

B. ESPENSEN

**PRAKTISKE FORSØG MED
SMITSTOFREDUCERENDE BEHANDLING AF
HUSHOLDNINGSAFFALD**

DEL-RAPPORT TIL

SMITSTOFREDUKTION I BIOMASSE

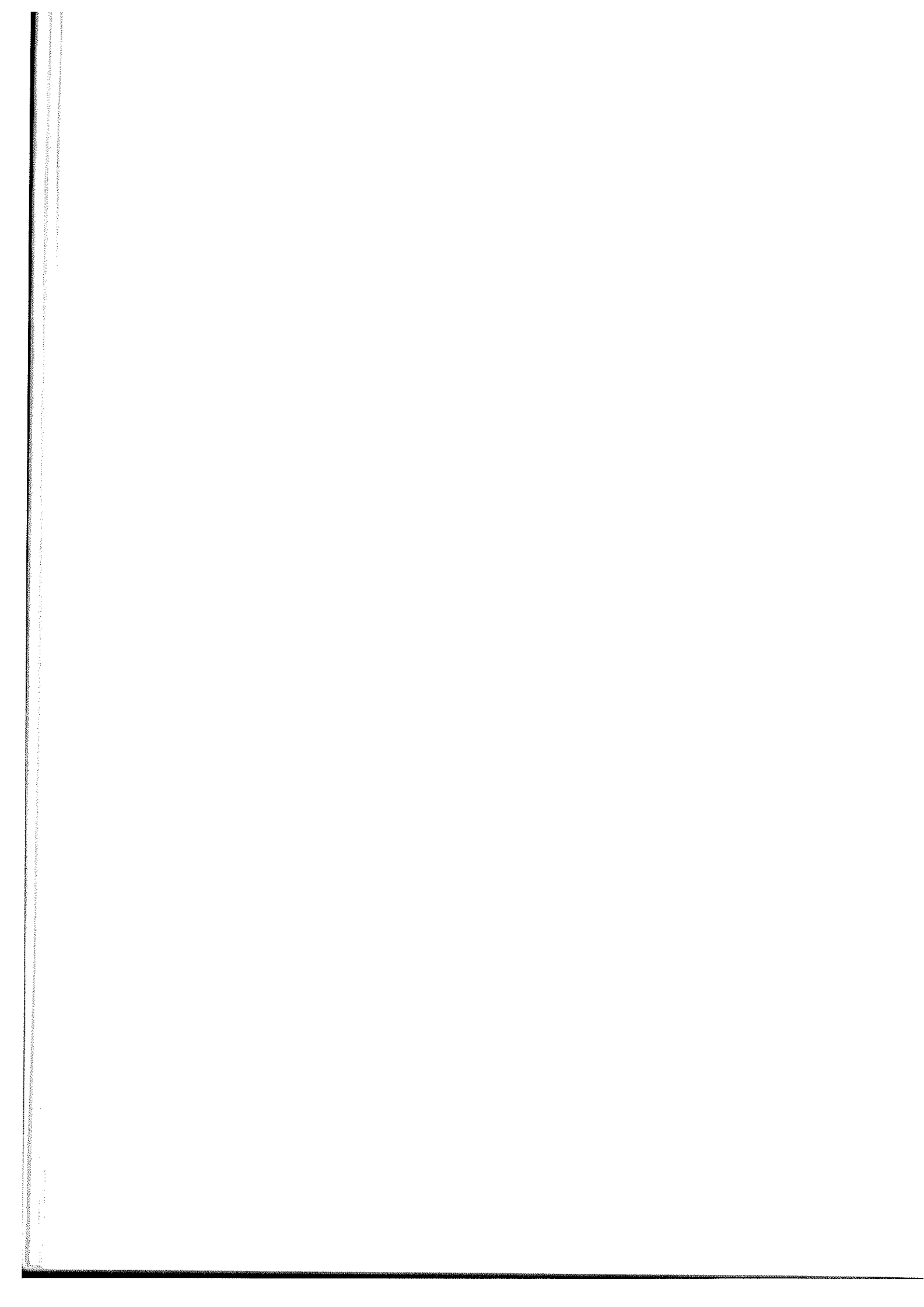
RAPPORT VEDRØRENDE

DET VETERINÆRE FORSØGSPROGRAM

I

BIOGASFÆLLESANLÆG

BIND II: DEL-RAPPORTER OG BILAG 1995



PRAKTISKE FORSØG MED SMITSTOFREDUCERENDE BEHANDLING AF HUSHOLDNINGSAFFALD

Af B. Espensen, afdelingsdyrlæge *)

Indledning

Folketinget har vedtaget en handlingsplan med henblik på at realisere Brundtland-rapportens idealer, hvor det gælder om at udnytte ressourcerne bedre, samtidig med at miljøet beskyttes og forbedres (1,2,3). Som et led i disse planer skal kildesorteret dagrenovation fordeles på landbrugsjord på samme måde, som det allerede sker med slam og affald fra industrier og slam fra kommunale spildevandsrensningsanlæg. Der er opstillet det mål, at 40 - 50 % af dagrenovationen skal genanvendes.

Kildesortering af dagrenovation (husholdningsaffald) udføres allerede nu i mange kommuner med det formål at adskille biologisk omsætteligt materiale - der overvejende består af madaffald - fra restaffaldet, der sendes til forbrænding. Det biologisk omsættelige materiale behandles i særlige anlæg, så affaldet egner sig til gødskning. Dette kan ske ved aerobe processer (kompostering) eller anaerobe processer (udråkning i biogastanke).

Det er i landbrugets interesse, at recykling af biomasse ikke fører til øget spredning af smitstoffer. Affald kan indeholde varierende mængder og typer af smitstoffer, og dagrenovation må - i lighed med mange typer slam - anses for at være potentielt stærkt smitstofbelastet. Derfor bør behandlingen i de mange nye anlæg, der bygges i disse år, tilrettelægges, så der opnås en effektiv reduktion af smitstoffer. Affaldet bør kunne spredes i husdyrenes miljø, uden at der opstår sygdomsproblemer.

Der skal her gøres rede for, hvordan smitstofindholdet i kildesorteret dagrenovation kan reduceres ved behandlingen i et særligt hygiejniseringsanlæg, der er tilknyttet biogasfællesanlægget (BFA) i Sinding-Ørre. Efter forbehandling og hygiejnisering omsættes dagrenovationen sammen med husdyrgødning/gylle i BFAs reaktortanke.

