

**Overlevelse af indikatororganismer
i komposttoiletter og ved simuleret
centraliseret efterkompostering af
afføring fra mennesker**

Overlevelse af indikatororganismer i komposttoiletter og ved simuleret centraliseret efterkompostering af afføring fra mennesker

Jacob Møller
Institut for Jordbrugsvidenskab, Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole (KVL)

Arne Backlund
A & B Backlund Aps.

Lise Tønner Jørgensen, Anita Forslund og Anders Dalsgaard
Institut for Veterinær Mikrobiologi, Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole (KVL)

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

FORORD	7
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	9
SUMMARY AND CONCLUSIONS	13
1 BAGGRUND	19
1.1 OVERORDNEDE FORMÅL MED PROJEKTERNE	20
2 MIKROORGANISMER OG SMITSTOFFER I MENNESKETS AFFØRING	21
2.1 BAKTERIER	21
2.2 PARASITTER	21
2.3 VIRUS	22
2.4 INDIKATORORGANISMER TIL UNDERSØGELSE FOR FOREKOMST AF SMITSTOFFER	23
2.4.1 Generelt om indikatorbakterier	23
2.4.2 Naturligt forekommende indikatorbakterier i menneskets fækalier	24
2.4.3 Indikatororganismer og smitstoffer tilført ved eksperimentelle undersøgelser	25
2.4.4 <i>Ascaridia galli</i>	25
3 MÅLINGER PÅ FÆCESMATERIALE FRA KOMPOSTTOILETENHEDER I DYSSEKILDE, HJORTSHØJ OG SYD- OG ØSTSVERIGE	27
3.1 INDLEDNING	27
3.1.1 Formål med undersøgelserne	28
3.2 MATERIALER OG METODER	28
3.2.1 Komposttoiletsystemer som indgik i undersøgelsen	28
3.2.2 Mikrobiologisk måleprogram	34
3.2.3 Fysisk/kemisk måleprogram	35
3.3 RESULTATER	36
3.3.1 Mikrobiologiske og kemiske målinger	36
3.3.2 Temperaturmålinger	39
3.4 DELKONKLUSIONER	45
4 OVERLEVELSE AF INDIKATORORGANISMER I FÆCES LOKALKOMPOSTERET UNDER KONTROLLEREREDE FORHOLD	47
4.1 INDLEDNING	47
4.1.1 Formål med forsøgene	47
4.2 MATERIALER OG METODER	47
4.2.1 Forsøgsopsætning	47
4.2.2 Temperaturmålinger	48
4.2.3 Mikrobiologisk måleprogram	48
4.3 RESULTATER	50
4.3.1 Temperaturmålinger	50

4.3.2	Mikrobiologiske målinger	52
4.4	DELKONKLUSIONER	56
5	OVERLEVELSE AF INDIKATORORGANISMER I FÆCES UNDER OPTIMEREDE LOKALKOMPOSTERINGSFORHOLD	57
5.1	INDLEDNING	57
5.1.1	Formål med optimeringsforsøgene	57
5.2	MATERIALER OG METODER	58
5.2.1	Forsøgsopsætning	58
5.2.2	Temperaturmålinger	59
5.2.3	Mikrobiologisk måleprogram	59
5.3	RESULTATER	61
5.3.1	Temperaturforløb i optimeringsforsøg	61
5.3.2	Mikrobiologiske målinger	62
5.4	DELKONKLUSIONER	65
6	OVERLEVELSE AF INDIKATORORGANISMER I FÆCES I MODELFORSLØG, SOM SIMULEREDE CENTRALKOMPOSTERINGSFORHOLD	67
6.1	INDLEDNING	67
6.1.1	Formål med forsøgene	67
6.2	MATERIALER OG METODER	68
6.2.1	Opsætning af forsøg	68
6.2.2	Modelkomposteringssystem	68
6.2.3	Mikrobiologisk måleprogram	70
6.3	RESULTATER	70
6.3.1	Mikrobiologiske målinger	70
6.3.2	Temperaturudvikling ved kompostering i komposteringsreaktorer	71
6.3.3	Temperaturudvikling og kimtalsreduktion ved kompostering af fækalt materiale iblandet tilslagsmaterialer	71
6.3.4	Kimtalsreduktion i komposteringsreaktorer ved konstante termofile temperaturforhold	75
6.4	DELKONKLUSIONER	80
7	BRUGERUNDERSØGELSE	81
7.1	INDLEDNING	81
7.1.1	Formål med brugerundersøgelsen	81
7.2	MATERIALER OG METODER	81
7.3	RESULTATER	81
7.3.1	Generelle oplysninger om brugerne	81
7.3.2	Erfaringer fra anvendelse af komposttoiletsystemerne	82
7.3.3	Systemkomponenternes driftssikkerhed og robusthed	84
7.3.4	Samlet oplevelse af komposttoiletsystemerne	86
7.4	DELKONKLUSIONER	88
8	SAMLET DISKUSSION	89
8.1	MÅLINGER PÅ FÆCESMATERIALE FRA KOMPOSTTOILETENHEDER I DYSSEKILDE, HJORTSHØJ OG SYD- OG ØSTSVERIGE	89
8.1.1	Analyseresultater og hygiejnisk kvalitet af fæcesmateriale fra komposttoiletenheder i Hjortshøj, Dyssekilde og Syd- og Østsvrige	89
8.1.2	Temperaturforhold i kompostbeholdere	90
8.2	OVERLEVELSE AF INDIKATORORGANISMER I FÆCES LOKALKOMPOSTERET UNDER KONTROLLERED E KOMPOSTERINGSFORHOLD	92
8.2.1	Henfald af indikatorbakterier og bakteriefag	92

8.3	OVERLEVELSE AF INDIKATORORGANISMER I FÆCES	
	LOKALKOMPOSTERET UNDER OPTIMEREDE KOMPOSTERINGSFORHOLD	93
8.3.1	Vurdering af tiltag for at optimere komposteringsprocessen	93
8.3.2	Overlevelse og infektivitet af parasitæg og andre indikatorer ved optimeret lokalkompostering af fæces	94
8.4	OVERLEVELSE AF INDIKATORORGANISMER I FÆCES I	
	MODELFORSØG, SOM SIMULEREDE CENTRALKOMPOSTERINGSFORHOLD	96
8.4.1	Temperaturudvikling og kimtalsreduktion ved kompostering af fækalt materiale iblandet tilslagsmaterialer	96
8.4.2	Overlevelse af indikatororganismer ved konstante termofile komposteringstemperaturer mellem 50 og 65 °C	97
8.4.3	Muligheder og begrænsninger ved at benytte modelforsøg til at forudsige reduktion af patogener i fuldskala komposteringsanlæg	98
8.5	BRUGERUNDERSØGELSE	99
8.5.1	Brugertilfredshed	99
8.5.2	Driftsproblemer og muligheder for at afhjælpe dem	99
9	SAMLET KONKLUSION	101
	REFERENCELISTE	105
	Bilag A: Temperaturdata	111
	Bilag B: Optimeringsforsøg	117
	Bilag C: Spørgeskema	119

Forord

Denne rapport er en fælles afrapportering af resultater fra to projekter om smitstofreduktion ved kompostering af human afføring: "Vurdering af forskellige komposttoiletters funktion og evne til at reducere smitstoffer i human afføring" og "Smitstofreduktion ved centraliseret efterkompostering af human afføring fra komposttoiletter", som blev udført i perioden 2000-2003.

Førstnævnte projekt omfattede mikrobiologiske og fysisk/kemiske målinger i materiale fra komposttoiletter, som benyttes af beboere i Det Økologiske Andelssamfund i Hjortshøj ved Århus og Det Økologiske landsbysamfund Dyssekilde ved Torup i Nordsjælland. Desuden blev der ved ét tilfælde målt på et antal komposttoiletter i Syd- og Østsverige. Projektdeltagerne vil derfor gerne benytte lejlighed til at takke samtlige ejere af komposttoiletter, som har deltaget i undersøgelserne, for deres velvillige assistance i forbindelse med udførelsen af projektet herunder deres deltagelse i en afsluttende brugerundersøgelse.

Projektet om centraliseret efterkompostering af human fæces blev dels udført i kompostlaboratoriet på Skov & Landskab (FSL), nu placeret på Institut for Jordbrugsvidenskab på KVL, og dels på Institut for Veterinær Mikrobiologi på KVL. Projektdeltagerne vil gerne takke doktorand Annika Holmqvist fra Smittskyddsinstitutet i Stockholm for et frugtbart samarbejde i forbindelse med projektets gennemførelse.

Projekterne blev finansieret af Miljøstyrelsen under "Aktionsplan til fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning".

Projekterne er blevet fulgt af en styregruppe bestående af Linda Bagge og Mogens Kaasgaard fra Miljøstyrelsen, Kjell Nilsson fra Skov & Landskab (FSL), Jacob Møller fra Institut for Jordbrugsvidenskab på KVL, Anders Dalsgaard og Lise Tønner Jørgensen fra Institut for Veterinær Mikrobiologi på KVL, Arne Backlund fra A & B Backlund Aps. og Ulrik Reeh fra Veg Tech A/S.

Sammenfatning og konklusioner

BAGGRUND

Der er en stigende interesse i samfundet for lokal håndtering af fæces fra mennesker vha. komposttoiletsystemer. Det har dog vist sig, at de sundhedsmæssige risici er utilstrækkeligt belyst, selvom komposttoiletter af forskellig art har fundet anvendelse i en række lande i mange år. Miljøstyrelsen har derfor skønnet det nødvendigt at iværksætte undersøgelser, som skulle afdække eventuelle hygiejne- og sundhedsmæssige risici ved udbredelse af denne praksis.

HOVEDFORMÅL MED UNDERSØGELSERNE

Ved målinger på fungerende komposttoiletter:

- at fastlægge koncentration af indikatororganismer og eventuelt forekommende smitstoffer i materiale fra komposttoiletsystemerne.
- at monitorere fysisk/kemiske parametre herunder temperaturforløb i de samme komposttoiletsystemer og sammenholde disse forhold med forekomst af indikatororganismer.

Ved laboratorieforsøg i et modelsystem:

- at undersøge overlevelse af indikatororganismer under simulerede centralkomposteringsforhold.

UNDERSØGELSE AF FOREKOMST AF INDIKATORORGANISMER OG PATOGENER I KOMPOSTTOILETSYSTEMER

15 komposteringsystemer indgik i undersøgelsen. Seks af toiletsystemerne var beliggende i Det Økologiske Andelssamfund Hjortshøj nord for Århus. Tre toiletsystemer lå i Det Økologiske landsbysamfund Dyssekilde i Nordsjælland. De resterende anlæg var beliggende på forskellige lokaliteter i Syd- og Østsvrige. Toiletsystemerne fordelte sig på fem batchsystemer og otte kontinuerlige etkammersystemer. Der var fire batchsystemer med to beholdere i alternerende drift (anlæg 1-4) og ét med fire kamre ligeledes i alternerende drift (anlæg 5). De kontinuerlige systemer bestod af tre med flad bund (anlæg 6-8) og fem med skrå bund (anlæg 9-13).

Efterkomposteringsenhederne (anlæg 14 og 15) bestod af et antal ca. 1 m³ store beholdere placeret udendørs. Disse enheder blev anvendt af beboerne i Hjortshøj og Dyssekilde til slutdeponering af fæcesmateriale fra de enkelte komposttoiletsystemer.

Efter aftale med Miljøstyrelsen blev det valgt at måle en række mikrobiologiske parametre i fæcesprøver fra komposttoiletterne herunder forekomst af indikatorerne termotolerante coliforme bakterier, enterokokker og Clostridium Perfringens sporer samt de patogene bakterier Salmonella, Listeria og Campylobacter. Desuden blev fæcesprøverne analyseret for parasitæg (en liste

over samtlige mikrobiologiske parametre findes i tabel 3.2 i kapitel 3). Udover de mikrobiologiske målinger blev der foretaget en række fysisk/kemiske målinger, herunder temperaturen i komposttoiletenhederne.

Et udvalg af mikrobiologiske fund i prøver udtaget fra komposttoiletenhederne er vist i tabel 1. Der blev generelt påvist termotolerante coliforme bakterier med store variationer i antal. Antallet af påviste enterokokker udviste kun svag korrelation med antallet af termotolerante coliforme bakterier. Sporer af *Clostridium perfringens* blev påvist i alle prøver i antal mellem <10-40.000 'colony forming units' (cfu) pr. gram fækalier. Antal af fækale indikatorbakterier varierede således voldsomt, og der var ingen entydig tendens til lavere kintal ved lange lagringstider.

TABEL 1. UDVALGTE MIKROBIOLOGISKE MÅLERESULTATER FRA ET ANTAL AF DE UNDERSØGTE KOMPOSTTOILETENHEDER (SAMTLIGE MÅLERESULTATER FINDES I TABEL 3.5 I KAPITEL 3). DE ANGVNE TAL ER COLONY FORMING UNITS PR. GRAM AFFØRING.

Komposttoiletenhed	Termo- tolerante coliforme bakterier	Enterok- kokker	<i>Cl. perfrin- gens</i> sporer	Anslæde opvaringstider af afføring ved prøvetagning
Anlæg 4: 140 l plastaffaldsbeholder	110.000	10 mil.	9.000	få dage
Anlæg 1: 220 l plastaffaldsbeholder	20.000	2.600	27.000	mere end 2 mdr.
Anlæg 3: 220 l plastaffaldsbeholder	70	1,4 mil.	5.000	mere end 7 mdr.
Anlæg 2: 220 l plastaffaldsbeholder	160.000	280.000	10	mere end 14 mdr.
Anlæg 5: "Snurrefass" med 4 stk. 280 l plastaffaldsbeholdere	10	mindre end 100	2.000	mere end 21 mdr.
Anlæg 10: "Linden"-toiletsystem med 2,9 m ³ beholder	mindre end 10	mindre end 100	mindre end 10	ældste materiale fra 2000
Anlæg 14: Fælleskomposteringsbeholder. Beholderstørrelse ca. 1 m ³	590	20.000	5.000	mellem 2-8 år

Mht. de fysisk/kemiske parametre var det vigtigste fund, at der kun skete en yderst begrænset temperaturudvikling i de anvendte fækalieopsamlingsbeholdere. Således blev der på intet tidspunkt målt temperaturer i de fungerende systemer som oversteg omgivelsernes med mere end 15 °C. Der blev derfor udført forsøg på at optimere komposteringsprocessen i 220 l affaldsbeholdere ved brug af tilslagsmaterialer etc. Længerevarende temperaturforløb på 55 °C blev opnået, men det lykkedes ikke at opnå egentlig hygiejnisering af materialet som defineret i bekendtgørelsen om brug af affaldsprodukter til jordbrugsformål (Miljøstyrelsen, 2000) populært kaldet "Slambekendtgørelsen", dvs. opvarmning til 70 °C i mindst én time.

MODELFORSØG SOM SKULLE SIMULERE CENTRALKOMPOSTERING AF FÆCES

Da der ikke fandtes centralkomposteringsanlæg i Danmark, som i fuld skala behandlede fæces, blev forsøgene udført vha. et modelsystem som simulerer forholdene i et fuldskalaanlæg. Systemet består af seks PC-styrede kompostreaktorer på hver 9 l. Efter en række indledende forsøg blev overlevelse af indikatorerne undersøgt ved fire forskellige temperaturer fra 50-65 °C. Der blev herefter beregnet overlevelseskurver for mikroorganismene som funktion af eksponeringstiden ved de pågældende temperaturer. På basis af overlevelseskurverne blev henfaldstider som medførte en reduktion på 4 log-enheder beregnet (tabel 2). Beregning af henfaldstider, som medfører kintalsreduktion på 4 log-enheder, er også anvendt i tidligere undersøgelser for at vurdere hygiejniseringseffekter (Bendixen et al., 1995).

