3	60,9	68,3	36,0
Forsøg1: Podematriale 24-03-2003	2,36	1,0	2,70	6,1	59,4	77,0	38,3
Forsøg 1 Kontrol afslutning	2,35	0,90	3,05	6,4	45,6	71,3	31,6
Forsøg 1 20g substrat Afslutning	2,39	1,3	3,98	6,6	49,3	72,7	32,5
Forsøg 1 30g. substrat afslutning	2,38	1,3	4,30	6,7	57,2	72,6*	32,7*
Forsøg2: Podematriale 17-05-2003	2,05	0,94	2,65	6,10	43,7	58,4	29,9
Forsøg 2 Kontrol afslutning	2,39	0,84	2,76	6,0	49,2	45,7	22,3
Forsøg 2 20g pulp+10g olie Afslutning	2,04	1,2	3,47	8,1	82,3	61,2	38,3
Forsøg 2 30g pulp+10g olie afslutning	2,08	1,0	3,89	7,2	75,5	66,5	45,5
Forsøg3: Podematriale 06-06-2003	2,08	0,90	2,98	7,3	52,5	60,7	31,1
Forsøg 3 Kontrol afslutning	2,20	0,70	3,22	7,8	34,5	58,5	27,5
Forsøg 3 5g pulp Afslutning	2,22	0,66	3,49	8,8	30,5	49,6	23,1
Forsøg 3 10g pulp afslutning	2,03	1,02	3,45	8,7	44,5	52,2	24,4

Resultat skema Analyser udført af Eurofins

	Kvælstof total % TS	Kulstof total % i TS	C/N % forhold
Daka Svine pulp	6,08	50	8
Podematriale	6,13	30	5

Syretal Analyse udført af EGJ Biogas

	Acetat og propionat	bytylsyre og valerinsyre
Forsøg 2 Kontrol afslutning	409	170
Forsøg 2 20g pulp+10g olie Afslutning	1105	68
Forsøg 2 30g pulp+10g olie afslutning	1740	128
Forsøg3: Podematriale 06-06-2003	417	
Forsøg 3 Kontrol afslutning	213	63
Forsøg 3 5g pulp Afslutning	149	
Forsøg 2 10g pulp afslutning	149	