De veterinære undersøgelser er udført i to perioder: Målinger under den forsøgsmæssige udvikling af processen i et pilot-anlæg fra november 1991 til november 1992. Resultaterne er forelagt i en arbejdsrapport publiceret af Miljøstyrelsen (4). Målinger på fuld-skala-anlægget under indkøring i sommeren 1994 og under regelmæssige driftsforhold i vinteren 1994-95.

Undersøgelserne foregik som en del af det veterinære forsøgsprogram i biogasfællesanlæg, som udgør en del af det tekniske og økonomiske opfølgingsprogram for biogasanlæg (5).

*) MLK - Vestjylland I/S - Wedellsborgvej 8, 7400 Herning

Pilot-anlæggets konstruktion og funktioner

Pilot-anlægget fungerede fra november 1991 til november 1992. Det bestod af følgende hovedelementer: En grov-neddeler (knuser) og en fin-neddeler (snitter) til affaldet, en blandetank, to hygiejniseringsstanke, en udrådningstank, en separator og en lagertank, se FIGUR 1.

Affaldets sammensætning: Den kildesorterede dagrenovation var indsamlet i to områder: en parcelhusbebyggelse og et område med mange etageejendomme. På denne måde opnåedes en sammensætning, der var repræsentativ for flere slags husholdningsaffald. Restaffaldet udgjorde 50 - 55 % af affaldet. Af den komposterbare del bestod ca. halvdelen af haveaffald, resten stammede fra husholdningerne og var hovedsagelig madrester. Ifølge sorteringskriterierne kunne dyreekskremer, men ikke hygiejnebind og brugte bleer, indgå i den komposterbare fraktion. I alt blev behandlet ca. 500 tons organisk dagrenovation.

Grov-neddeling og fin-neddeling: Det kildesorterede affald modtoges i lukkede containere. En forbehandling i en grov-neddeler måtte opgives p.g.a. mekaniske problemer. Affaldet måtte derfor utildækket overføres med læssegrabbe til en blandetank, hvor det blev gjort pumpbart ved opblanding med rå svinegylle. I blandetanken skete en bundfældning af tunge genstande (jern, sten, grus), ligesom der gennemførtes en fin-neddeling (snitning) med en særlig maskine (Muncher). Bestanddelens gennemsnitlige størrelse var 5,5 x 10 mm.

Hygiejnisering: Det fin-neddelte materiale pumpedes til en hygiejniseringsstank, hvor det ved hjælp af damp blev opvarmet til 70°C. Opholdstiden ved 70°C var 1 time.

Udrådning: Efter varmebehandlingen blev biomassen overført til en termofil reaktortank, der arbejdede ved 52°C - 53°C. Den hydrauliske opholdstid (HRT) var 20 døgn. Den mindste garanterede tilbageholdelsestid (MGRT) var 3 timer.

Lagring: Efter udrådning/afgasning blev biomassen deponeret i en lagertank, der rummer ca. 2.700 m³.

Fuld-skala-anlæggets konstruktion og funktioner

Fuld-skala-anlægget blev bygget på Sinding-Ørre BFAs område og startet op i 1994. Dets konstruktion fremgår af FIGUR 2. Dagrenovationsaffaldet forbehandles og hygiejniseres, før det overføres til BFAs reaktortanke, hvor det afgasses sammen med rågylle og andet affald i det ordinære anlæg.

Modtagelse og grov-neddeling på losseplads: Den kildesorterede dagrenovation modtages på den kommunale losseplads (Østdeponi), hvor plastposer frasorteres og grov-neddelingen gennemføres.

Overførsel til BFA, opblanding og fin-neddeling: Derefter overføres affaldet i lukket container til blandetanken på det særlige anlæg for dagrenovation ved BFA. Her blandes 30 dele dagrenovation med 70 dele rågylle.

Hygiejnisering, afgangning og lagring: Biomassen overføres til hygiejniseringsstanken, hvor det opvarmes til 60°C i mindst 2 timer. Derefter overføres biomassen til en reaktortank, der arbejder ved 52°C - 53°C. HRT er 20 døgn. MGRT er 3 timer. Efter udrådning/afgangning bliver biomassen deponeret i en lagertank. Efter planen skulle biomassen fra anlægget for dagrenovation overføres til én bestemt reaktortank og derefter til én bestemt lagertank. Dette har ikke kunnet overholdes helt.

Bakteriologiske undersøgelser ved forsøgene i pilot-anlægget

Formålet med laboratoriets undersøgelser var at vurdere, om det var muligt at eliminere - eller reducere mængden af - visse almindeligt forekommende patogener ved en forbehandling bestående af en neddeling og påfølgende opvarmning af dagrenovation. Anlægget skal kunne præstere en smitstofreducerende effekt, der svarer til kravet om 'kontrolleret hygiejnisering', jævnfør Miljøministeriets bekendtgørelse om anvendelse af slam, spildevand og kompost m.v. til jordbrugsformål (6). Den afgassede biomasse skal dermed kunne spredes på landbrugsjord uden restriktioner.

FS-metoden: Som bedømmelsesgrundlag er anvendt fækale streptokokker (FS), idet der er anvendt en metode, der er foreslået af Larsen og Munch (7) og Bendixen (8). Denne metode er senere - under betegnelsen FS-metoden - blevet anvendt af laboratorieguppen under det veterinære forsøgsprogram for biogassfællensanlæg(9,10,12). Et forslag til en 'Dansk Standard-metode' (11) er under afprøvning.

På det tidspunkt, da pilot-forsøget gennemførtes, var FS-metoden endnu ikke fuldt udformet. Espensen (4) har publiceret sine iagttagelser vedrørende kvantitative målinger af FS i dagrenovation, affald og gylle i Sinding-Ørre BFA.

Fækale streptokokker (Enterococcer) FS omfatter arterne *S. faecalis*, *S. faecium*, *S. avium* og *S. galinarum* (13). FS er mere varmeresistente end forskellige almindeligt forekommende patogener, i.e. *Salmonella*, *Yersinia*, *Listeria* og *Campylobacter*. FS synes også at være mere resistente end mange virusarter, se Bøtner (14). Man må derfor kunne regne med, at en termisk behandling af biomassen, der fører til en kraftig FS reduktion, vil være tilstrækkelig til at fjerne en lang række af de almindeligt forekommende patogener.

Tidligere undersøgelser i Sinding-Ørre BFA (8) har bekræftet, at dette er tilfældet under de praktiske vilkår, der findes i en termofil biogasreaktor. Der kunne opnås en \log_{10} -reduktion på 3 til 4, altså eksempelvis fra 100.000 til mindre end 10 FS per gram biomasse, når FS værdierne i den ubehandlede biomasse sammenlignedes med de tilsvarende værdier i den afgassede biomasse.