TABEL 2. TIDSKONSTANTER FOR AT OPNÅ EN REDUKTION PÅ 4 LOG-ENHEDER VED FORSKELLIGE BEHANDLINGSTEMPERATURER I MODELFORSG

	Tid for 4 log-reduktion (timer)			
	Termotol. coliforme bakterier	<i>Salmonella</i>	<i>Salmonellafag</i>	Enterokokker
50 °C	4,88	3,76	63,17	141,90
55 °C	7,09	3,28	37,86	85,81
60 °C	0,78	0,77	16,92	62,17
65 °C	0,32	0,38	14,13	46,09

INTERVIEWUNDERSØGELSE MED BRUGERE AF KOMPOSTTOILETTER

Der blev udført en interviewundersøgelse med samtlige brugere af toiletter, hvorfra der blev udtaget fæcesprøver. Brugerne var generelt tilfredse med de valgte komposttoiletmodeller, der alle var teknisk enkle systemer. Fælles for 12 ud af 13 brugere var, at de selv havde taget beslutning om at etablere komposttoiletsystemer samt deltaget i udvælgelsen af modeller og placeringen af systemkomponenter. Brugerundersøgelsen viste en del tilbagevendende problemer ved drift af komposttoiletsystemerne. De vigtigste var lejlighedsvis lugtgener, forekomst af fluer og stop i urinslangerne fra de kildesortierende toiletstole.

KONKLUSIONER

Som resultat af projekterne kan drages følgende hovedkonklusioner om kompostering af fæces fra mennesker:

- Fæces fra de undersøgte typer af kompostbeholdere bør ikke anvendes til jordbrugsformål uden viderebehandling, da dette skønnes at være behæftet med hygiejne- og sundhedsrisici.

Det skyldes:

- at der ikke blev dokumenteret egentlige termofile temperaturstigninger i fæcesmaterialet i komposttoiletenhederne i Hjortshøj, Dyssekilde og Sverige.
- at fækale indikatorbakteriers antal varierede voldsomt, og der ingen entydig tendens var til forekomst af lavere kimtal ved lange opbevaringstider af de opsamlede fækalier.

De vigtigste delkonklusioner fra undersøgelsen af komposttoiletsystemerne var:

- Der blev ikke påvist egentlige bakterielle smitstoffer (*Salmonella*, *Campylobacter* og *Listeria*) i noget prøvemateriale, som indgik i undersøgelsen. Dette indikerer, at de undersøgte smitstoffer udviser ringe overlevelsessevne i opsamlet fækalt materiale og/eller at smitstofferne kun blev tilført med lav frekvens.
- Da de fækale indikatorbakteriers antal varierede voldsomt, og der ingen entydig tendens var til lavere kimtal ved lange opbevaringstider, kan der stilles spørgsmål ved, om de traditionelle fækale indikatorbakterier (enterokokker og termotolerante coliforme bakterier) er velegnede hygiejneindikatorer for opsamlede og behandlede

fækalier. *E. coli* synes således at være en bedre indikator til fastlæggelse af hygiejniseringsgrad af fækal materiale end enterokokker og termotolerante coliforme bakterier.

- Ved lokalkompostering under kontrollerede forhold på KVL's forsøgsarealer blev der i sommerperioden opnået maksimumtemperaturer i midten af kompostmaterialet på 43 °C og 49 °C i 220 l kompostbeholdere placeret henholdsvis indendørs og udendørs.
- Ved optimering af ovennævnte lokalkomposteringsforsøg ved brug af græs og sukkervandopløsning som tilslagsmaterialer lykkedes det ikke at fremme komposteringsprocessen i de anvendte 220 l komposteringsbeholdere i en sådan grad, at slutproduktet levede op til "Slambekendtgørelsens" krav til temperatur/behandlingstid.
- Overlevelse af parasitæg af hønens spolorm *Ascaridia galli* blev anvendt som indikator for mennesket spolorm. Æg af *A. galli* kunne ikke udvikles til det infektiøse stadium efter lagring i midten af 220 l kompostbeholdere, hvor en temperatur på over 55 °C blev opnået i mere end 2 døgn.
- Anvendelsen af semi-permeable kapsler for at tilføre *Salmonella typhimurium* bakteriofag 28B og *Salmonella senftenberg* 775W til fæcesmateriale fungerede udmærket. Kapslerne muliggør tilførsel af forskellige mikroorganismer, herunder bakterier, virus og parasitter, i kendte koncentrationer.

De vigtigste delkonklusioner fra modelforsøgene var:

- Ved simulering af centralkomposteringsforhold i modelforsøgene blev reduktionen af antal mikroorganismer undersøgt ved konstante processtemperaturer på 50 °C, 55 °C, 60 °C og 65 °C. F.eks. resulterede fire døgn kompostering ved 55 °C i, at indikatororganismene blev reduceret med mere end fire log-enheder. Reduktionerne var generelt i overensstemmelse med litteraturen undtagen for enterokokker.
- Mod forventning blev antallet af enterokokker reduceret markant langsommere end de andre parametre i modelforsøgene, inklusiv bakteriofagen. Fundene for enterokokker er højst overraskende og er ikke i overensstemmelse med litteraturen. På det foreliggende grundlag er det ikke muligt at forklare dette forhold nærmere.

De vigtigste delkonklusioner fra interviewundersøgelsen var:

- Brugere af komposttoiletterne var generelt tilfredse med deres systemer. En væsentlig årsag var uden tvivl en høj grad af medbestemmelse ved valg af systemer.
- Af tilbagevendende problemer var lugt, fluer og tilstopning af urinslangerne fra toiletstolen de væsentligste.

Summary and conclusions

BACKGROUND

There is an increased interest in the society for local handling and use of human feces from compost toilet systems. However, it appears that the associated health risks are inadequately described despite the fact that compost toilets have been used for decades in many countries. Therefore, The Danish Environmental Protection Agency (“Miljøstyrelsen”) decided that it was necessary to initiate investigations to describe and assess potential hygiene and health risks associated with these practices.

THE MAIN OBJECTIVES FOR THE INVESTIGATIONS WERE

Through analyses of existing compost toilets:

- To assess the concentration of indicator organisms and occurrence of pathogens in fecal material from compost toilets.
- To analyze physical and chemical parameters including temperature development in selected compost toilet systems and correlate such information with the occurrence of indicator organisms.

Conduct laboratory experiments in model systems:

- To investigate the survival of indicator organisms under conditions simulating those found in large-scale centralized composting systems.

INVESTIGATION OF THE OCCURRENCE OF INDICATOR ORGANISMS AND PATHOGENS IN COMPOST TOILET SYSTEMS

A total of 15 compost toilet systems were included in the study. Six systems were located in “Det Økologiske Andelssamfund i Hjortshøj” north of Århus. Three toilet systems were used in houses in “Det Økologiske landsbysamfund Dyssekilde” in North Sealand. The remaining systems were situated in different households in the southern and eastern parts of Sweden. The toilet systems included five batch systems and eight continuous one-chamber systems. Four of the batch systems had two containers in alternating usage (system 1-4) and one batch system had four chambers also in alternating usage (system 5). The continuous systems consisted of three systems with a flat bottom (system 6-8) and five systems with a sloping bottom (system 9-13). The systems used for composting of fecal matter from the household containers (system 14 and 15) consisted of a number of 1 m³ containers placed outdoor. The inhabitants in the study site Hjortshøj and Dyssekilde used such containers for the final placement of fecal material from the individual compost toilet systems.

In agreement with the Environmental Protection Agency, it was decided to analyze for a number of microbiological parameters in fecal samples from compost toilets, including analyses for the indicators thermotolerant coliforms,

enterococci and spores of *Clostridium perfringens*, together with the pathogenic bacteria *Salmonella*, *Listeria* and *Campylobacter*. In addition, the fecal samples were analyzed for helminth parasite eggs (a list with all microbiological parameters is shown in Table 3.2 in Chapter 3). Finally, analyses were done for a number of physical and chemical parameters, including temperature, in the compost toilet systems.

Selected results from the microbiological analyses of fecal samples from the containers are shown in Table 1. Overall, thermotolerant coliforms were found with large variation in numbers. The numbers of enterococci showed only limited correlation with the number of thermotolerant coliforms with large variation in enterococci numbers. Spores of *Clostridium perfringens* were found in the majority of samples with numbers between <10-40,000 colony forming units (cfu) pr. gram feces. The numbers of fecal indicator bacteria showed large variations and there was no clear trend towards lower bacterial counts as a result of longer storage time.

TABLE 1. SELECTED RESULTS FROM THE MICROBIOLOGICAL ANALYSES OF FECAL SAMPLES FROM COMPOST TOILETS (ALL RESULTS ARE SHOWN IN TABLE 3.5 IN CHAPTER 3). THE NUMBERS SHOWN ARE COLONY FORMING UNITS (CFU) PR. GRAM FECES.

Compost toilet unit	Thermotolerant coliforms	Enterococci	<i>Cl. perfringens</i> spores	Estimated storage times of fecal matter at time of sampling
System no. 4: 140 L plastic container	110,000	10 mill.	9,000	Few days
System no. 1: 220 L plastic container	20,000	2,600	27,000	More than 2 months
System no. 3: 220 L plastic container	70	1.4 mill.	5,000	More than 7 months
System no. 2: 220 L plastic container	160,000	280,000	10	More than 14 months
System no. 5: "Snurredass" with 4 units of 280 L plastic containers	10	Less than 100	2,000	More than 21 months
System no. 10: "Linden"-toilet system" with 2.9 m ³ container	Less than 10	Less than 100	Less than 10	The oldest material originated from 2000
System no. 14: Common compost container. Unit size approx. 1 m ³	590	20,000	5,000	Between 2-8 years

The most important finding from the analyses of the physical and chemical parameters was that only minor temperature elevations were registered in the containers used for feces collection. At no time during the investigation the measured temperatures were more than 15 °C above the ambient temperature. This prompted the initiation of experiments to optimize the composting process through the addition of organic material to the 220 l containers studied. Long lasting temperatures at 55 °C was achieved, but it was not possible to achieve complete sanitization of the material, i.e. exposure of the material to 70 °C for one hour as stipulated by the departmental order no. 49 on the use of waste materials for agricultural purposes (Miljøstyrelsen, 2000).

MODEL EXPERIMENTS SIMULATING CONDITIONS FOR CENTRALIZED COMPOSTING OF FECES

As no large-scale centralized systems for composting of human feces existed in Denmark, these investigations were done in a model system, which

simulated the conditions in a full-scale composting plant. The model system consisted of six computer-controlled compost reactors each with a volume of 9 l. Following some initial pilot experiments, the survival of the indicator organisms were investigated at temperatures from 50-65 °C. Curves of survival were then calculated for the microorganisms as a function of exposure time at the different temperatures investigated. Based on the curves of survival, the times needed for a 4-log reduction in numbers were calculated (Table 2). Similar calculations have been used in previous investigations assessing the effect of different sanitation measures (Bendixen et al., 1995).

TABLE 2. TIME CONSTANTS FOR A 4-LOG REDUCTION IN NUMBERS OF MICROORGANISMS AT DIFFERENT EXPOSURE TEMPERATURES IN MODEL EXPERIMENTS

	Time needed for a 4 log-reduction in numbers of microorganisms (hours)			
	Termotol. coliforms	<i>Salmonella</i>	<i>Salmonella</i> phage	Enterococci
50 °C	4.88	3.76	63.17	141.90
55 °C	7.09	3.28	37.86	85.81
60 °C	0.78	0.77	16.92	62.17
65 °C	0.32	0.38	14.13	46.09

INTERVIEWS OF USERS OF COMPOST TOILETS

A questionnaire-based interview was conducted with all users of toilets from which samples were collected. In general, the users were satisfied with their compost toilets, all of which were technically simple systems. A total of 12/13 users had made their own decisions on the establishment of compost toilets, the selection of type of toilets (models), and the placement in the house of the toilet system components. The interviews revealed a number of recurrent problems related to usage and maintenance of the toilets, including bad smells, problems with flies and obstruction of the pipes for collection and transport of urine.

CONCLUSIONS

The following main conclusions can be made as a result of the investigation on composting of human feces:

- Feces from the investigated compost containers should not be used for agricultural purposes, e.g. in the garden of the owner of the compost toilet without additional treatment as such usage will be associated with sanitation and health risks.

This is due to:

- No thermophilic temperature development was registered in the composted fecal material in compost toilet containers in Hjortshøj, Dyssekilde, and Sweden.
- There were large variations in numbers of fecal indicator bacteria and no clear association between lower bacterial counts and prolonged storage time periods of collected fecal matter.

The most important specific conclusions from the investigation of the compost toilet systems were:

- The bacterial pathogens, *Salmonella*, *Campylobacter* and *Listeria*, were not detected in any fecal sample. This indicates that the pathogens

have a low survival rate in collected and stored feces and/or that the pathogens initially occurred in low numbers in the fecal material.

- The numbers of fecal indicator bacteria showed large variations and there was no clear trend of low bacterial numbers when feces were stored for long time periods. These findings raise the question; are the traditional fecal indicators (enterococci and thermotolerant coliforms) appropriate hygiene indicators for collected and treated human feces? Rather than enterococci and thermotolerant coliforms, it appears that *E. coli* could be a better indicator to assess the degree of sanitation of fecal material.
- In controlled composting experiments at KVL using 220 l plastic containers, one placed indoor and the other outdoor, the maximum temperature in the middle of the feces material was 43 °C and 49 °C, respectively.
- Despite optimization of the controlled compost experiments by addition of grass and a sugar solution, it was not possible to achieve a temperature high enough for sanitation of the material, i.e. 70 °C for at least one hour, as stipulated in the departmental order no. 49 regarding the use of waste products for agriculture (Miljøstyrelsen, 2000).
- Survival of the eggs of the round worm parasite *Ascaridia galli* of poultry was used as an indicator for the human round worm *Ascaris lumbricoides*. Eggs of *A. galli* could not develop to the infective larval stage after storage in the middle of a 220 l plastic container where temperatures above 55 °C were achieved for more than 2 days.
- Addition of *Salmonella typhimurium* bacteriophage 28B and *Salmonella senftenberg* to fecal material contained in semi-permeable capsules proved to be a useful technique. In this way, microorganisms, e.g. bacteria, virus and parasites can be added in known concentrations to materials to test their survival over time.

The most important specific conclusions from the model experiments were:

- The reduction of microorganisms was investigated at temperatures of 50 °C, 55 °C, 60 °C and 65 °C in model experiments simulating large-scale centralized composting systems. For example, four days composting at 55 °C resulted in more than a 4 log-reduction of the indicatororganisms. The reduction in microorganisms was in general in agreement with the literature, except for enterococci.
- The enterococci were reduced much slower than anticipated in the model experiments when compared with the other parameters, including the bacterial phage. These findings are highly surprising and not in agreement with the literature. Unfortunately, it was not possible to explain these findings.

The most important specific conclusions from the interviews were:

- Users of compost toilets were in general satisfied with their systems. An important reason for this seemed to be that the users decided themselves on the type of systems to be installed.
- Problems with bad smells, flies and obstruction of urine pipes were common important recurrent problems of the investigated toilet systems.

1 Baggrund

Stigende interesse for anvendelse af komposttoiletter til lokal håndtering af human afføring gør det nødvendigt at afklare de miljø- og sundhedsmæssige konsekvenser, der kan være ved anvendelse af komposteret humant fæces.

I forbindelse med gennemførelsen af "Aktionsplan for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning" er der udført et litteraturstudium over smitstofreduktionen i komposttoiletter. Det har vist, at funktionen af og smitstofreduktionen i komposttoiletter generelt er utilstrækkeligt belyst trods mange års anvendelse af forskellige komposttoilettyper i bl.a. Sverige, Norge og USA (Jansen og Boisen, 2000).

På forskningsinstitutionen Jordforsk ved Norges Landbrukshøjskole har man gennem mere end 15 år foretaget test af kommercielt tilgængelige komposttoiletter. Testen er dog ikke obligatorisk, og myndighederne stiller ikke krav til resultatet for at godkende en bestemt toiletttype. Testproceduren i Norge foregår med anvendelse af afvandet spildevandsslam, hvilket giver et utilstrækkeligt billede af anlæggenes funktion ved normalt brug. Desuden sker vurdering af smitstofreduktionen ved anvendelse af få mikrobielle indikatorer. Dette er baggrunden for den første del af nærværende projekt, som er gennemført med henblik på at få viden om forskellige komposttoiletters evne til at reducere smitstoffer i human afføring.

Til belysning af komposttoiletters funktion, smitstofreduktion og den hygiejniske kvalitet af kompost er der i projektet ved udvælgelsen af komposttoiletter lagt vægt på kildesorteringer, som er dominerende i Danmark og i øjeblikket vinder frem ved såvel nyetableringer som ved forbedring af eksisterende systemer. Et antal af sådanne systemer findes i Det Økologiske Andelssamfund i Hjortshøj ved Århus og i Det Økologiske landsbysamfund Dyssekilde ved Torup i Nordsjælland. I Hjortshøj findes omkring 15 anlæg, mens Dyssekilde har et noget færre antal. Ved at inddrage begge lokaliteter kunne projektet i princippet gennemføres med udgangspunkt i eksisterende komposttoiletssystemer på de to lokaliteter. Det var dog ønskeligt at opnå en mere grundig dækning af de forskellige systemtyper, hvorfor et antal komposttoiletter beliggende i Sverige også indgik i projektet.

For at undersøge komposttoiletternes evne til at reducere smitstoffer blev der udarbejdet et mikrobiologisk måleprogram, som blev gennemført på ovennævnte komposttoiletter. Da høj temperatur anses for at være et essentielt krav til komposteringsprocessen for at opnå hygiejniserings af materialet, blev der desuden foretaget temperaturmålinger i samtlige udvalgte komposttoiletssystemer.

Hidtidige erfaringer med drift af komposttoiletter har vist, at det er vanskeligt at opnå en tilfredsstillende reduktion af smitstoffer i human afføring i selve komposttoiletternes opsamlingsbeholdere. Der er derfor muligt, at der vil være behov for at efterbehandle det materiale, der tømmes ud af komposttoiletterne, for at det kan leve op til myndighedernes hygiejnekrav. På den baggrund er der blevet gennemført en undersøgelse af, hvilken hygiejnisk kvalitet, der kan opnås ved centraliseret kompostering af human afføring, der

efter tilførsel af udtørrende og kulstofholdigt materiale allerede har været udsat for en vis mikrobiel omsætning og smitstofreduktion i selve komposttoiletterne.

Ifølge bekendtgørelsen om brug af affaldsprodukter til jordbrugsformål, populært kaldet "Slambekendtgørelsen" (Miljøstyrelsen, 2000) defineres kontrolleret hygiejnisering som "behandling i reaktor ved minimum 70 °C i minimum 1 time eller tilsvarende hygiejnisering". Der er ikke nærmere beskrevet, hvad der menes med "tilsvarende hygiejnisering", og det var derfor nærliggende at forsøge at konkretisere formuleringen baseret på komposteringsforsøg under kontrollerede forhold. Projektet skulle således afklare, om der kan opnås en hygiejnisk kvalitet af restproduktet svarende til en kontrolleret hygiejnisering i et centralt komposteringsanlæg, samt at vurdere mulighederne for at opstille forskellige alternative tids-/temperaturkombinationer, der kan føre til en effektiv smitstofreduktion.

1.1 OVERORDNEDE FORMÅL MED PROJEKTERNE

Projekterne omfatter:

- Undersøgelse af forekomst af indikatororganismer og smitstoffer i materiale fra komposttoiletter samt toiletternes evne til at reducere disse.
- Fastlæggelse af sammenhængen mellem reduktion af indikatororganismer og smitstoffer og temperatur og behandlingstid ved central efterkompostering af materiale fra komposttoiletter.
- Undersøgelse af hvilke forhold som fremmer reduktion af eventuelt forekommende smitstoffer i komposttoiletter samt opstilling af procesbetingelser (tid/temperaturrelationer) som sikrer hygiejnisering af materialet ved central efterkompostering af human afføring.

Projektets målgruppe er Miljøstyrelsen, kommuner, amter og embedslæger samt producenter af komposttoiletter og de borgere, der har, eller overvejer, at installere komposttoiletter til lokal håndtering af human afføring.

2 Mikroorganismer og smitstoffer i menneskets afføring

2.1 BAKTERIER

De vigtigste bakterier, som forårsager mave-tarminfektioner under danske forhold, og som kan forventes at findes i fækalier fra mennesker, tilhører slægterne *Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia* samt visse typer af *E. coli*.

Salmonella og *Campylobacter* er de to vigtigste årsager til bakterielt betinget diarré hos mennesker i Danmark. Begge bakterieslægter overføres typisk via levnedsmidler, herunder vand, fra dyr til mennesker og mennesker imellem, hvor de forårsager mave-tarminfektioner. Andre mere sjældne smitstoffer, som kan findes i fækalier inkluderer slægterne *Listeria*, *Clostridium* og *Bacillus*. Der findes endvidere en lang række andre sygdomsfremkaldende bakterier, som typisk erhveres i udlandet eksempelvis under ferierejser. Ved diarré forårsaget af smitsomme bakterier vil et menneske i den akutte sygdomsfase typisk udskille op til 10^{10} bakterier pr. gram fæces. Bakterier vil dog også blive udskilt i varierende tidsperioder, før og især efter sygdomssymptomer optræder. Der henvises til speciallitteraturen vedrørende yderligere oplysninger om bakterielt betingede mave-tarmsygdomme hos mennesker.

2.2 PARASITTER

For de typer af parasitter som har en del af deres udvikling i mave-tarmsystemet i et varmblodet dyr, inklusive mennesket, gælder det generelt at de voksne parasitter i tarmen udskiller et ægstadium, som enten allerede er infektivt (eksempel: oocyster fra protozoen *Cryptosporidium parvum*) eller efter en videre udvikling i miljøet bliver infektivt (de fleste andre parasitter i tabel 2.1)

TABEL 2.1. VIGTIGSTE SYGDOMSFREMKALDENDE PARASITISKE ORME OG PROTOZOER UDSKILT I FÆCES FRA MENNESKER (FRA FEACHEM ET AL., 1983 OG U.S. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY, 2000)

Helminther (parasitiske orm)	Protozoer
<i>Taenia saginata</i> (bændelorm) <i>Taenia solium</i> (bændelorm) <i>Hymenolepis nana</i> (bændelorm) <i>Ascaris lumbricoides</i> (spolorm) <i>Stongyloides stercoralis</i> (trådorm) <i>Enterobius vermicularis</i> (børneorm) <i>Trichuris trichiura</i> (piskeorm) <i>Ancylostoma duodenale</i> (hageorm) <i>Necator americanus</i> (hageorm)	<i>Cryptosporidium parvum</i> <i>Entamoeba histolytica</i> <i>Giardia lamblia</i> (<i>G. intestinalis</i> og <i>G. lamblia</i>) <i>Balantidium coli</i>

Langt de fleste af parasitterne i tabel 2.1 udgør ikke et problem hos mennesker i Danmark. Dog diagnosticeres *Enterobius vermicularis* (også kendt som børneorm) jævnlige. De øvrige rundorme forekommer primært som "importerede" infektioner, indført til Danmark enten via hjemvendte rejsende især fra udviklingslande i f.eks. Asien og Afrika, eller via immigranter eller flygtninge fra disse verdensdele.

I gruppen af protozoer har *Cryptosporidium parvum* siden sin opdagelse i 70'erne fået stigende betydning som årsag til sygdom hos mennesker ikke kun i udviklingslandene, men i høj grad også i den industrialiserede verden, hvor der i de seneste år har været store udbrud af mave-tarminfektioner i bl.a. USA og Storbritanien. Disse udbrud har som regel været forårsaget af en forurening af drikkevandsreservoirer med den zoonotiske (smitstoffer som kan overføres mellem dyr og mennesker) genotype af *C. parvum* (Fayer et al., 2000; Slifko et al., 2000). Ligeledes har *Giardia lamblia* i de seneste årtier fået større betydning som årsag til sygdom hos mennesker. Forhold omkring forekomst, smitte og risikofaktorer for *Giardia* er på mange måder lig dem, der gælder for *C. parvum* (Slifko et al., 2000).

Antallet af parasitter reduceres under opbevaring af fækalier, da parasitter ikke er i stand til at opformere sig uden for en vært og samtidig påvirkes af forskellige miljøforhold. I gruppen af helminter er æg af spolorm (*Ascaris*) de mest resistente over for miljøpåvirkninger såsom temperatur, pH og fugtighedsgrad. Således overlever spolormeæg mange måneder i fækal materiale, hvis temperaturen er mellem 20-30 °C (Feachem et al., 1983). Ved en termofil kompostering, hvor der opnås temperaturer på over 45 °C, vil der ske et langsomt drab af spolormeæg (> 1 uge), medens æggene kan dræbes i løbet af 1 døgn, hvis temperaturen når op på 65 °C (Feachem et al., 1983). Parasitæg er ligeledes følsomme over for en stigning i pH, f. eks. vil et pH på >12 i tre måneder medføre drab af æggene (Eriksen et al., 1995).

2.3 VIRUS

En lang række virus kan forekomme i fækalier fra mennesker (tabel 2.2). Der er store geografiske forskelle i forekomsten af virus. I Danmark forekommer alle de i tabel 2.2 nævnte virus med undtagelse af Hepatitis E virus, som er et problem i udviklingslande. Koncentrationen af virus i spildevand i Danmark er anslået til omkring 10^3 to 10^5 plaqueformende enheder (pfu)/100 ml for enterovirus (inklusiv Hepatitis A virus) og 2 til 10^2 pfu/100 ml for rotavirus. Koncentrationen af viruspartikler i fækalier fra mennesker indsamlet til kompostering kan derfor forventes at være højere end de anslåede værdier for spildevand. Adenovirus, astrovirus og rotavirus vil normalt optræde hyppigere fra sidst på efteråret til det tidlige forår, hvorimod enterovirus forventes at optræde hyppigere om sommeren.

Alle virus i tabel 2.2 mangler en kappe og er derved relative resistente over for varme og lave pH-forhold sammenlignet med virus, som er omsluttet af en kappe. Det mest varmeresistente virus hos mennesker er Hepatitis A virus, som selv ved eksponering til 60 °C i 30 min eller til 80 °C i 10 min ikke undergår en komplet inaktivering (Guardabassi et al., 2003). Eksponering af virus til temperaturer over 55 °C i mere end 2 uger (kontrolleret kompostering) eller til 70°C i én time (kontrolleret hygiejniserings) vil dog sikre en fuldstændig inaktivering af alle smitsomme virus, som forekommer i fækalier fra mennesker.

Overlevelse af virus i fækalier fra mennesker afhænger ikke kun af forholdene ved komposteringen, men også af opbevaringsforholdene inden kompostering. Antallet af virus reduceres under opbevaring af fækalier, da virus ikke er i stand til at opformere sig uden for en vært og samtidig påvirkes af forskellige miljøforhold. Overlevelse af virus kan f. eks. reduceres mærkbart ved at øge pH og holde en lav luftfugtighed.

TABEL 2.2. VIGTIGSTE SYGDOMSFREMKALDENDE VIRUS SOM FOREKOMMER I FÆKALIER FRA MENNESKER (HURST *ET AL.*, 1997)

Virusgruppe		Antal sero typer	Sygdom, symptomer
Adenovirus		47	Luftsvejslidelser, slimhindebetændelse, mave-tarmsygdomme
Astrovirus		8	Mave-tarmsygdomme
Calicivirus		2	Mave-tarmsygdomme
Enterovirus	Poliovirus	3	Lammelse, hjernehindebetændelse
	Coxsackievirus A	24	Luftvejslidelser, hjernehindebetændelse, lammelse
	Coxsackievirus B	6	Hjertemuskelbetændelse, hjerteklapsbetændelse, medfødt hjerteanomalier, udslet, diarre, hjernehindebetændelse, luftvejslidelser
	Echovirus	31	Hjernehindebetændelse, luftvejslidelser, hjertesæksbetændelse, hjertemuskelbetændelse, udslet, diarre, feber
	Enterovirus 68-71	4	Hjernehindebetændelse, luftvejslidelser
Hepatitis A virus		1	Smitsom leverbetændelse
Hepatitis E virus		1	Smitsom leverbetændelse
Rotavirus		4 alm. 10 i alt	Mave-tarmbetændelse

Der henvises i øvrigt til rapport udgivet af Miljøstyrelsen vedrørende forekomst af virus i fækalier fra mennesker (Guardabassi *et al.*, 2003).

2.4 INDIKATORORGANISMER TIL UNDERSØGELSE FOR FOREKOMST AF SMITSTOFFER

2.4.1 Generelt om indikatorbakterier

Tilstedeværelsen af et eller flere smitstoffer har traditionelt været sandsynliggjort ved påvisning af såkaldte indikatororganismer. En indikatororganisme, som oftest er en bakterie, skal opfylde flere krav. Den skal være tilstede, når smitstoffer, som den skal indikere, er tilstede, og den skal forekomme i samme eller større koncentration end smitstoffet. Indikatorbakterien må ikke være i stand til at formere sig i miljøet i en grad, der overstiger smitstoffets. Den skal være mere resistent over for desinfektionsmidler og påvirkninger fra det omgivende miljø (fækalier) end smitstoffet.

Indikatorbakterien skal vokse hurtigt på relativt simple identifikationsmedier og give karakteristiske og simple reaktioner, så en utvetydig identifikation hurtigt kan finde sted. Væksten på kunstige medier bør så vidt muligt ikke påvirkes af vækst af andre mikroorganismer.

Fækale bakterielle indikatorer er især velegnede til at indikere tilstedeværelsen af sygdomsfremkaldende bakterier fra mave-tarm kanalen, men er generelt dårlige indikatorer for tilstedeværelsen af virus og parasitter i fækalier.

2.4.2 Naturligt forekommende indikatorbakterier i menneskets fækalier

2.4.2.1 Enterokokker (fækale streptokokker)

Enterokokker anvendes i flere sammenhænge som indikator for fækal forurening. Enterokokker er Gram-positive, katalase-negative kokker, der optræder parvis eller i korte kæder.

Definitionen af slægten *Enterococcus* omfatter arterne: *E. avium*, *E. casseliflavus*, *E. durans*, *E. faecalis*, *E. faecium*, *E. gallinarum* og *E. malodoratus*. Enterokokker udgør en del af gruppen af fækale streptokokker som inkluderer *S. bovis*, *S. suis*, *S. equinus*. Analyse for enterokokker foretrækkes i dag i stedet for analyse for fækale streptokokker. De to betegnelser anvendes i dag synonymt, selvom dette ikke er helt korrekt.