Undersøgelse for indholdet af Salmonella: Til nærmere belysning af relationen mellem FS-reduktionen og elimineringen af patogene bakterier er der foretaget undersøgelse for *Salmonella* i alle forsøgene.

Metodik

Prøveudtagning ved pilot-projektet: Prøver af biomassen blev udtaget fra forskellige afsnit af anlægget for at følge den mikrobiologiske status under hele procesforløbet:

- efter grov-neddeling,
- efter fin-neddeling (snitning) og tilblanding af gylle,
- efter varmebehandling (hygiejnisering),
- efter udrådning i reaktortanken, og
- fra lagertanken.

Der blev i alt udtaget 14 prøveserier med i alt 67 prøver fordelt over hele driftsperioden i 1992. Resultatet af undersøgelserne i forbindelse med pilot-projektet er samlet i TABEL 1.

Prøveudtagning ved fuld-skala-projektet: Fuld-skala-anlægget blev startet op i løbet af sommeren og efteråret 1994. I de første måneder kunne prøver ikke udtages systematisk, idet indkøringen af processerne tog nogen tid. Fra oktober 1994 til marts 1995 er der udtaget prøver 11 gange. Prøver er udtaget

- fra blandingstanken efter fin-neddeling(snitning),
- fra hygiejniseringstanken efter varmebehandling,
- fra reaktortanken, og
- fra lagertanken.

Undersøgelsesresultaterne fra fuld-skala-anlægget er samlet i TABEL 2.

Laboratoriemetoder:

FS-metoden:

I 1992, da pilot-undersøgelserne foregik, var der endnu ikke udarbejdet en fælles forskrift for FS-metoden. MLK-Hernings metodik blev udviklet efter NMKL (15), idet teknikken blev tilpasset de særlige vilkår, der gjaldt for undersøgelse af gødning og affald.

En kritisk vurdering af kolonimaterialet viste sig at være afgørende for en korrekt bestemmelse af FS-indholdet. Således viste det sig, at et betydeligt antal kolonier med en morfologi, der lignede FS, bestod af stavformige bakterier. Disse kolonier blev frasorteret.

I denne undersøgelse er kun medtaget kolonier af FS, der opfylder biokemiske kriterier: Arginin positiv, vækst ved 45°C og 10°C, vækst i 6,5% salt bouillon (Sherman kriterier).

Salmonellaundersøgelsen:

Undersøgelsen er foretaget kvalitativt efter DS 266 (16). Isolater er verificeret ved Institut for Veterinær Mikrobiologi, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, og ved Statens veterinære Serumlaboratorium.

Måling af den smitstofreducerende effekt

Det anføres (7,8), at en smitstofreduktion er tilfredsstillende, når der opnås en FS reduktion på 3 til 4 \log_{10} -enheder ved behandlingen af rå biomasse, f.eks. fra 100.000 FS per gram rå biomasse til under 10 FS per gram varmebehandlet biomasse. Med den målenøjagtighed, der kan opnås, skal der maksimalt være mindre end 200 FS i den færdigbehandlede biomasse.

I både pilotforsøget og i kontrollen med fuld-skala-anlægget er den smitstofreducerende effekt i hygiejniseringsstanken blevet målt ved at sammenligne FS-værdien i prøver af den rå biomasse i blandingstanken med prøver af den varmebehandlede biomasse, der opsamledes, når hygiejniseringsstanken tømtes.

Salmonella skal under alle omstændigheder være fjernet ved hygiejniseringsen og heller ikke kunne påvises i lagertankens afgassede biomasse.

Den smitstofreducerende effekt er samtidig målt på BFAs reaktortanke ved måling af FS-værdierne i prøver af biomasse før og efter afgangningen.

Hygiejnisering af større objekter

Dagrenovation indeholder objekter af vidt forskellig størrelse. Køkkenaffald kan eksempelvis bestå af knogler, organer og kød fra slagtede dyr. I forbindelse med hygiejnisering af dagrenovation må der skabes et overblik over, hvor stor indflydelse objekternes størrelse, struktur og art kan få på smitstofreduktionen, specielt når det drejer sig om animalsk affald, som kan indeholde smitstoffer.

Der gennemførtes derfor et *laboratorieforsøg*, hvor smitstofreduktionen målt under de værste tænkelige omstændigheder. Hertil valgtes knogler af dyr: Femur af okse, svin og får. Varmegennemtrængningsevnen blev målt på mikrobiologisk basis ved i knoglemarven at indlægge en ampul indeholdende ca. 1 ml af en suspension med en kendt koncentration af *Enterococcus faecium* type I (bestemt efter API 20 strep).

Knoglerne varmebehandles i 1 time ved 70°C.

Derefter blev FS indholdet i ampullen målt med NMKL metoden (15).

Resultatet af disse knogleforsøg findes i TABEL 3 med femur af okse, i TABEL 4 med femur af svin og i TABEL 5 med femur af får.

For at afklare, om forholdene under laboratorieforsøg afveg væsentligt fra betingelserne i hygiejniseringsstanken, blev der gennemført *forsøg i hygiejniseringsstanken* med femur af svin, der førtes ind i tanken gennem en perforeret sonde, så biomassen kom i direkte kontakt med knoglens overflade.