Enterokokker findes i menneskers og dyrs tarmkanal og udviser generelt større resistens over for udtørring, varme og andre ydre påvirkninger end *E. coli*, *Salmonella* og de fleste andre Gram-negative sygdomsfremkaldende bakterier. Ved at anvende enterokokker som indikatorbakterie synes der at være en god sikkerhed for, at henfaldet af disse modsvares af et tilsvarende eller hurtigere henfald af sygdomsfremkaldende bakterier.

2.4.2.2 Coliforme bakterier

Gruppen af totale coliforme er Gram-negative, stavformede, ikke-spordannende bakterier, som er laktosefermenterende ved 35-37 °C med produktion af syre og gas. Bakterier, der opfylder disse betingelser, tilhører familien *Enterobacteriaceae*, som inkluderer *E. coli*, samt medlemmer af slægterne *Enterobacter*, *Klebsiella* og *Citrobacter* (Hurst et al., 1997). Værdien af totale coliforme som indikatorbakterier er tvivlsom, da bakterierne kan stamme fra andre miljøer end menneskers og dyrs mave-tarmkanal, eksempelvis ikke-fækalt materiale tilført komposttoiletter. De er derfor mindre egnede som indikatorer for fækal forurening.

2.4.2.3 Termotolerante coliforme (fækale coliforme) bakterier

Gruppen af termotolerante coliforme bakterier opfylder alle kriterierne i definitionen af totale coliforme. De skal endvidere kunne fermentere laktose med produktion af syre og gas ved 44,5 °C. Ved optælling af bakteriekolonier uden efterfølgende test for produktion af syre og gas kan disse antal angives med betegnelsen suspekter. Disse udvidede kriterier betyder, at bakterierne næsten udelukkende stammer fra menneskers og dyrs tarmkanal. En undtagelse er dog slægten *Klebsiella*, der er blevet isoleret fra miljøprøver uden fækal forurening (Hurst et al., 1997). Termotolerante coliforme er således en bedre og mere specifik indikator for fækal forurening end totale coliforme bakterier.

2.4.2.4 *E. coli*

E. coli tilhører gruppen af termotolerante coliforme og findes udelukkende i dyrs og menneskers tarmkanal. Dette gør *E. coli* til den bedste indikator for fækal forurening i gruppen coliforme bakterier. *E. coli* adskilles fra andre termotolerante coliforme ved mangel på urease enzymet og tilstedeværelse af enzymet beta-glucuronidase. Som indikatorbakterium er *E. coli* således

velegnet til indikation på en frisk fækal forurening. *E. coli* overlever oftest kortere tid end enterokokker i det ydre miljø.

2.4.2.5 Antal udskilte indikatorbakterier

I fæces findes høje koncentrationer af de nævnte indikatorbakterier. Et raskt menneske udskiller i alt ca. 10^7 - 10^9 indikatorbakterier pr. gram fæces med nogen variation mellem de enkelt indikatorer.

2.4.2.6 Kimtal ved 36 °C og 22 °C

De hyppigste anvendte metoder til påvisning af det totale antal af bakterier, som kan vokse ved 37 °C, vil påvise enterokokker, *E. coli* og flere andre fækale indikatorbakterier, dog undtaget slægten *Clostridium*, som kun vokser ved strikt anaerobe forhold. Bakterier, som vokser ved 36 °C, vil dog også tilhøre en række andre slægter, der findes i fækalier, hvoraf flere kan forårsage sygdom hos mennesker. Kimtal ved 36 °C anvendes derfor som en generel indikator for tilstedeværelsen af smitstoffer, ligesom de også kan indikere en eventuel bakteriel vækst i komposteret fækalier.

2.4.3 Indikatororganismer og smitstoffer tilført ved eksperimentelle undersøgelser

2.4.3.1 Bakteriofager

Bakteriofager er virus som kun inficerer bakterier. Fagernes overlevelse i miljøet anvendes i stigende grad til at studere overlevelsen af sygdomsfremkaldende virus i miljøet. Flere forskellige bakteriofager har været foreslået som indikatorer, bl.a. F-specifikke bakteriofager og colifager (Lewis, 1995; Tree et al., 1997; Armon and Kott, 1995). F-specifikke bakteriofager er især aktuel som indikator, da de udviser stor resistens i miljøet og kan påvises ved relative simple og billige laboratoriemetoder.

Salmonella typhimurium fag 28B (Lilleengen, 1948) har pga. en relativ høj overlevelsessevne i miljøet sammenlignet med andre fager været anvendt i sporingsstudier til påvisning af kontamination mellem afløb og rentvandsreservoir (Stenström, 1996) og til at spore kontaminering af grundvand ved vanding med afløbsvand (Carlander et al., 2000; Johansson et al., 1998). Den har desuden været anvendt som hygiejneindikator ved kontrollering af termofile processer f.eks. ved vådkompostering (Eller, 1995; Norin et al., 1996) og pasteurisering (Sahlström, 2003). Fag 28B er 60 nm i diameter og resistent over for høje pH-værdier. *Salmonella typhimurium* fag 28B er anvendt i projektets eksperimentielle undersøgelser.

2.4.3.2 *Salmonella senftenberg*

S. senftenberg stamme 775W blev valgt som indikator for slægten *Salmonella*. *S. senftenberg* 775W er tidligere fundet yderst varmeresistent i en sammenlignede undersøgelse med 75 *Salmonella* serotyper (Henry et al., 1969). Stammen kan overleve temperaturer helt op til 60 °C og anvendes derfor flere steder som indikator for kintalsreduktion ved termofile komposteringprocesser.

2.4.4 *Ascaridia galli*

A. galli er en nematod (rundorm) som lever i tyndtarmen hos en lang række fjerkræarter, deriblandt høns. *A. galli* har en direkte livscyklus (ingen mellemværter) karakteriseret ved to primære populationer: den voksne orm i tarmen og et yderst miljøresistent infektiøst æg indeholdende en larve. Præpatenstiden (periode fra værtens optagelse af det infektiøse æg til der kan påvises æg fra voksne orm i værtens fækalier) varierer fra 5-8 uger (Permin,

1997). I Danmark er *A. galli*-infektioner hos høns almindelige hos fritgående og/eller økologiske hønsehold.

A. galli (hønsens spolorm) og *Ascaris suum* (svinets spolorm) er almindeligt brugte som indikatorer for overlevelse af rundormeæg i miljøet, da overlevelsen af disse æg i miljøet er sammenlignelige med menneskets spolorm *Ascaris lumbricoides* (Stott et al., 1994). Spolormeæg er blandt de mest resistente rundormeæg over for ydre miljøpåvirkninger. Æggenes overlevelse i miljøet påvirkes dog negativt ved eksponering til høje temperaturer af en vis varighed, f.eks. dræbes *A. galli* æg ved 60 °C i 1 time, 52 °C i 10 timer og 47 °C i 1 uge (Feachem et al., 1983). Eksponering til pH >12 i tre måneder eller længere, eksempelvis opnået ved tilsætning af kalk ved hygiejnisering af forskellige organiske affaldstyper, vil også medføre drab af alle parasitæg (Eriksen et al., 1995).

Vi valgte at bruge *A. galli* som indikator for *A. lumbricoides*. En god grund til at vælge *A. galli* frem for *A. suum* er, at førstnævnte i modsætning til både *A. suum* og *A. lumbricoides* ikke har nogen migratorisk fase (bevægelse og forekomst i værtens forskellige organer og væv) i sin livscyklus. Dette er nyttigt, hvis man ønsker at supplere undersøgelser af æggenes overlevelse med undersøgelser af deres infektivitet ved infektionsstudier i høns. Infektionsstudier gennemføres ofte, da ikke alle levende æg nødvendigvis er infektive. I infektionsstudier vil man med brug af *A. galli* undgå et tab af larver da der ikke er nogen migratoriske fase og derved opnå en langt bedre sammenhæng mellem ormebyrde og den indgivne dosis af infektive æg. I dette forsøg blev infektionsstudier dog ikke udført grundet økonomiske og tidsmæssige årsager.

Det er forholdsvis problemfrit at oprense æg direkte fra æglederen fra voksne hunorme udtaget fra grise (*A. suum*) eller fra høns (*A. galli*). En sådan oprensning er at foretrække frem for at bruge æg oprenset fra fækalier, idet førstnævnte metode giver en meget ren opløsning med kun én type æg i. Dette gør den videre identifikation og analyse betydeligt lettere.

Spolormeægs evne til at udvikle sig til det infektive stadium efter udskillelse (med værtens fækalier) kan måles i et embryoneringsassay. I dette assay dyrkes æggene ved 20 °C i 4 uger, hvorefter man undersøger, hvor mange af æggene der er blevet udviklet til det infektive stadium, dvs. en udvikling til et æg indeholdende en infektiv larve.

3 Målinger på fæcesmateriale fra komposttoiletenheder i Dyssekilde, Hjortshøj og Syd- og Østsverige

3.1 INDLEDNING

Kapitel 3 i denne rapport omfatter de resultater af projektet: "Vurdering af forskellige komposttoiletters funktion og evne til at reducere smitstoffer i human afføring", som består af mikrobiologiske og fysisk/kemiske målinger på materiale fra eksisterende komposttoiletssystemer.

Nedenfor er kort beskrevet generelle karakteristika for forskellige typer af komposttoiletssystemer.

I de fleste komposttoiletssystemer indgår følgende komponenter: en toiletstol, en opsamlings-/komposteringsenhed og et ventilationssystem. Mange små systemer har integreret toiletstol og opsamlingsbeholder, mens andre har én eller flere toiletstole tilsluttet en særskilt opsamlingsbeholder.

Ventilationssystemet kan være baseret på selvtræk eller bestå af en el-ventilator. Ventilation og etablering af et konstant undertryk er vigtig for at forhindre lugtgener.

Komposttoiletter kan inddeles i to forskellige typer: batch- og kontinuerlige systemer. Ved batch-komposteringssystemer er der typisk tale om to eller flere beholdere eller kamre, der fyldes og håndteres på skift. En beholder eller et kammer ad gangen fyldes ved brug af toilettet. Der tages ikke materiale ud under fyldningen. Materialet i den fyldte enhed komposteres/efterkomposteres derefter uden tilførsel af yderligere friskt fækalt materiale. I systemer med store beholdere er disse typisk adskilt fra toiletstolen og placeret lodret under gulv. Ved anvendelse af et vandskylende- eller vakuumbkloset kan kompostenheden også placeres et andet sted. Det mest enkle er løsninger med flere affaldsbeholdere, der fyldes på skift.

Kontinuerlige systemer indeholder typisk ét stort kammer med flad eller skrå bund. Frisk materiale tilføres kontinuerligt, og en mindre mængde materiale tages med mellemrum ud fra bunden, første gang to til fem år efter etablering derefter årligt. Materialet bevæger sig ned eller skråt ned over tid, således at der sker en aldersbetinget lagdeling og behandling af materialet i en vandrende zone. Ideelt set bliver der tale om forskellige zoner og en lagdeling af materiale spændende fra frisk til færdigkompostet uden sammenblanding.

Udformning af forskellige komposttoiletssystemer er beskrevet i detaljer andetsteds, se f.eks. Del Porto and Steinfeld (2000), Teknologisk Institut (2001) eller Holtze og Backlund (2003A).

På baggrund af ovenstående blev der udvalgt et antal komposteringssystemer, der skulle indgå i undersøgelsen. Disse inkluderede både batch- og kontinuerlige systemer. For at opnå et bredere spektrum af forskellige typer

kontinuerlige systemer blev et antal systemer beliggende i Syd- og Østsvrige inddraget i undersøgelserne. Desuden blev der målt på to efterkomposteringsenheder af enkel udførelse beliggende i hhv. Hjortshøj og Dyssekilde, hvor materiale fra komposttoiletterne blev viderebehandlet.

På baggrund af udbudsmaterialet fra Miljøstyrelsen blev følgende specifikke formål med undersøgelserne opstillet:

3.1.1 Formål med undersøgelserne

Ved målinger på fungerende komposttoiletter:

- at fastlægge koncentration af indikatororganismer og eventuelt forekommende smitstoffer i materiale fra komposttoiletsystemerne.
- at monitorere fysisk/kemiske parametre herunder temperaturforløb i de samme komposttoiletsystemer.
- at sammenholde forekomst af indikatororganismer og eventuelt forekommende smitstoffer med de fysisk/kemiske forhold i komposttoiletsystemerne.

3.2 MATERIALER OG METODER

3.2.1 Komposttoiletsystemer som indgik i undersøgelsen

Der indgik 13 komposttoiletsystemer samt to efterkomposteringsenheder i undersøgelsen. Toiletsystemerne fordelte sig på fem batchsystemer og otte kontinuerlige étkammersystemer. Der var fire batchsystemer med to beholdere i alternerende drift (anlæg 1-4) og ét med fire kamre ligeledes i alternerende drift (anlæg 5). De kontinuerlige systemer bestod af tre med flad bund (anlæg 6-8) og fem med skrå bund (anlæg 9-13). Efterkomposteringsenhederne (anlæg 14 og 15) bestod af et antal ca. 1 m³ beholdere placeret udendørs. Beholderne var af træ forsynet med låg. Fem af toiletsystemerne samt én af efterkomposteringsenhederne var beliggende i Det økologiske Andelssamfund i Hjortshøj nord for Århus. To toiletsystemer samt den andet efterkomposteringsenhed lå i Det Økologiske landsbysamfund Dyssekilde i Nordsjælland. De resterende anlæg bestående af seks kontinuerlige komposttoiletsystemer var beliggende på forskellige lokaliteter i Syd- og Østsvrige. Data for de forskellige systemer er samlet i tabel 3.1.

3.2.1.1 Anlæg 1-5. Batch-komposteringsystemer

Anlæg 1-5 var alle batch-komposteringsystemer beliggende i Hjortshøj. Anlæg 1-4 var meget enkle såkaldte "affaldsbeholdermodeller" indeholdende uisolerede grønne plastbeholdere på hjul. Anlæg 1-3 bestod hver af to stk. plastbeholdere på 220 l. Anlæg 4 indeholdt to stk. 140 l plastbeholdere. Disse beholdere adskilte sig fra ovennævnte ved at have aftapningsmulighed for væske. Anlæg 6 indeholdt et karussellsystem bestående af et "Snurredass" fra Vera Miljø AS. "Snurredass" er opbygget af en cylindrisk uisoleret enhed i glasfiberarmeret plast bestående af yderdel og inderdel. Den drejelige inderdel består af fire rum på hver 280 l. Overskudsvæske drænes til yderbeholderen, hvorfra den enten fordampes ved opvarmning eller rørføres til et andet sted.

TABEL 3.1. OVERSIGT OVER TOILETSYSTEMER DER INDGIK I PROJEKTET.