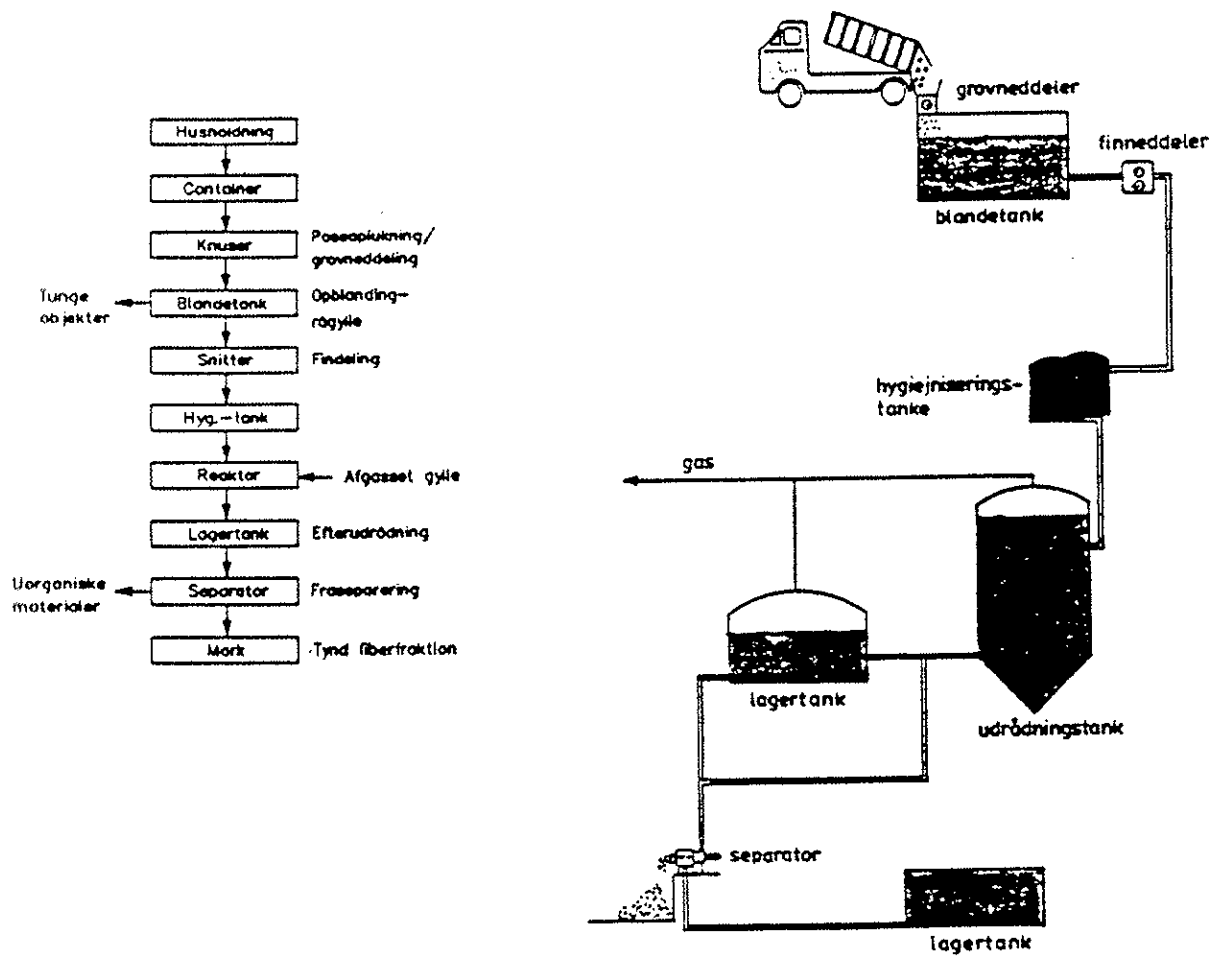
Der udførtes 4 forsøgsserier: 2 ved 70°C i 1 time og 2 ved 60°C i 1 time. Resultaterne ses i TABEL 6.

TABEL 1. PILOT-ANLÆG - HYGIEJNISERING 70°C/1 TIME - FS-MÅLING OG SALMONELLA

J.nr.	Undersøgelse	Råmasse	Råmasse + gylle	Efter hyg.	Efter udrådn.	Lager- tank	Log ₁₀ - red.
		1	2	3	4	5	2 - 3
14.02.92	Fækal strept Salmonella pH	- - -	1,5 mill. påvist 8,3	i.p. i.p. 7,7	i.p. i.p. 8,1	900 påvist 8,0	6,1
21.02.92	Fækal strept Salmonella pH	2,5 mill. påvist 4,3	1,6 mill. i.p. 7,2	i.p. i.p. 8,4	300 i.p. 8,6	2.500 påvist 8,2	6,2
28.02.92	Fækal strept Salmonella pH	50 mill. påvist 5,2	1,7 mill. påvist 8,5	400.000 i.p. 8,3	i.p. i.p. 8,3	i.p. i.p. 8,1	6,1
10.03.92	Fækal strept Salmonella pH	8 mill. påvist 5,5	2,7 mill. påvist 8,3	50.000 i.p. 8,3	i.p. i.p. 8,3	900 i.p. 8,2	6,4
16.03.92	Fækal strept Salmonella pH	20 mill. påvist 8,0	1,5 mill. påvist 7,8	i.p. i.p. 8,5	i.p. i.p. 8,3	1.000 i.p. 8,2	6,1
20.03.92	Fækal strept Salmonella pH	4 mill. påvist 5,1	30 mill. påvist 7,1	i.p. i.p. 7,5	i.p. i.p. 8,1	510 i.p. 8,1	7,4
01.04.92	Fækal strept Salmonella pH	830.000 påvist 5,5	- påvist 7,1	i.p. i.p. 8,1	i.p. i.p. 8,1	420 i.p. 8,1	(5,9) 1 - 3
03.04.92	Fækal strept Salmonella pH	400.000 påvist 5,2	2,2 mill. i.p. 7,5	i.p. i.p. 7,9	150 i.p. 8,3	550 i.p. 8,0	6,3
27.04.92	Fækal strept Salmonella pH	2,4 mill. påvist 6,0	7 mill. påvist 7,5	i.p. i.p. 7,5	20 i.p. 8,3	280 i.p. 8,1	6,8
25.05.92	Fækal strept Salmonella pH	31 mill. påvist 6,2	1,3 mill. i.p. 7,6	i.p. i.p. 6,1	i.p. i.p. 8,1	550 i.p. 7,6	6,1
29.06.92	Fækal strept Salmonella pH	350.000 påvist 4,8	1,0 mill. påvist 7,4	i.p. i.p. 7,6	10 i.p. 8,2	500 i.p. 7,6	6,0
03.08.92	Fækal strept Salmonella pH	1 mill. påvist -	8,5 mill. påvist -	i.p. i.p. -	i.p. i.p. -	i.p. i.p. -	6,9
02.10.92	Fækal strept Salmonella pH	11 mill. påvist 5,0	100.000 påvist 7,5	i.p. i.p. 7,9	- - -	300 i.p. 7,8	5,0