Anlæg	Anlæggets geografiske placering	Anlæg: type/model	Beholder: type/størrelse	Toiletstol: Type/materiale
1	Hjortshøj	Batch/affaldsbeholder	uden afløb/ 2 stk. à 220 l	sorterende/porcelæn
2	Hjortshøj	Batch/affaldsbeholder	uden afløb/ 2 stk. à 220 l	sorterende/porcelæn
3	Hjortshøj	Batch/affaldsbeholder	uden afløb/2 stk. à 220 l	sorterende/porcelæn
4	Hjortshøj	Batch/affaldsbeholder "Vera Toga 2000"	med afløb/ 2 stk. à 140 l	sorterende/porcelæn
5	Hjortshøj	Batch/ "Snurredass"	med afløb/ 4 x 280 l	sorterende/porcelæn
6	Dyssekilde	Kontinuerlig med flad bund/ "Øko-komperen"	uisoleret/1 m ³	sorterende/porcelæn
7	Dyssekilde	Kontinuerlig med flad bund/ "Øko-komperen"	uisoleret/1 m ³	sorterende/porcelæn
8	Sydsverige	Kontinuerlig med flad bund/ "Lindén"	isoleret/1,7 m ³	samlende/plast + samlende 0,5 l WC
9	Sydsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "Lindén"	isoleret/2,8 m ³	samlende/plast
10	Østsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "Lindén"	isoleret/2,9 m ³	sorterende/porcelæn
11	Østsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "MP200"	uisoleret/ 1,7 m ³	samlende/plast
12	Østsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "MP200"	uisoleret/ 1,7 m ³	sorterende/plast
13	Østsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "MP200"	Efterisoleret/1,7 m ³	2 stk. sorterende/porcelæn
14	Hjortshøj	Efterkomposteringenhed	uisoleret/ 4 x 1 m ³	-
15	Dyssekilde	Efterkomposteringenhed	uisoleret/ 2 x 1 m ³	-

Placering

Beholdere under fyldning var i anlæg 1, 2, og 4 placeret i uopvarmede yderrum i stueetagen, to af rummene har trappe ned til terræn for videre transport af beholder. Beholder i anlæg 3 under fyldning var placeret i et uopvarmet kælderrum med tilgang fra en stejl trappe. Fyldte beholdere hejses her op med et trissesystem. Karrusellen i anlæg 5 var anbragt i et uopvarmet yderrum i stueplan.



FIG. 3.1. 140 L OPSAMLINGSBEHOLDER I ANLÆG NR. 4

Ventilationssystem

Alle anlæggene havde et tilsluttet ventilationssystem med el-ventilator og luftafgang over ejendommens tag. Anlæggene 1 og 2 havde fælles ventilationssystem med beholdere stående ved siden af hinanden i samme rum. Luftindtaget var i anlæg 1-4 fra toiletet, da beholderen med opslået låg var lukket med en plexiglasplade, der kun havde åbning til nedfaldsrøret. Gennem plexiglaspladen kunne man følge fyldningsgraden og materialets beskaffenhed. Luftindtaget i anlæg 5 med "Snurredass" var såvel fra toiletet som fra kompostbeholderen.

Toiletstol

Alle anlæg havde et "WM-ES" toilet fra Wost-Man-Ecology AB i Sverige. "WM-ES" er et kildesortende porcelænstoilet uden vandskyl, der via et nedfaldsrør (Ø200 mm) er forbundet med opsamlingsbeholderen lodret

under toiletstolen. Urin opsamles i forreste del af toiletkummen og skylles med 1-2 dl vand til en rørinstallation med forbindelse til en opsamlingskum.

Beholderskift/materialeudtagning og efterkompostering

Når den første 220 l/140 l beholder var fyldt blev den koblet fra nedfaldsrøret og sat til opbevaring indtil den næste beholder var fuld. Når dette skete, blev den første beholder tømt ud i efterkomposteringsenheden og derefter igen anbragt under nedfaldsrøret. I "Snurredass"-systemet tømtes det ældste materiale fra det først fyldte kammer over i fælleskomposten, når samtlige fire rum var fyldte.

3.2.1.2 Anlæg 6-8. Kontinuerlige komposteringssystemer med flad bund

Anlæg 6-8 indeholdt kontinuerlige kompostbeholdere med flad bund. Beholderne i anlæg 6-7 var uisolerede beholdere i fiberbeton, "Øko-komperen" med et bruttorumindhold på ca. 1 m³ fra "Fornyset Energi" etableret i Det Økologiske landsbysamfund Dyssekilde ved Torup i Nordsjælland. Udtaget materiale anbragtes i en fælles kompostbeholder. Beholderen i anlæg 8 var en isoleret kompostenhed med et bruttorumindhold på ca. 1,7 m³ i glasfiberarmeret plast fra "Lindén AB" i Sverige installeret i Sydsverige. Materiale tilførtes fra toilet fra oven via et Ø200 mm nedfaldsrør, og en komposteret delmængde blev udtaget ca. en gang årligt fra luge i front nær bunden.

Placering

Beholder 6 var placeret under huset med adgang fra en udvendig skakt, mens beholder 7 var beliggende i et indvendigt kælderrum. Begge beholdere var vanskeligt tilgængelige. Kompostbeholderen i anlæg 8 var anbragt i et fyrrum, hvor der var gode adgangs- og tømningforhold.

Ventilationssystem

Alle tre anlæg havde et ventilationssystem med el-ventilatorer og luftafgang over tag. Luftstrømmen gik fra det rum beholderen befandt sig i samt fra toiletrummet via toilet og nedfaldsrør gennem beholderen og ud.

Toiletstol

Tilsluttede toiletter i anlæg 6-7 var kildesortierende "WM-ES" anbragt i stueplan. Opsamlet urin førtes sammen med gråt spildevand til Dyssekildes plantebaserede rensningsanlæg. Anlæg 8 havde såvel to tilsluttede toiletter som tilslutning fra køkkenlem til nedkastning af organisk køkkenaffald. Toiletstolene var her kildesamlende plastklosetter fra Lindén AB.



FIG. 3.2. LINDEN FLADBUNDSMODEL I ANLÆG NR. 8

3.2.1.3 Anlæg 9-13. Kontinuerlige systemer med skrå bund

Anlæg 9-13 var kontinuerlige komposttoiletsystemer med skrå bund. Nyt materiale tilføres fra toppen, og ældre materiale udtages fra luge i fronten. Beholderne i anlæg 9-10 var isolerede eller efterisolerede kompostenheder i glasfiberarmeret plast fra "Lindén AB" i Sverige med et bruttovolumen på 2,8 m³ og 2,9 m³ installeret i Syd- og Østsverige. Beholderne i anlæg 11-13 var af mærket MP200 fra "Mullis AB" i Sverige og udformet i plader af rustfrit stål. Bruttorumindholdet i de uisolerede beholdere er på 1,7 m³. Beholder 13 var efterisoleret. Fyldning foregår fra et nedfaldsrør med indgang i en forhøjningsdel på toppen af beholderen, mens tømning foregår via en luge i fronten for neden af beholderen.

Placering

Beholderne i 9-10 var anbragt i uopvarmede kældre. Beholder 11 var anbragt i et uopvarmet yderrum i stueetagen, 12 i en uopvarmet garage i underetagen og 13 udendørs under en stor repos. Der var generelt gode adgangs- og tømningsforhold.



FIG. 3.3. LINDÉN SKRÅBUNDSMODEL I ANLÆG 9

Ventilationssystem

Anlæg 9, 10 og 13 var udstyret med el-ventilatorer på 30-40 W og luftafgang over tag. Til anlæg 11 var der en vinddrevet kugleventilator, mens anlæg 12 kun havde en vindfløj. Luft afgik over tag. Luftindtaget var dels fra det rum beholderen befandt sig i og dels fra toiletrummet via toilet og nedfaldsrør.

Toiletstol

Anlæg 9 havde to kildesamlende tørklosetter i porcelæn fra "Lindén AB", begge anbragt i stueplan på henholdsvis toiletrum og badeværelse adskilt med skillevæg og med hvert deres nedfaldsrør til kompostbeholderen i kælderen. I anlæg 10 var et kildesamlende tørkloset blevet erstattet med et kildesortierende "WM-ES". Til anlæg 11 hørte et "Mullis" kildesamlende tørkloset i plastik anbragt på 1. sal. Anlæg 12 havde et "Mullis" kildesortierende tørkloset i plast anbragt i overetagen, men med tilførsel af urin til kompostbeholderen via en monteret perforeret fordelingsplade i rustfrit stål anbragt over materialet i kompostbeholderen. Anlæg 13 havde to kildesortierende porcelænstoiletter WM-ES.

Varmelegeme

Beholder 9 og 10 var udstyret med varmelegeme/frostvagt, der kun anvendtes i begrænset omfang. Beholder 11 havde et varmelegeme på 600 W, der brugtes om vinteren, mens beholder nr. 12 havde en frostvagt, der aktiveredes, hvis temperaturen i beholderen skulle falde til 0 °C.

3.2.1.4 Anlæg 14 og 15. Efterkomposteringsenheder

Anlæg 14 og 15 var efterkomposteringsenheder placeret på fællesarealer hhv. i Hjortshøj og Dyssekilde. Enhederne bestod af uisolerede beholdere af træ forsynet med låg. I Hjortshøj fandtes to beholdere hver inddelt i to rum på ca. 1 m³. Der fandtes én beholder med to rum à ca. 1 m³ i Dyssekilde.

3.2.2 Mikrobiologisk måleprogram

Med udgangspunkt i forekomsten af indikatororganismer og smitstoffer i menneskets fækalier og de tidligere omtalte egnede indikatorer til undersøgelse for sådanne forekomster, blev følgende mikrobiologiske parametre valgt efter aftale med Miljøstyrelsen (tabel 3.2).

Med undtagelse af analyserne for parasitæg, blev alle de andre analyser foretaget ved laboratoriet ROVESTA Miljø I/S, Næstved (tabel 3.2). Laboratoriet indsamlede, transporterede og analyserede toiletkompostprøvemateriale ifølge gældende og af Miljøstyrelsen godkendte standarder. Analyser for parasitæg blev udført ved Institut for Veterinær Mikrobiologi, KVL og inkluderede æg fra parasitiske orme samt mideæg.

Der blev i alt indsamlet 31 prøver ved fire prøvetagningstilfælde i perioden 26/3 2001 til 28/6 2002.

TABEL 3.2. ANALYSEPARAMETRE FOR FÆKALT MATERIALE INDSAMLET I TOILETBEHOLDERE FRA PRIVATE HUSSTANDE I HJORTSHØJ, DYSSEKILDE OG SVERIGE. DE ANVENDTE METODER ER ANGVET OG REFERERET I LITTERATURLISTEN.

Parametre	Metode
Termotolerante coliforme bakterier	NMKL 125/3
Fækale coliforme bakterier ¹	NMKL 125/3
Enterokokker	NMKL 68/2
<i>Clostridium perfringens</i>	DS 2256/1
<i>Salmonella</i> spp.	DS 266/R.1
<i>Listeria</i> spp.	NMKL 136/3
<i>Campylobacter</i> spp.	NMKL 119
Totalkim ved 36 °C	DS/EN ISO 6222
Totalkim ved 22 °C	DS/EN ISO 6222
Kim ved 37 °C på blodagar	VFDCK. 6.3.10
Hæmolytiske kim ved 37 °C	VFDCK. 6.3.10
Parasitæg	Sukker-salt flotation ²

¹Det skal bemærkes, at der ved en fejl blev analyseret for såvel termotolerante coliforme bakterier som fækale coliforme bakterier ved en enkelt prøveudtagning fra husstande i Dyssekilde og Hjortshøj. Der blev kun analyseret for termotolerante coliforme bakterier i de efterfølgende prøver.

²Analyse udført ved Institut for Veterinær Mikrobiologi, KVL. Metoden er beskrevet i det følgende.

3.2.2.1 Analyse for parasitæg i kompostmateriale

Der anvendtes en analysemetode beregnet til jordprøver, hvor i alt 5 g materiale blev analyseret. Et centrifugeglas blev fyldt op til 50 ml med 0,5 M NaOH og prøverne henstod i 16-18 timer. Derefter blev prøverne centrifugeret, supernatanten borthældt og det tilbageblevne materiale (pellet) blev resuspenderet i en sukker-salt flotationsvæske. Centrifugering blev gentaget og supernatanten med eventuelle parasitæg opsamlet. Der blev atter tilsat sukker-salt flotationsvæske og førnævnte behandling blev gentaget. Parasitæg blev derefter opsamlet ved filtrering gennem en 20 µm sigte, som

derefter blev skyllet med postevand med efterfølgende opkoncentrering ved centrifugering. Prøven blev til sidst resuspenderet i sukkersaltflotationsvæske og talt i et tællekammer (McMaster kammer).

3.2.3 Fysisk/kemisk måleprogram

Udover de mikrobiologiske målinger blev der foretaget en række fysisk/kemiske målinger på samtlige prøver af materiale fra komposttoiletterne (tabel 3.3). Tørstofindhold, pH samt temperaturforhold i materialet blev målt, da det antogs, at disse parametre kunne have væsentlig direkte betydning for overlevelse af indikatororganismer og smitstoffer. Kulstof- og kvælstofindhold blev målt med henblik på at evaluere selve komposteringsprocessen, idet C/N-forholdet i materialet spiller en vigtig rolle for at sikre en velfungerende komposteringsproces (se f.eks. Barrington et al., 2002).

TABEL 3.3. FYSISK/KEMISK MÅLEPROGRAM

Kemiske målinger	Fysiske målinger
tørstofindhold (Dansk Standard 204)	temperatur
kulstofindhold (Dansk Standard 204)	
kvælstofindhold (Dansk Standard 230 og 242)	
pH (Dansk Standard 287)	

TABEL 3.4. TEMPERATURMÅLEPROGRAM

Anlæg	Anlæggets geografiske placering	Anlæg: type/model	Måling af temperaturprofiler	Installering af temperaturdatalogger
1	Hjortshøj	Batch/affaldsbeholder	26/3 2001	2 stk. dataloggere i beholder 28/6 2002
2	Hjortshøj	Batch/affaldsbeholder	26/3 2001	2 stk. dataloggere i beholder 28/6 2002.
3	Hjortshøj	Batch/affaldsbeholder	26/3 2001	2 stk. dataloggere i beholder samt 1 stk. i teknikrum 28/6 2002.
4	Hjortshøj	Batch/affaldsbeholder "Vera Toga 2000"	26/3 2001	2 stk. dataloggere i beholder samt 1 stk. i teknikrum ca. 4/7 2002
5	Hjortshøj	Batch/ "Snurrefass"	26/3 2001	-
6	Dyssekilde	Kontinuerlig med flad bund/ "Øko-komperen"	26/3 2001	-
7	Dyssekilde	Kontinuerlig med flad bund/ "Øko-komperen"	26/3 2001	-
8	Sydsverige	Kontinuerlig med flad bund/ "Lindén"	1/10 2001	-
9	Sydsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "Lindén"	1/10 2001	-
10	Østsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "Lindén"	2/10 2001	-
11	Østsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "MP200"	2/10 2001	-
12	Østsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "MP200"	2/10 2001	-
13	Østsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "MP200"	2/10 2001	-
14	Hjortshøj	Efterkomposteringsenhed	26/3 2001	4 stk. dataloggere i 2 rum samt 1 stk. i placeret i skygge nær beholder 28/6 2002. 1 stk. fra anlæg 4 ca. 28/12 2002
15	Dyssekilde	Efterkomposteringsenhed	26/3 2001	-

De kemiske målinger blev udført af ROVESTA Miljø A/S.

I forbindelse med udtagning af prøvemateriale blev der ved én lejlighed foretaget målinger af temperaturprofiler i de respektive komposttoiletsystemers opbevaringsbeholdere. Målingerne blev udført vha. et 1 m langt metalspyd med en temperaturføler i spidsen. Længerevarende temperaturforløb i fæcesmaterialet blev monitoreret med 3 timers intervaller vha. temperaturdataloggere (TinyTalk II, Gemini Dataloggers, UK), som blev installeret i et antal opbevaringsbeholdere og målte temperaturer i perioden 28/6 2002 til 18/2 2003. For at hindre fugtindtrængning blev dataloggerne indpakket i poser af lamineret plast fra P-B Miljø A/S, Bjerringbro. I tabel 3.4. er temperaturmåleprogrammet angivet.