FIGUR 1. PILOT-ANLÆG TIL BEHANDLING AF KILDESORTERET DAGRENOVATION

Materialeflow og principdiagram



TABEL 2. FULD-SKALA ANLÆG - HYGIEINISERING 60°C/2 TIMER - FS-MÅLING OG SALMONELLA

Dato	Undersøgelse	Råmasse + gylle	Efter hyg.	Efter reaktor	Lagertanke	Log ₁₀ -red.
		1	2	3	4	1 - 2
30.05.1994	Fækal strep	R: 48,5 m.	<10	<10	<10	7,6
	Salmonella	G: 30.000 i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	
01.09.1994	Fækal strep	610.000	<10	200	<10	5,7
	Salmonella	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	
03.10.1994	Fækal strep	i.p.	i.p.	-	20	-
	Salmonella	i.p.	i.p.	-	i.p.	
07.10.1994	Fækal strep	i.p.	i.p.	-	50	-
	Salmonella	i.p.	i.p.	-	i.p.	
31.10.1994	Fækal strep	15.000	<10	50	400	4,1
	Salmonella	i.p.	i.p.	i.p.	påvist	
07.11.1994	Fækal strep	700.000	<10	10	260	5,8
	Salmonella	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	
21.11.1994	Fækal strep	420.000	<10	<10	10	5,6
	Salmonella	påvist	i.p.	i.p.	i.p.	
13.12.1994	Fækal strep	450.000	20	<10	60	5,7
	Salmonella	påvist	i.p.	i.p.	i.p.	
07.03.1995	Fækal strep	25.000	<10	<10	60 IV	4,4
	Salmonella	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	
13.03.1995	Fækal strep	10.000	<10	<10	130 III	4,0
	Salmonella	påvist	i.p.	i.p.	i.p.	
15.03.1995	Fækal strep	720.000	<10	<10	13.300 IV	5,9
	Salmonella	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	
20.03.1995	Fækal strep	1.000	<10	<10	70 IV	3,0
	Salmonella	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	
22.03.1995	Fækal strep	130.000	<10	<10	70 IV	5,1
	Salmonella	påvist	i.p.	i.p.	i.p.	

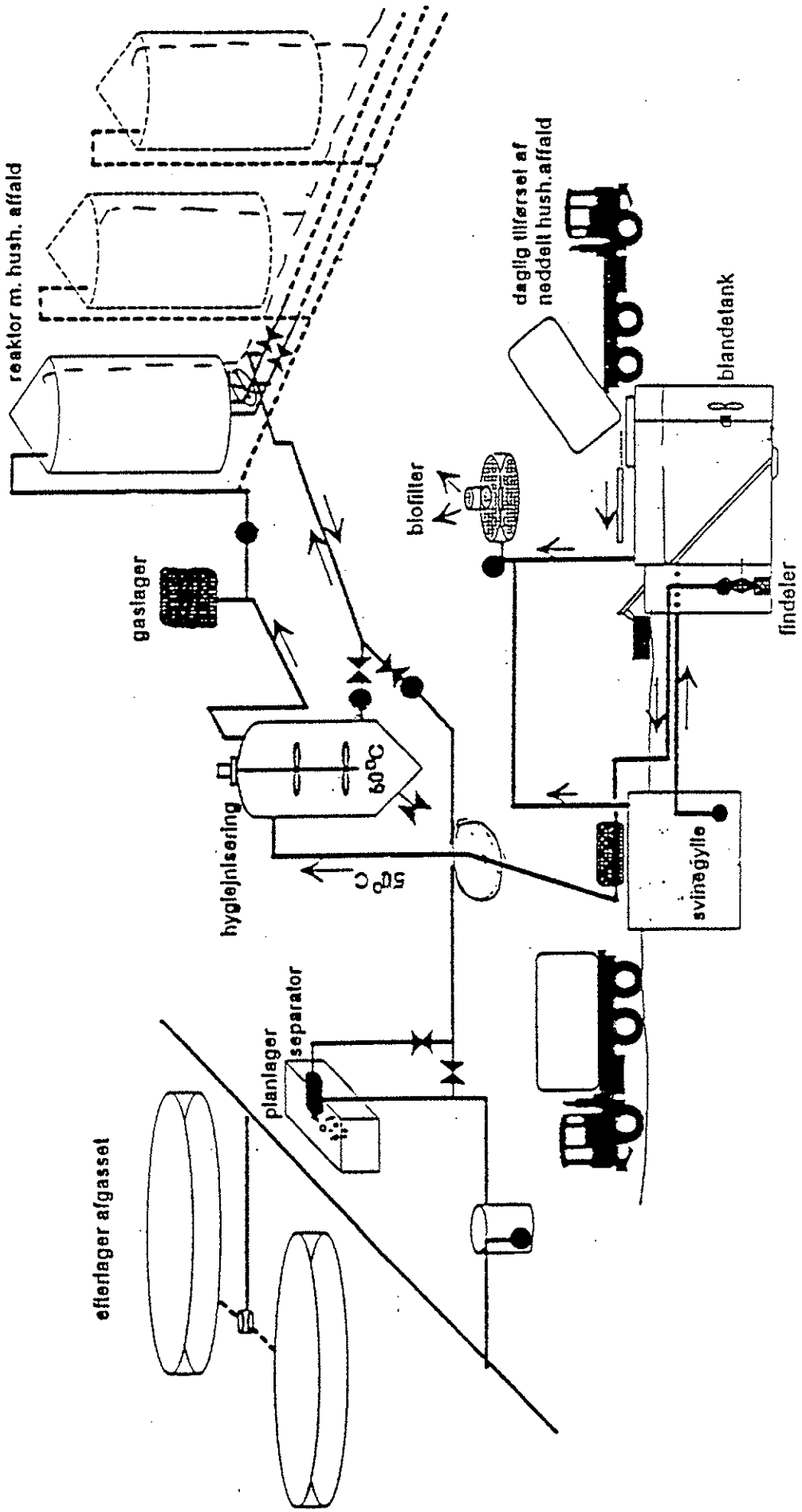
Fækal strep: FS per gram biomasse
 i.p.: Salmonella ikke påvist
 R: Dagrenovation G: Rågylle

I kolonne 1 og 2: Målinger på dagrenovationsblanding før og efter hygiejniserings.

I kolonne 3: Målinger på biomasse efter behandling i BFAs termofile reaktortank

I kolonne 4: Målinger på biomasse i BFAs lagertanke

FIGUR 2 FULD-SKALA-ANLÆG TIL BEHANDLING AF KILDESORTERET DAGRENOVATION



TABEL 3. SMITSTOFREDUKTION I LÅRKNOGLE AF OKSE - 70°C i 1 TIME
LABORATORIEFORSØG

Forsøg nr.	Før varmebehandling FS per ml	Efter varmebehandling FS per ml
I	175 mill.	>10 mill.
II	170 mill.	100.000
III	235 mill.	i.p.
IV	150 mill.	i.p.

i.p. : ikke påvist

Knoglens størrelse: 690 g, 3 x 15 cm. Samme knogle anvendt til de 4 forsøg.

TABEL 4. SMITSTOFREDUKTION I LÅRKNOGLE AF SVIN - 70°C i 1 TIME
LABORATORIEFORSØG

Forsøg nr.	Før varmebehandling FS per ml	Efter varmebehandling FS per ml
I	175 mill.	i.p.
II	170 mill.	i.p.
III	235 mill.	i.p.
IV	150 mill.	i.p.

i.p. : ikke påvist

Knoglens størrelse: ca. 315 g, 2,5 x 10 cm. Forskellige knogler anvendt til de 4 forsøg.