Der blev desuden indhentet oplysninger hos brugerne af de forskellige komposttoiletsystemer om materialets alder ved prøvetagningstidspunktet samt eventuel anvendelse af tilslagsmaterialer.

3.3 RESULTATER

3.3.1 Mikrobiologiske og kemiske målinger

3.3.1.1 Private husstande i Dyssekilde og Hjortshøj. Prøver indsamlet 26/3 2001 Resultaterne af de mikrobiologiske fund i prøver udtaget fra fækalieopsamlingsbeholdere i Dyssekilde og Hjortshøj 26/3 2001 er vist i tabel 3.5. Tabellen indeholder også oplysninger om lagringstid og kemiske målinger.

Der blev generelt påvist antal termotolerante coliforme bakterier med store variationer. Prøvemateriale fra "Økokomper"-toiletter i Dyssekilde, samt de tre beholdere fra "Snurreddas"-toiletter i Hjortshøj, indeholdt få eller ingen af denne fækale indikator, mens der påvistes mellem 590-160.000 pr. g fækalier af de to indikatorbakterier i de resterende opbevaringsbeholdere. Det laveste antal (590) blev påvist i en efterkomposteringsbeholder, som var oplyst at have efterkomposteret i minimum 2 år.

Antal påviste enterokokker korrelerede i rimeligt omfang med antallet af termotolerante coliforme bakterier, igen med store variationer i antal enterokokker. Fækalieopsamlingsbeholdere i Hjortshøj indeholdt ofte et stort antal enterokokker, f.eks. > 200.000 celleformende enheder (cfu) pr. g. Det skal bemærkes, at der i efterkomposteringsbeholderen i Hjortshøj, som skulle havde komposteret i minimum 2 år, stadig kunne påvises enterokokker (20.000 cfu/g). Det er ukendt om dette relativt store antal enterokokker skyldes fækalforurening efter kompostering eller en eventuel eftervækst af enterokokker.

Sporer af Clostridium perfringens blev påvist i alle prøver i antal mellem 10-40.000 cfu/g fækalier. Da sporer af Cl. perfringens er langt mere hårdføre og overlever bedre uden for mave-tarmmiljøet, var der som forventet ringe korrelation mellem antal Cl. perfringens sporer og antallet af de andre indikatorer. I prøver med et Cl. perfringens sporeantal mellem 3.000-40.000 cfu/g blev der eksempelvis ikke, eller i yderst ringe antal, påvist termotolerante coliforme bakterier og enterokokker.

TABEL 3.5. MIKROBIOLOGISKE OG FYSISK/KEMISKE MÅLERESULTATER FRA SAMTLIGE FÆCESPRØVER, DER INDGIK I PROJEKTET.

Prøve-tagnings-tidspunkt	Anlæg	Type ¹	Termo-tolerante Coliforme	Enterokokker	<i>Cl. perfringens</i>	Kim på blod-agar	Hæmolytiske kim	Kim 22°C	Kim 37°C	Alder	pH	Tørstof (%)	C:N-forhold
mar. 2001	1	batch	20.000	2.600	27.000				50 mio.	>2 mdr		36,4	34
dec. 2001	1 ²	batch	560	1.500	17.000	39 mio.	400.000	43 mio.	40 mio.	>7 mdr.	7,9	33,4	21
mar. 2001	2	batch	160.000	280.000	10				>300 mio.	>14 mdr.		32,5	28
dec. 2001	2	batch	<10	<100	<10	94 mio.	240.000	34 mio.	72 mio.	>5 mdr	7,3	44,3	24
mar. 2001	3	batch	2.000	540.000	5.000				9,8 mio.	>8 mdr.		21,9	18
dec. 2001	3	batch	50	710.000	3.000	59 mio.	320.000	240 mio.	36 mio.	>7 mdr.	8,2	25,7	17
dec. 2001	3	batch	8.900	33.000	1.200	6,1 mio.	100.000	>200 mio.	13 mio.	>21 mdr.	8,4	27,3	19
juni 2002	3	batch	70	1,4 mio.	5.000	36 mio.	10.000	>200 mio.	130 mio.	>7 mdr.	8	34,3	10
mar. 2001	4	batch	110.000	10 mio.	9.000				46 mio.	friskt		27,4	17
dec. 2001	4	batch	1.900	<10.000	9.000	280 mio.	1,1 mio.	85 mio.	86 mio.	>1 mdr	8,4	42,4	19
mar. 2001	5 rum 1	batch	80	7.500	4.000				74 mio.	>1 år		27,7	22
dec. 2001	5 rum 1 ²	batch	<10	<100	1.200	2,9 mio.	30.000	1 mio.	3,5 mio.	>21 mdr.	6,7	48,6	25
mar. 2001	5 rum 2	batch	<10	<100	18.000				14 mio.	>1 år		26,8	20
dec. 2001	5 rum 2 ²	batch	10	<100	2.000	22 mio.	21.000	10 mio.	6,2 mio.	>21 mdr.	7,2	42,4	21
mar. 2001	5 rum 3	batch	<10	<100	12.000				5,6 mio.	>1 år		33,2	25
dec. 2001	5 rum 3 ²	batch	<10	<100	5.000	13 mio.	40.000	8,1 mio.	2,6 mio.	>21 mdr.	7,4	40,5	30
juni 2002	5 rum ?	batch	33.000	32.000	4.000	30 mio.	12 mio.	150 mio.	140 mio.	ukendt	7,3	86,2	20
mar. 2001	6	kont.	<10	200	7.000				57 mio.	ukendt		24,2	20
dec. 2001	6	kont.	100	1.400	13.000	14 mio.	500.000	19 mio.	6,5 mio.	ukendt	8,3	24,9	21
mar. 2001	7	kont.	70	<100	9.000				4,1 mio.	ukendt		14,7	29
dec. 2001	7	kont.	19.000	8.000	8.000	32 mio.	160.000	19 mio.	41 mio.	ældst 2 mdr.	7,6	22,8	25
okt. 2001	8	kont.	<10	<100	90	3,7 mio.	700.000	50 mio.	26 mio.	ældst 1996	5,6	24,5	23
okt. 2001	9	kont.	<10	<100	<10	46.000	4.000	1,3 mio.	920.000	ældst 1996	5,5	29,1	53
okt. 2001	10	kont.	<10	<100	<10	1.700	400	50.000	12.000	ældst 2000	3,9	21,9	33
okt. 2001	11	kont.	<10	<100	<10	<100	<100	2.500	2.200	ældst 1999.	5,8	76,3	9
okt. 2001	12	kont.	<10	<100	<10	4.800	800	7,9 mio.	30.000	ældst 1998	4,4	26,6	28
okt. 2001	13 ³	kont.	280	19.000	130.000	330.000	190.000	54 mio.	1,3 mio.	ældst 1996	8,7	17,6	18
mar. 2001	14	fælles	590	20.000	5.000				>300 mio.	>2-8 år		38,7	23
dec. 2001	14	fælles	<10	<100	100	14 mio.	4.000	11 mio.	14 mio.	>2-9 år	7	50	20
mar. 2001	15	fælles	<10	500	3.000				5,4 mio.	ældst 4-5 år		49,2	28
dec. 2001	15	fælles	<10	<100	9.000	26 mio.	60.000	9,5 mio.	7,5 mio.	ukendt	6,9	34,8	25

¹ANLÆG 1-4 BESTOD AF AFFALDSBEHOLDERE, ANLÆG 5 VAR ET 'SNURREDASS' MED FIRE RUM; 6-13 VAR SYSTEMER SOM FYLDTES KONTINUERLIGT OG 14 OG 15 VAR FÆLLESKOMPOSTERINGSBEHOLDERE

²ANGIVER, AT DER VAR TALE OM PRØVETAGNING FRA SAMME FÆCESMATERIALE SOM VED DEN FOREGÅENDE PRØVETAGNING

³BRUGERNE OPLYSTE, AT GAMMELT OG NYT FÆCESMATERIALE I BEHOLDEREN BLEV BLANDET SAMMEN KORT FØR PRØVETAGNINGEN

Der blev påvist store antal og store variationer i 36 °C kimtal i alle prøver (fra 4 mio. til mere end 300 mio. cfu/g) med det højeste antal påvist i efterkomposteringsbeholderen i Hjortshøj. Det er sandsynligt, at disse store kimtal er udtryk for en betydelig mikrobiel vækst i efterkomposteringsbeholderene. Pga. disse høje kimtal blev det besluttet, at der i de efterfølgende undersøgelser skulle inkluderes en analyse for hæmolytiske 37 °C kimtal. Hæmolytiske kim er en bedre generel indikator for forekomst og eventuel vækst af potentielt sygdomsfremkaldende bakterier for mennesker.

De egentlige sygdomsfremkaldende bakterier, Salmonella og Listeria, blev ikke påvist i noget prøvemateriale (25 g analysemængder). Grundet fejl i gennemførelsen af analyserne for Campylobacter er der ikke angivet resultater for denne parameter. Det vides derfor ikke, om dette smitstof forekom i det analyserede prøvemateriale.

I parasitundersøgelserne blev der undersøgt for æg af Ascaris spp., Trichuris spp. og andre æg (herunder bændelormæg). Der fandtes ingen parasitæg i nogen af prøverne, hvoraf flere dog indeholdt diverse mideæg.

3.3.1.2 Private husstande i Syd- og Østsvrige. Prøver indsamlet 1 og 2/10 2001. Resultaterne af de mikrobiologiske fund i prøver udtaget i Sverige d. 1. og 2. oktober 2001 er vist i tabel 3.5. Tabellen indeholder også oplysninger om omtrentlig lagringstid og kemiske målinger.

Der blev kun påvist termotolerante coliforme bakterier og enterokokker i 1 ud af 6 komposterede fækalioprøver. Den positive prøve indholdt 280 termotolerante coliforme bakterier/g og 19.000 enterokokker/g fækalier. Prøven bestod hovedsageligt af relativt friskt fækalt materiale. De manglende fund af indikatorerne i prøver af relativt gammelt fækalt materiale indikerer en ringe overlevelse og eftervækst af de to indikatorer.

Der fandtes meget store variationer i antal hæmolytiske kim ved 37 °C og de andre typer kimtal ved 22 °C og 36 °C. Generelt var kimtallene ved 22 °C højere end ved 36 °C. Det er sandsynligt, at disse høje kimtal er udtryk for en betydelig mikrobiel vækst i efterkomposteringsbeholderene.

Sporer af Cl. perfringens blev påvist i 2 ud af 6 prøver, hvoraf én prøve indeholdt 130.000 sporer/g. Denne prøve indeholdt også termotolerante coliforme bakterier og enterokokker. Sammenlignet med resultaterne fra Hjortshøj, hvor der blev påvist Cl. perfringens i alle prøver, er det bemærkelsesværdigt, at der i 4 ud af 6 prøver ikke kunne påvises Cl. perfringens sporer. Dette kan ikke alene skyldes meget gammelt kompostmateriale fra prøverne indsamlet i Sverige, da flere prøver fra Hjortshøj også var meget gamle (eksempelvis > 2 år). Dette kan eventuelt skyldes en forurening fra det eksterne miljø, samt at de opsamlede fækalier i de svenske toiletsystemer var udsat for relativt øget udtørring (lav vandaktivitet) og ilttilførsel (eksponering for atmosfærisk ilt).

De egentlige sygdomsfremkaldende bakterier, Salmonella, Listeria og Campylobacter spp., blev ikke påvist i noget prøvemateriale (25 g analysemængder).

I parasitundersøgelserne blev der undersøgt for æg af *Ascaris* spp., *Trichuris* spp. og andre æg. Der fandtes 3 bændelormæg (*Taenia* spp.) i en enkelt prøve udtaget fra anlæg 13. Arten kunne ikke bestemmes, og det kan derfor ikke udelukkes at de fundne æg stammer fra menneskefækalier (*T. saginata*).

3.3.1.3 Private husstande i Dyssekilde og Hjortshøj. Prøver indsamlet 10/12 2001.

Resultaterne af de mikrobiologiske fund i prøver udtaget i Dyssekilde og Hjortshøj d. 10. december 2001 er vist i tabel 3.5. Prøveudtagning fra det samme fækale materiale som ved den foregående prøvetagning er markeret med ² i tabel 3.5.

Antal påviste termotolerante coliforme bakterier var generelt faldet sammenlignet med undersøgelserne foretaget i 26/3 2001. Det skal dog bemærkes, at det kun var muligt at indsamle prøver fra nogle få af de samme beholdere, hvorfra der blev indsamlet prøver 26/3 2001.

Antal enterokokker i prøver indsamlet 10/12 2001 udviste stor variation mellem prøver. Det er endvidere uklart, i hvor stor udstrækning der er sket en reduktion i antal enterokokker fra marts til december måned, og i hvilken udstrækning der eventuelt kan være sket en eftervækst af enterokokker.

Alle prøver indeholdt et stort antal kim optalt på blodagar (fra 2,9-94 mio. cfu/g). Alle prøver indholdt > 20.000 hæmolytiske kim/g fækaliemateriale. Der fandtes store variationer i antallet af hæmolytiske kim mellem de enkelte prøver. Der var tilsyneladende ingen sammenhæng mellem prøvernes alder og deres indhold af hæmolytiske kim. Det ser således ud til, at hæmolytiske kim kan vokse i komposterede fækalier.

Der blev påvist store antal og store variationer i kimtal ved 22 °C og 36 °C (1-240 mio. cfu/g). Det er sandsynligt, at disse store kimtal er udtryk for en betydelig mikrobiel vækst.

Sporer af *Cl. perfringens* blev påvist i alle prøver med en enkelt undtagelse (prøve fra anlæg 2). Antallet af sporer var reduceret sammenlignet med resultaterne af undersøgelserne foretaget i marts 2001. Som ved undersøgelserne i marts 2001 var der også 10/12 2001 ringe korrelation mellem antal *Cl. perfringens* og antallet af de andre indikatorbakterier.

De egentlige sygdomsfremkaldende bakterier, *Salmonella* spp., *Campylobacter* spp. og *Listeria*, blev ikke påvist i noget prøvemateriale (25 g analysemengder).

I parasitundersøgelserne blev der undersøgt for æg af *Ascaris* spp., *Trichuris* spp. og andre æg. Der fandtes 17 stk. (prøve fra anlæg 6), 9 stk. (prøve fra anlæg 15), og 13 stk. (prøve fra anlæg 2) bændelormæg (*Taenia* spp.). Arterne kunne ikke bestemmes, og det kan derfor ikke udelukkes at de fundne æg stammer fra menneskefækalier (*T. saginata*).

3.3.2 Temperaturmålinger

3.3.2.1 Temperaturmålinger i Danmark og Sverige hhv. d. 26/3 2001 og 1-2/10 2002

Fig. 3.4 til 3.8 viser temperaturfordelingen i kompostmaterialet i en udvalgt del af de komposteringsenheder, som indgik i undersøgelsen. Resultaterne af

de resterende målinger, som ikke er vist i dette kapitel, kan findes i appendiks A. Temperaturerne blev målt vha. et 1 m langt spyd med en temperaturføler i spidsen. Målepunkterne er angivet på figurerne som sorte firkanter med den målte temperatur angivet i umiddelbar nærhed. Desuden er der trukket hjælpelinjer fra målepunkterne for at fremme visualiseringen af punkternes relative placering i kompostmatricen.

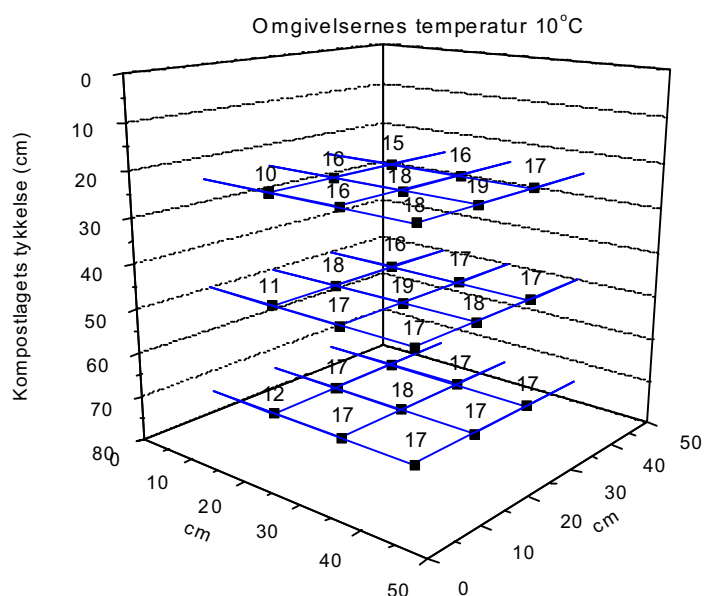


FIG. 3.4. TEMPERATURER I 220 L AFFALDSBEHOLDER PLACERET I TEKNIKRUM (ANLÆG 2).

Som det ses af fig. 3.4 målt temperaturen i materialet op til 9°C højere end omgivelsernes. Der var således muligvis tegn på, at en svag komposteringsproces fandt sted, i hvert fald i dele af beholderen, som også indeholdt det friskeste materiale af samtlige 220 l beholdere, der indgik i undersøgelsen.

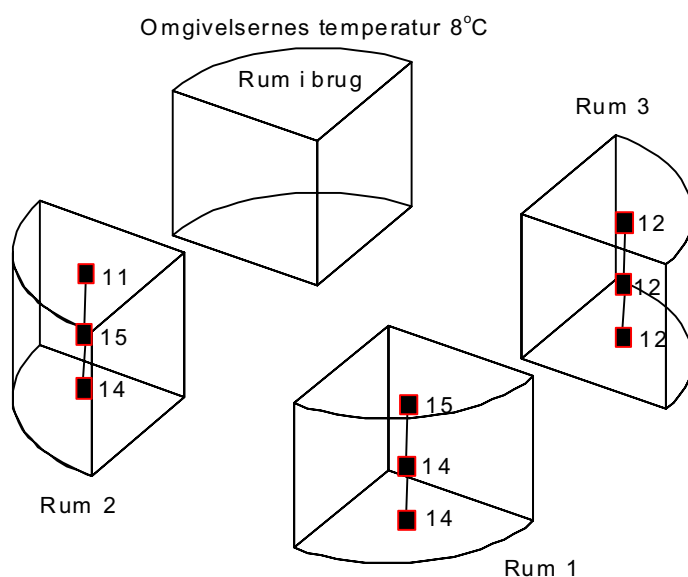


FIG. 3.5. "SNURREDASS" PLACERET I TEKNIKRUM (ANLÆG 5). DE FIRE RUM VIST "EKSPLODERET".

"Snurredasset" i fig. 3.5. havde en gennemsnitstemperatur på 13 °C, hvilket lå 5 °C over omgivelsernes temperatur.

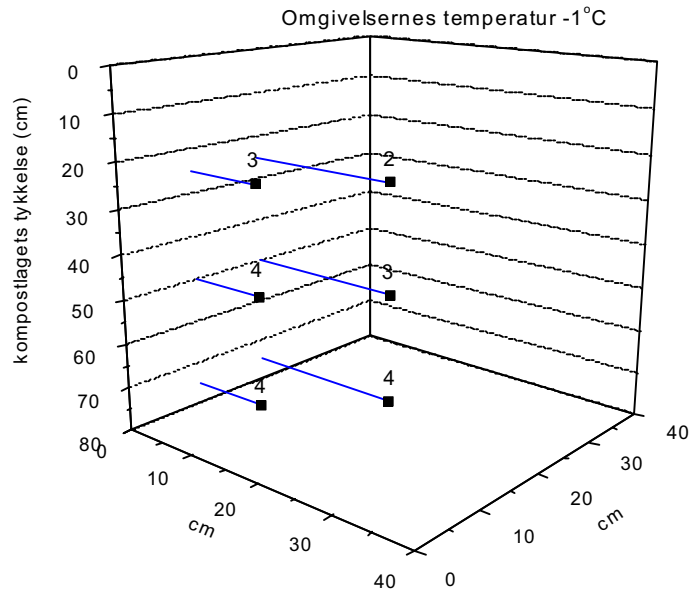


FIG. 3.6. TEMPERATURER I 140 L AFFALDSBEHOLDER PLACERET UDENDØRS (ANLÆG 4).

140 l affaldsbeholderen vist i fig. 3.6, som var anbragt udendørs på efterkomposteringsplads, udviste lidt højere temperaturer end omgivelserne – 2-4 °C i forhold til –1 °C – uden at dette dog kan tilskrives kompostaktivitet, idet beholderen var flyttet fra varmere omgivelser indendørs umiddelbart inden målingerne blev foretaget.

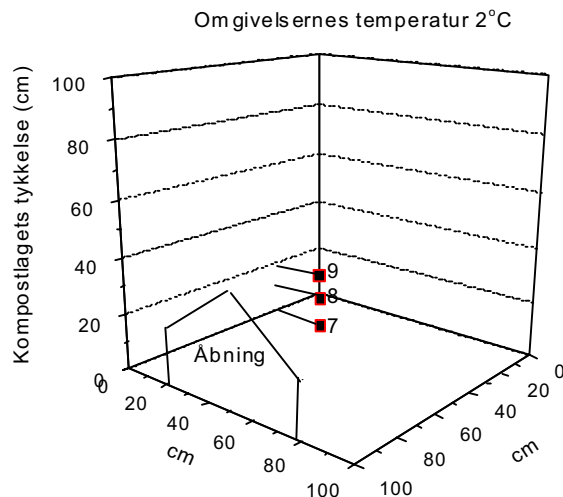


FIG. 3.7. TEMPERATURER I "ØKO-KOMPEREN" PLACERET I KÆLDER (ANLÆG 6).

"Øko-komperen" i fig. 3.7 var tilsyneladende blevet tømt for det ældste materiale for ganske nylig, idet der ikke var materiale tilbage i bunden af

kompostbeholderen. Der lå et tyndt lag af ældre kompost langs siderne af beholderne, hvor temperaturmålingerne samt prøvetagningen derfor fandt sted.

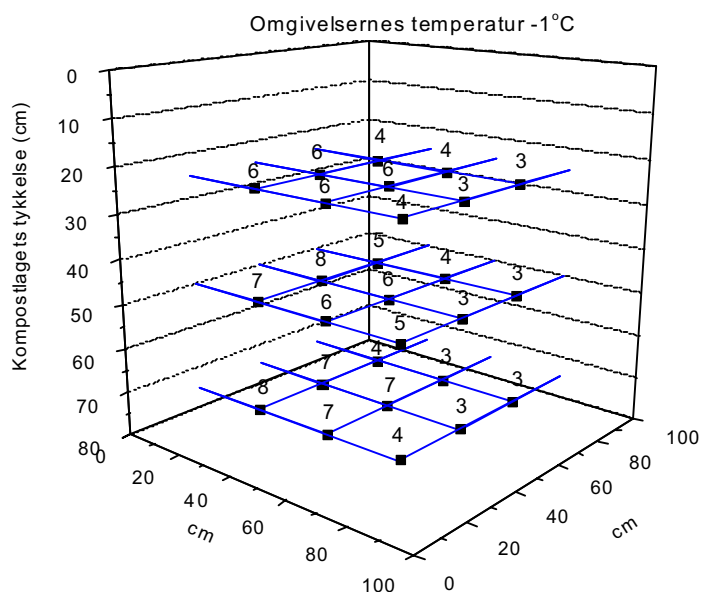


FIG. 3.8. TEMPERATURER I 1000 L FÆLLESBEHOLDER PÅ EFTERKOMPOSTERINGSPLADS I HJORTSHØJ (ANLÆG 14).

TABEL 3.6. TEMPERATURER MÅLT I KOMPOSTERINGSENHEDER I DANMARK OG SVERIGE HHV. 26/3 2001 OG 1-2/10 2002

Anlæg	Anlæggets geografiske placering	Anlæg: type/model	Temperatur (°C)		
			Maks.-min.-værdi	Gennemsnit	Omgivelsernes
1	Hjortshøj	Batch/affaldsbeholder	21-15	17	10
2	Hjortshøj	Batch/affaldsbeholder	19-10	17	10
3	Hjortshøj	Batch/affaldsbeholder	7-5	6	7
4	Hjortshøj	Batch/affaldsbeholder	4-2	3	-1
5	Hjortshøj	Batch/ "Snurrefass"	15-11	13	8
6	Dyssekilde	Kontinuerlig med flad bund/ "Øko-komperen"	9-7	8	2
7	Dyssekilde	Kontinuerlig med flad bund/ "Øko-komperen"	12-11	11	15
8	Sydsverige	Kontinuerlig med flad bund/ "Lindén"	27-18	24	20
9	Sydsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "Lindén"	24-18	21	15
10	Østsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "Lindén"	20-17	19	17
11	Østsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "MP200"	23-20	22	-
12	Østsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "MP200"	15-13	14	15
13	Østsverige	Kontinuerlig med skrå bund/ "MP200"	16-12	14	14
14	Hjortshøj	Efterkomposteringsenhed	8-3	5	-1
15	Dyssekilde	Efterkomposteringsenhed	1--1	0	3

Temperaturen i fællesbeholderen på efterkomposteringspladsen (fig. 3.8) var i gennemsnit 5 °C, hvilket var højere end omgivelsernes temperatur på -1 °C,

uden at dette dog kan tilskrives andet end kompostens isolerende evne, da kompostmaterialet var mindst to år gammelt ved måletidspunktet..

Resultaterne af temperaturmålingerne er sammenfattet i tabel 3.6. som viser gennemsnitstemperaturer, maksimums- og minimumstemperaturer samt omgivelsernes temperatur i samtlige komposteringsenheder, hvori der blev målt temperaturer hhv. d. 26/3 2001 og d. 1-2/10 2002.

Som det ses af tabellen var gennemsnitstemperaturen i materialet i de forskellige komposteringsenheder sjældent mere end nogle få grader højere end omgivelsernes temperatur, og der kunne således ikke påvises egentlige termofile komposteringsforhold i de beholdere, som blev undersøgt ved denne ene lejlighed. I én 220 l beholder blev der målt maksimumtemperaturer, der lå 11 °C over omgivelsernes temperatur, som kunne være resultat af en begyndende eller igangværende komposteringsproces i materialet. Det blev derfor besluttet at intensivere monitoringen af temperaturforløb ved installation af permanente temperaturdataloggere i et antal udvalgte komposteringsenheder i Hjortshøj.

3.3.2.2 Kontinuerlige temperaturmålinger i kompostenheder i Hjortshøj i perioden 28/6 2002 til 13/2 2003.

Nedenfor er angivet temperaturforløb i tre komposteringsenheder, som var repræsentative for flertallet af de undersøgte systemer. Temperaturer i komposteringsbeholdere blev målt hver 3 time i en periode fra sommer 2002 til vinteren 2003, i alt ca. 8 måneder. Der blev derudover målt temperaturer i et antal beholdere, som ikke er vist nedenfor; disse data er samlet i bilag A.

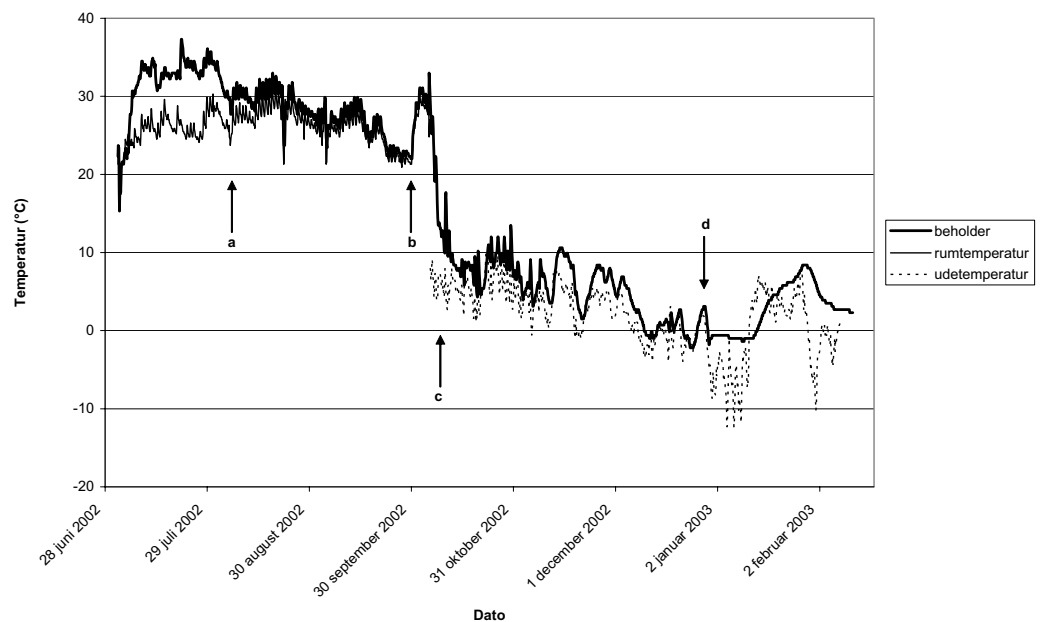


FIG. 3.9. TEMPERATURFORLØB I 140 L KOMPOSTBEHOLDERE (ANLÆG 4). TEMPERATUREN MÅLTES I CENTRUM AF BEHOLDEREN. PILEN MÆRKET "A" ANGIVER TIDSPUNKT, HVOR BEHOLDEREN BLEV TAGET FRA FALDSTAMMEN OG PLACERET I TEKNIKRUM. VED "B" BLEV TEMPERATURPROBEN FLYTTET OVER I NY BEHOLDER UNDER FALDSTAMMEN. PGA. FLUER I MATERIALET BLEV DENNE BEHOLDER TAGET FRA FALDSTAMMEN OG PLACERET UDENDØRS VED "C". PILEN VED "D" ANGIVER TIDSPUNKT, HVOR BEHOLDEREN TØMTES OVER I FÆLLESKOMPOSTERINGSBEHOLDER.

Fig. 3.9 viser temperaturen i affaldsbeholdere, som gennemgik et forløb typisk for komposttoiletsystemer i Hjortshøj: Beholderen stod først under faldstammen i ca. halvanden måned. I denne periode var temperaturen i beholderen højere end omgivelserne, uden at der dog var tale om egentlige

termofile forhold. Derefter blev beholderen taget fra faldstammen og placeret i teknikrum i ca. 2 måneder. I denne periode faldt temperaturen i beholderen og fulgte omgivelsernes temperatur tæt. På et tidspunkt blev temperaturdataloggeren flyttet over i en ny beholder af samme type – denne beholder nåede dog ikke at fyldes helt, idet der gik fluer i materialet, og beholderen derfor blev anbragt udendørs. I en periode på ca. 3 måneder fulgte materialets temperatur tæt udetemperaturen. Til slut tømtes beholderen over i en fælleskomposteringsbeholder, hvor den større mængde materiale tilsyneladende dæmpede temperatursvingninger i forhold til omgivelsernes.