TABEL 5. SMITSTOFREDUKTION I LÅRKNOGLE AF FÅR - 70°C i 1 TIME
LABORATORIEFORSØG

Forsøg nr.	Før varmebehandling FS per ml	Efter varmebehandling FS per ml
I	235 mill.	i.p.
II	150 mill.	i.p.

i.p. : ikke påvist

Knoglens størrelse: ca. 250 g, 2 x 8 cm. Forskellige knogler anvendt til de 2 forsøg.

TABEL 6. SMITSTOFREDUKTION I LÅRKNOGLE AF SVIN
FORSØG I HYGIEJNISERINGSTANK - 60°C OG 70°C i 1 TIME

Forsøg nr.	Før varmebehandling FS per ml	Efter varmebehandling FS per ml
I: 70°C i 1 time	300 mill.	i.p. i.p.
II: 70°C i 1 time	150 mill.	i.p. i.p.
III: 60°C i 1 time	100 mill.	610 120
IV: 60°C i 1 time	300 mill.	19.000 12.000

i.p. : ikke påvist

Knoglemasse: ca. 50 - 60 g, 3 x 6 cm.

Forsøg med alternative temperatur/tid kombinationer til 70°C i 1 time

I overensstemmelse med slambekendtgørelsens kriterier (4) er 'kontrolleret hygiejnisering' 70°C i 1 time eller tilsvarende varmebehandling. Der blev gennemført 14 målinger i pilot-anlæggets hygiejniseringstank i forbindelse med forsøg med varmebehandling af biomasse bestående af findelt dagrenovation og gylle. Temperatur/tid kombinationerne var følgende: 51°C i 4 timer, 55°C i 2 timer, 56°C i 2 timer, 57°C i 2 timer og 58°C i 2 timer. En oversigt over resultaterne findes i TABEL 7.

Forsøgsteknik: Der fremstilledes en steril biomasse bestående af snittet dagrenovation og gylle i blandingsforholdet 1 : 4. Der tilsattes en kendt mængde *S. faecium* type I. Blandingen overførtes til et 50 ml cylinderglas, der lukkedes hermetisk og anbragtes i en perforeret sonde.

Sonden med cylinderglas anbragtes i hygiejniseringstanken, hvor tankens indhold havde direkte kontakt med cylinderglassets overflade. Hygiejniseringstankens varmebehandlingsproces er computerstyret. Den blev programmeret til de fastlagte temperatur/tid kombinationer.

Målsætningen var, at FS skulle reduceres til under 10 per gram, og med mindst 3 til 4 log₁₀ enheder. Efter et indledende forsøg ved 51°C i 4 timer, der ikke kunne opfylde disse krav, fortsattes med stigende temperaturer, alle af 2 timers varighed.

TABEL 7. SMITSTOFREDUKTION VED ALTERNATIVE TEMP./TID KOMBINATIONER UDFØRT I HYGIEJNISERINGSTANK MED BLANDING AF SNITTET DAGRENOVATION OG GYLLE (1 : 4)

Temperatur	Tid	Før varmebehandling FS per gram	Efter varmebehandling FS per gram
51°C	4 timer	6,4 mill.	280.000
	4 timer	5,6 mill.	1,4 mill.
55°C	2 timer	4,0 mill.	900.000
	2 timer	8,0 mill.	10.000
	2 timer	1,4 mill.	300.000
	2 timer	1,2 mill.	i.p.
	2 timer	1,2 mill.	i.p.
56°C	2 timer	2,2 mill.	i.p.
	2 timer	2,2 mill.	i.p.
57°C	2 timer	2,2 mill.	i.p.
	2 timer	2,2 mill.	5.500
58°C	2 timer	2,2 mill.	i.p.
	2 timer	5,8 mill.	i.p.
	2 timer	6,0 mill.	i.p.

i.p.: ikke påvist

Diskussion

Smitstofreduktion i pilot-anlægget

I den første forsøgsrække, hvor biomassen blev varmebehandlet ved 70°C i 1 time i hygiejniseringsstanken, opnåedes en tilfredsstillende smitstofreduktion, se TABEL 1. Dette bekræftedes med den tidlige version af FS-metoden, og senere hen med den standardiserede FS-metode. Log₁₀-reduktionen varierede fra 5,0 til 7,4. Dagrenovation indeholder meget vekslende mængder af FS. Men selv i perioder, hvor FS-værdierne var særdeles høje, kunne FS fjernes praktisk taget helt. Når bortses fra to perioder i begyndelsen af pilot-forsøget, var der ingen tegn på driftsforstyrrelser, der førte til, at ubehandlet eller ufuldstændigt behandlet biomasse blev overført til BFAs reaktortanke.

Undersøgelser (kolonne 1) viste, at dagrenovation fra de to regioner til stadighed indeholdt salmonellabakterier. Følgende typer blev identificeret: *S. typhimurium*, *S. newport*, *S. mbandaka*, *S. agona*, *S. alachua*, *S. ohio*, *S. idikan*, *S. santiago*, *S. braenderup*, *S. senftenberg* og

S. cerro. Salmonellabakterierne blev elimineret ved hygiejniseringsen (kolonne 3). De blev heller ikke påvist i prøver fra BFAs reaktortank. At de fandtes i lagertanken ved de to første undersøgelser, kan skyldes, at ubehandlet biomasse er tilført udefra ved en fejltagelse.

Der er ikke fundet FS-værdier på under 200 per gram i lagertanken. Årsagen hertil kendes ikke. Prøver fra reaktortanken har vist meget lavere værdier. Det er ikke sandsynligt, at der er sket en opformering af FS i lagertanken. Ved laboratorieforsøg, hvor materialet blev opbevaret ved stuetemperatur i 1 måned og undersøgt for FS hver uge, var der ikke muligt at påvise nogen eftervækst.

Smitstofreduktion ved alternative temperatur/tid kombinationer

FS målinger blev gennemført under forsøg med behandling af dagrenovation i pilot-anlæggets hygiejniseringsstank ved forskellige temperatur/holdetid kombinationer. Resultaterne i TABEL 7. Det ser ud til, varmebehandling ved mindst 57°C - 58°C i mindst 2 timer er påkrævet for at opnå en tilfredsstillende smitstofreducerende effekt. Denne blev defineret som en \log_{10} -reduktion af FS-begyndelseskimtalet og samtidig en nedbringning af FS-indholdet til under 100 per gram biomasse. Dette synes opnåeligt, også når begyndelseskimtalet er høje.

Ud fra disse relativt begrænsede undersøgelser kan der ikke kan drages almenlydige konklusioner med hensyn til alternative temperatur/holdetid kombinationer, der er ækvivalente med 70°C/1 time. Men FS-målingerne peger på, at 'batch-vis' opvarmning til 60°C i 2 timer giver et godt resultat. Dette gælder også eliminering af salmonellabakterier. Behandlingskriterierne bør fastlægges under hensyntagen til drabseffekten på andre relevante bakterie- og virustyper.

Forsøg med smitstofreduktion i større organiske objekter

Når dagrenovation skal hygiejniseres, må det afklares, hvor meget det betyder for smitstofreduktionen, at dette materiale kan indeholde bestanddele af vidt forskellig størrelse. I forsøgene er anvendt de værste tænkelige omstændigheder, nemlig store dyrekogler, særligt høje FS-koncentrationer, placering i koglens indre.

I TABEL 3 viser, at en FS-reduktion på 3 - 4 \log_{10} -enheder ikke kan opnås ved opvarmning til 70°C i 1 time, når femur af en okse er frisk (forsøg I). Det kan opnås ved opvarmning af en frisk femur af svin og får, hvor vævsmassen er betydeligt mindre, se TABEL 4 og 5.

I en allerede varmebehandlet femur af okse, se Tabel 3 (forsøg II) foregår varmetransmissionen lettere, og gentages varmebehandlingen (forsøg III og IV) kan den ønskede FS \log_{10} -reduktion nås i løbet af en time. Årsagen er formentlig, at fedtet i marvmassen er smeltet væk.

Ved varmebehandling af svinefemur i hygiejniseringsstanken, se TABEL 6, kan en FS \log_{10} -reduktion på 3 - 4 opnås ved 70°C i 1 time (forsøg I og II), hvorimod varmeeffekten ved 60°C i 1 time nok reducerer FS indholdet med 4 \log_{10} -enheder, men der efterlades et betydeligt antal FS (forsøg III og IV). Forklaringen er, at det tager ret lang tid, før den foreskrevne temperatur er nået i koglens indre afsnit. Mikkelsen og Bennetzen (17) har med termofølere målt, at det tager ca. 1½ time for kernen i en oksefemur at blive opvarmet til omgivelsernes temperatur. Tilsvarende tidsforsinkelse er på 10 til 13 minutter for en svinefemur.

Observationerne understreger betydningen af, at dagrenovation fin-neddeles (snittes) før det varmebehandles. Denne for-behandling er nødvendig, hvis hygiejnisering foregår ved 60°C.

Smitstofreduktion i fuld-skala-anlægget

I fuld-skala-anlægget er der gjort brug af de erfaringer med hensyn til smitstofreduktion, der blev indhøstet ved forsøgene på pilot-anlægget. Indkøringsperioden var lang.

FS-målingerne har vist, at der kan opnås en tilfredsstillende smitstofreducerende effekt ved den 'batch-vise' varmebehandling ved 60°C i 2 timer i hygiejniseringstanken. Når man ser bort fra den første undersøgelse i maj 1994, hvor indkøringsperioden ikke var afsluttet, og en måling i marts, hvor FS-antallet i den ubehandlede biomase var ekstremt lavt, har \log_{10} -reduktionen af FS ved de ni målinger ligget mellem 4,0 og 5,9.

Der er fundet Salmonella i den konditionerede dagrenovation ved tre af ni undersøgelser, se TABEL 2. Desuden er der ved en enkelt lejlighed påvist Salmonella i BFAets lagertank.

Konklusion

Dagrenovation kan være en affaldstype, der er stærkt smitstofbelastet. Større objekters kærnetemperatur opnås med en vis forsinkelse (fra 1½ time til 10 minutter). Derfor bør affaldet fin-neddeles (snittes), før det opblandes med gylle og hygiejniseres. På denne måde sikrer man en effektiv smitstofreduktion ved varmebehandlingen i hygiejniseringstanken.

FS-målinger udført i forbindelse med forsøg med hygiejnisering af dagrenovation på et pilot-anlæg har godtgjort, at der kan opnås en effektiv smitstofreduktion ved varmebehandling ved mindst 70°C i mindst 1 time. I samme anlæg udførtes hygiejniseringsforsøg med stærkt kontamineret materiale inkorporeret i knoglemarv. På denne måde skabtes de værst tænkelige betingelser for smitstofreduktion. Det viste sig, at man kunne opnå en \log_{10} -reduktion af FS på over 5 ved behandling i en hygiejniseringstank ved 60°C i 1 time.

Dette er baggrunden for, at temperaturen i hygiejniseringsbeholderen ved stor-skala-anlægget forsøgsomt er indstillet på 60°C med en holdetid på mindst 2 timer. Når man tager i betragtning, at den hygiejniserede biomasse overføres til BFAets reaktorbeholder, hvor den gennemgår en behandling ved ca. 55°C med en MGRT på 2 timer og en HRT på ca 14 dage, må man formode, at den samlede effekt er ækvivalent med den, der opnås ved 'kontrollerede hygiejnisering'. Salmonellabakterier elimineredes let ved 60°C i 2 timer. Der savnes foreløbig undersøgelse vedrørende termoresistente bakterier og virus.

FS-metoden egner sig ikke til kontrol med hygiejnisering ved temperaturer over 60°C. Den kan derimod bruges til afsløring af svagheder i et affaldsbehandlingsanlæg, f.eks. styringsfejl eller lækager, hvor ubehandlet eller inkomplet behandlet biomasse passerer gennem anlægget.

Erfaringerne viser også, at jævnlig driftskontrol og tæt samarbejde mellem personalet på BFA og laboratoriet medvirker til at sikre, at den færdigbehandlede biomasse har en tilfredsstillende hygiejnisk standard.

Litteraturhenvisninger:

1. *Regeringens handlingsplan for miljø og udvikling.*
Opfølgning af anbefalinger i rapporten fra Verdenskommissionen om miljø og udvikling og i FN's Miljøperspektiv til år 2000.
Udgivet i december 1988 af Statsministeriet, Udenrigsministeriet og Miljøministeriet, 100 sider.
2. *Energi 2000. Handlingsplan for en bæredygtig udvikling.*
Udgivet i april 1990 af Energiministeriet, 115 sider.
3. *Handlingsplan for vedvarende energi.*
Energistyrelsens rådgivende udvalg for vedvarende energi (VE-Rådet).
Udgivet i december 1991 af Energistyrelsen, 84 sider, 3 bilag.
4. *Behandling af kildesorteret husholdningsaffald i Sinding Biogasfællesanlæg.*
Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen nr. 61, 1993, 65 sider, 5 bilag.
5. *Smitstofreduktion i biomasse. Rapport vedrørende det veterinære forsøgsprogram i biogasfællesanlæg.*
Bind I: Hoved-rapport, 95 sider, Bind II: Del-rapporter, 11 bilag. Udgivet januar 1995 af Energistyrelsen.
6. Bekendtgørelse om anvendelse af slam, spildevand og kompost m.v. til jordbrugsformål.
Miljøministeriets bekendtgørelse nr. 736 af 26. oktober 1989.
7. *Munch, Bente, og Anette Bonde Larsen: Forsknings- og overvågningsprogram vedrørende bakterier og parasitter med henblik på opstilling af driftsovervågningsprogram for biogasfællesanlæg.*
Delprojekt 2. Veterinær forskning og rådgivning i forbindelse med etablering og drift af biogasfællesanlæg.
Rapport fra Statens veterinære Serumlaboratorium og Institut for Veterinær Mikrobiologi og Hygiejne, Den kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, 1990, 188 sider.
8. *Bendixen, H.J.: Hygiejnisering af gødning og affald. Forsøgsmålinger vedrørende smitstofreduktion i biogasfællesanlæg. Delprojekt 4. Veterinær forskning og rådgivning i forbindelse med etablering og drift af biogasfællesanlæg. Rapport fra Veterinær-direktoratet, 1991, 51 sider.*
9. *Bennetzen, O., og U.S. Mikkelsen: FS-metodens anvendelighed som hygiejnisk kontrolparameter. 1. Biogasfællesanlæg*
Dansk Vet.Tidskr. 1993, 76, 597-604.
10. *Bennetzen, O., og U.S. Mikkelsen: FS-metodens anvendelighed som hygiejnisk kontrolparameter. 2. Biogasfællesanlæggene i Ribe og Lintrup*
Dansk Vet.Tidskr. 1993, 76, 653-656.

11. Metodeforslag: Miljøbiologisk undersøgelse. Bestemmelse af fækale streptococcer ved pladespredningsmetoden. Bind II, bilag I i publikation: Smitstofreduktion i biomasse. Rapport vedrørende det veterinære forsøgsprogram i biogasfællesanlæg. Udgivet januar 1995 af Energistyrelsen.
12. *Bennetzen, O. og U.S. Mikkelsen*: FS-metoden benyttet til undersøgelse af fækale streptokokkers vækstforhold i ubehandlet og termofilt stabiliseret biomasse. Bind II, bilag II i publikation: Smitstofreduktion i biomasse. Rapport vedrørende det veterinære forsøgsprogram i biogasfællesanlæg. Udgivet januar 1995 af Energistyrelsen.
13. Bergey's Manual of Systematic Bacteriology, Vol.2, 1986.
14. *Bøtner, Anette*: Modelstudier vedrørende overlevelse af virus i gylle under traditionel opbevaring og under udrådning i biogasanlæg. Delprojekt 1. Veterinær forskning og rådgivning i forbindelse med etablering og drift af biogasfællesanlæg. Udgivet af Statens Veterinære Institut for Virusforskning, Lindholm 1990. 31 sider, 32 figurer.
15. *Nordisk Metodikkomite för Livsmedel*, Nr.68 1978 (UDC 576.851.21): Bestemmelse af faecale streptokokker i livsmedel.
16. DS 266 Kvalitativ og kvantitativ bestemmelse af salmonella i vand, slam, sedimenter og jord. Maj 1968.
17. *U.S. Mikkelsen og O. Bennetzen*: Kildesorteret affald i biogasfællesanlæg. Betydningen af varmetransmissionen i knogler for kontrolleret hygiejnisering af kildesorteret affald. Bind II, bilag IX i publikation: Smitstofreduktion i biomasse. Rapport vedrørende det veterinære forsøgsprogram i biogasfællesanlæg. Udgivet januar 1995 af Energistyrelsen.

Sammendrag

Der er udført undersøgelser med henblik på vurdering af den smitstofreducerende effekt, der kan opnås ved 'batch-vis' behandling af kildesorteret dagrenovation i hygiejniseringsstanke. Efter hygiejnisering overføres den konditionerede dagrenovation til termofile reaktortanke i et biogasfællesanlæg, der omsætter biomasse bestående af gylle og organisk affald.

Den smitstofreducerende effekt er målt ved hjælp af FS-metoden, en mikrobiel indikatormetode, der er baseret på en kvantitativ bestemmelse af fækale streptokokker (FS) i den ubehandlede og den behandlede biomasse. Det tilstræbes, at FS-værdierne skal reduceres med 3 - 4 \log_{10} -enheder ved den batch-vise behandling i hygiejniseringsstanken.

Neddeling (snitning) af større organer eller vævsstykker er nødvendig for at sikre en stabil varmebehandling. Dette er bekræftet ved en række forsøg med større dyreknogler. I større organiske bestanddele må regnes med en forlænget opvarmningstid på op til 60 min. for at sikre, at kærnetemperaturen når det foreskrevne niveau. Dagrenovationen blev neddelt mekanisk og opblandet med rå svinegylle inden overførslen til hygiejniseringsstanken.

De første undersøgelser foretoges i et pilot-anlæg. FS forekom i et betydeligt antal i husholdningsaffald, ligesom der påvistes salmonellabakterier i alle prøver. Det neddelte affald blandedes med lige dele rågylle og blev behandlet i hygiejniseringsstanken ved 70°C i 1 time. Når bortses fra indkøringsperioden var smitstofreduktionen tilfredsstillende. FS-målingerne viste en \log_{10} -reduktion på over 4. I den hygiejniserede biomasse fandtes ikke salmonellabakterier.

Anden forsøgsserie foregik i et fuld-skala-anlæg, hvor den smitstofreducerende effekt målt ved forskellige temperatur/tid-kombinationer. FS-målinger viste utilfredsstillende smitstofreduktion ved 51°C i 4 timer og 55°C i 2 timer. FS-reduktionen var stabil ved 58°C i 2 timer. På grundlag heraf foregår de fortsatte forsøg med hygiejnisering af dagrenovation ved 60°C og med holdetid på mindst 2 timer. Ved de fortsatte forsøg målt \log_{10} -reduktionen til 4,0 - 5,9 med FS-metoden.

FS-metoden kan bruges til bedømmelse af smitstofreducerende effekt i biogasanlæggenes mesofile og termofile reaktortanke og tillige i hygiejniseringsstanke, der arbejder 'batch-vis' ved temperaturer op til 60°C.