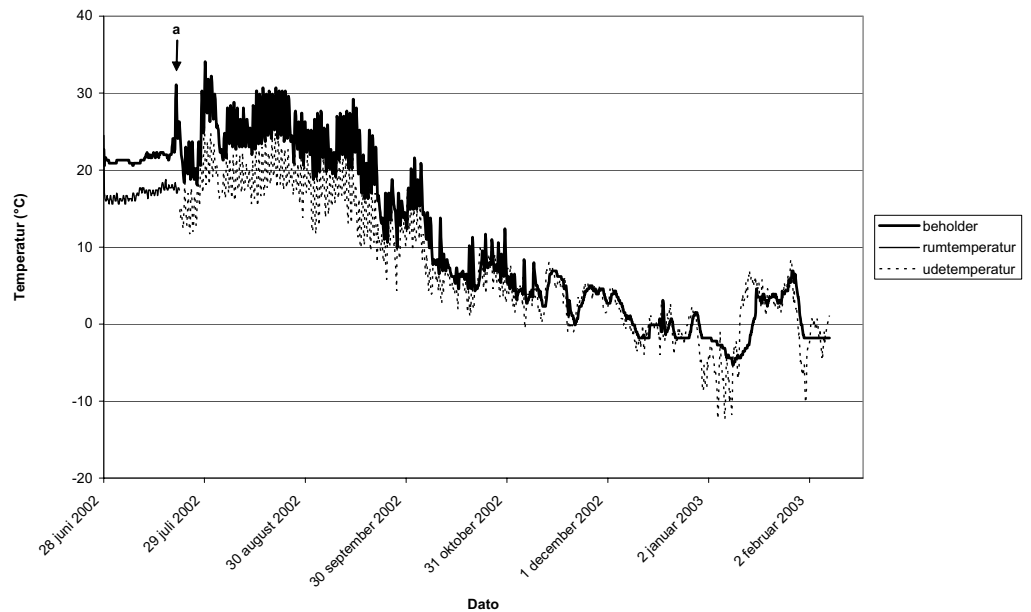


FIG. 3.10. TEMPERATURFORLØB I 220 L KOMPOSTBEHOLDER (ANLÆG 3). TEMPERATUREN MÅLTES CENTRALT I BEHOLDEREN CA. 60 CM UNDER MATERIALETS OVERFLADE. PILLEN VED "A" ANGIVER TIDSPUNKT, HVOR BEHOLDER BLEV TAGET FRA FALDSTAMME OG ANBRAGT UDENDØRS.

Fig. 3.10 beskriver ligeledes temperaturforløbet i en komposteringstoilet af affaldsbeholdertypen, men der var tale om en noget større beholder på 220 l. Det samme mønster ses her som for den mindre 140 l beholder; mens beholderen var under fyldning registreredes noget højere temperatur i materialet end omgivelsernes. Da beholderen efterfølgende blev placeret udendørs, fulgte temperatursvingningerne i materialet nøje udetemperaturen dog med større forskelle i sommerperioden, hvilket skyldes solopvarmning af beholderen (udetemperaturen blev målt i skyggen).

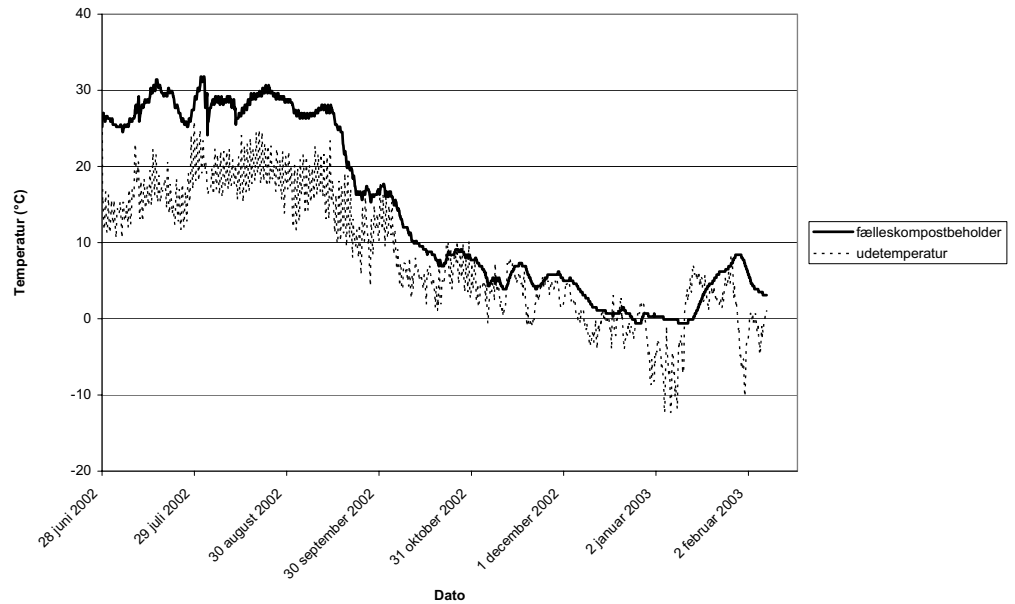


FIG. 3.11. TEMPERATURFORLØB I FÆLLESKOMPOSTBEHOLDER (ANLÆG 14). TEMPERATUREN MÅLTES CENTRALT I BEHOLDEREN 30 CM UNDER MATERIALETS OVERFLADE.

Den sidste figur (fig. 3.11) viser temperaturer i en fælleskomposteringsbeholder. Beholderen blev ikke tilført materiale under måleperioden. Det lykkedes således ikke at dokumentere en eventuel effekt af at tilføre friskt materiale mht. at opnå egentlige termofile komposteringsforhold. Temperatursvingningerne i materialet fulgte stort set omgivelsernes, dog med betydelig mindre daglige udsving end i affaldsbeholderne, hvilket sandsynligvis skyldes den større mængde materiale i fælleskomposteringsbeholderen.

3.4 DELKONKLUSIONER

- Der blev ikke påvist egentlige termofile temperaturforhold i fækaliopsamlingsbeholderne, hvilket indikerer at der ikke – eller kun i ringe grad – foregik kompostering i traditionel forstand.
- Der kunne således ikke påvises en eventuel øget kimtalsreduktion ved øgede temperaturer.
- Uafhængig af fækaliernes alder, toiletsystem og andre forhold blev der ikke påvist egentlige bakterielle smitstoffer i noget prøvemateriale.
- Antal af fækale indikatorbakterier varierede voldsomt og der var ingen entydig tendens til lavere kimtal ved lange lagringstider. Dog syntes der at være relativt lave antal indikatororganismer i prøver indsamlet fra kontinuerlige systemer i Sverige.
- Kim ved 22 °C og 36 °C samt enterkokker, syntes at kunne udvise vækst i fækaliopsamlingsbeholdere.
- Der blev påvist små mængder af parasitæg i et fåtal af de analyserede prøver.

4 Overlevelse af indikatororganismer i fæces lokalkomposteret under kontrollerede forhold

4.1 INDLEDNING

Det blev antaget, at beholdere anbragt udendørs i solskinsvejlr kunne opnå relativt høje temperaturer sammenlignet med beholdere, som opbevaredes indendørs i teknikrum. Dette blev til dels bekræftet ved målinger i Hjortshøj (se f.eks. fig. 3.10). For at undersøge denne effekt nøjere blev to beholdere fra Hjortshøj transporteret til KVL's forsøgsgård Højbakkegård ved Taastrup og placeret hhv. op ad en sydvendt mur udendørs og i et uopvarmet staldlokale.

Pga. placeringen af komposteringsbeholdere på KVL's forsøgsområde var det muligt at arbejde med tilsætning af indikatororganismer til fæcesmaterialet med hensigten at følge reduktion af disse som funktion af komposteringstemperaturen.

Dette forsøg fungerede ligeledes som kontrolforsøg (dvs. forsøg med samme type beholdere og materiale, men hvor der ikke blev foretaget optimeringstiltag) i forhold til optimeringsforsøgene beskrevet i kapitel 5, idet der ikke blev benyttet tilslagsmaterialer, ventilation eller isolering af beholdere.

4.1.1 Formål med forsøgene

- at bestemme reduktion af tilsatte smitstoffer og indikatororganismer i kompostbeholdere som funktion af opholdstid og temperaturforhold.
- at sammenligne reduktionen i to beholdere placeret hhv. udendørs og indendørs.

4.2 MATERIALER OG METODER

4.2.1 Forsøgsopsætning

Kapsler med forsøgsmateriale blev forberedt som beskrevet nedenfor og tilsat til to 220 l kompostbeholdere 19/7 2002, idet kapslerne blev placeret i to niveauer, hhv. 7 cm fra toppen (placering = top) og 22 cm fra toppen (placering = midt). Der blev placeret ni kapsler i hvert niveau, dvs. i alt 18 kapsler pr. kompostbeholder. Kapslerne blev i alle tilfælde placeret mindst 10 cm fra kompostbeholderens sidevægge og så tæt på temperaturproberne som muligt i midten af beholderen. De to beholdere blev placeret hhv. indendørs i et uopvarmet rum (beholder 1) og udendørs op ad en sydvendt mur (beholder 2). Derefter blev der med ca. 1 måneds interval, i alt 8 gange, udtaget to kapsler (en fra toppen og en fra midten) fra hver kompostbeholder. Forsøget blev afsluttet i marts 2003.

4.2.2 Temperaturmålinger

I hver beholder blev temperaturen målt 4 forskellige steder hver halve time. Desuden målt omgivelsernes temperatur. Data blev opsamlet ved hjælp af 5-kanalsdataloggere (Ninasoft, Kolding). Målingerne blev taget i to lag (midt = 22 cm og top = 7 cm under kompostens overflade) to steder i hvert lag (i midten og i siden af beholderen).

4.2.3 Mikrobiologisk måleprogram

Med udgangspunkt i forekomsten af indikatororganismer og smitstoffer i menneskefækaler og egnede indikatorer til undersøgelse for forekomst af smitstoffer som beskrevet i kapitel 2 blev følgende mikrobiologiske parametre udvalgt til måleprogrammet (tabel 4.1). Måleparametre og metoder blev godkendt af Miljøstyrelsen. Alle prøver blev indsamlet af og analyseret ved Institut for Veterinær Mikrobiologi, KVL. Ved hver prøveudtagning blev prøver straks efter udtagelse transporteret til laboratoriet og analysen påbegyndt inden for 1-2 timer efter udtagelse. Prøverne blev indtil påbegyndt analyse opbevaret på køl.

TABEL 4.1. MÅLEPROGRAM FOR KONTROLLERET KOMPOSTERINGSFORSØG

Parametre
¹ Suspekte termotolerante coliforme bakterier
Enterokokker
<i>Salmonella senftenberg</i>
<i>Salmonella typhimurium</i> fag 28B
Kimtal ved 36°C

¹Suspekte termotolerante coliforme bakterier er kolonier optalt på det anvendte selektive agarmedium, men som ikke er bekræftet ved test for gas- og indolproduktion

4.2.3.1 Forberedelse af kapsler indeholdende fækalt materiale tilsat testmikroorganismer

For at undgå spredning af og forurening med smitsomme mikroorganismer til forsøgsmiljøet blev der anvendt kapsler med semi-permeabel membran (Excelsior Sentinel, Inc., NY, USA). Disse er cylinderformede med et volumen på ca. 2,5 ml. I begge ender af kapslen findes en membran med porestørrelse på 0,45 µm, som er permeabel for gasser og ioner, men ikke for bakterier.

I alt 250 g fækalt materiale blev tilsat 4 ml af en *Salmonella typhimurium* bakteriofag 28B opløsning. Forberedelse af fagopløsning er beskrevet i det efterfølgende. Hver kapsel blev tilsat cirka 1,5 g homogeniseret fækalt materiale indeholdende bakteriofagen, hvorefter der blev iblandet 0,1 ml af en opløsning med *Salmonella senftenberg* 775W. Forberedelse af *S. senftenberg* 775W opløsning er beskrevet i det efterfølgende. Bakteriofagen og *S. senftenberg* kunne ikke indledningsvis påvises i kompostmaterialet.

Opformering og tilsætning af *Salmonella senftenberg* 775W

Salmonella senftenberg 775W blev anvendt som indikator for bakterielle smitstoffer (se afsnit 2.4.3.2). *S. senftenberg* blev opformet i Luria-bouillon, pH 7,4 (Lennox, Difco, Sparks, Maryland, USA) i 10 timer ved 37 °C på rystebord. Efter fastlæggelse af standardvækstkurve blev koncentrationen bestemt til 3x10⁹ bakterier pr. ml efter opformering i LB-bouillon.

Forberedelse og tilsætning af bakteriofag

Salmonella typhimurium fag 28B blev anvendt som indikator for virus (Lilleengen, 1948). En opløsning af bakteriofagen blev fremstillet ved

opformering af *S. typhimurium* fag 28B i Nutrient Broth (NB) (Oxoid, Hampshire, UK) sammen med dens værtsstamme *S. typhimurium* type 5 (Lilleengen, 1948) til en koncentration på ca. 10^{10} plaqueformende enheder (pfu)/ml. Værtsstammen blev dræbt ved tilsætning af chloroform (10 ml/l). Fagopløsningen blev centrifugeret i 30 minutter ved 4300 x g og derefter filtreret gennem et 0,45 µm filter for at fjerne cellebestanddele.

4.2.3.2 Analyse for bakterielle indikatororganismer

Kimtal ved 36 °C blev bestemt som tælling af synlige kolonier på Water Plate Count Agar (WPCA) (Oxoid) efter inkubering ved 36 °C i 44 ± 4 timer (DS/EN ISO 6222, 2000). Detektionsgrænsen for undersøgelsen var 10 bakterier pr. g. Fækalioprøverne blev udtaget sterilt fra kapslerne, vejede og fortyndet ved 10-folds fortyndinger.

Suspekte termotolerante coliforme bakterier

Suspekte termotolerante coliforme blev bestemt ved tælling af typiske gule kolonier på Membran Lauryl Sulfat Agar efter inkubering ved 44 °C i 18-24 timer (Mod ISO/DIS 9308-1, 1998). Detektionsgrænsen for undersøgelsen var 10 bakterier pr. g. Fækalioprøverne blev udtaget sterilt fra kapslerne, vejede og fortyndet ved 10-folds fortyndinger.

Enterokokker

Antal enterokokker blev bestemt ved tælling af typiske røde-rødbrune kolonier på Slanetz & Bartley Agar ved 44 °C i 48 timer ± 4 timer (DS 2401, 1999). Detektionsgrænsen for undersøgelsen var 10 bakterier pr. g. Fækalioprøverne blev udtaget sterilt fra kapslerne, vejede og fortyndet ved 10-folds fortyndinger.

4.2.3.3 Analyse for smitstofindikatorer

Undersøgelse for *Salmonella* senftenberg blev udført ved en semikvantitativ analyse. Til rør med 9 ml bufferet peptonvand (Oxoid) tilsattes 1 ml fra et antal fortyndinger af prøvematerialet svarende til det forventede indhold af testbakterien. Efter inkubering ved 37 °C i 16 timer overførtes 0,1 ml til Rappaport-Vassiliadis bouillon (RV) (Oxoid) med efterfølgende opformering ved 41,5 °C i 24 timer. Fra RV bouillon blev 10 µl udstrøget på Brilliantgrøn Laktose Sakkarose Fenolrød (BLSF) agar (Oxoid), som efterfølgende blev inkuberet ved 37 °C i 24 timer og aflæst for typiske, rødlige kolonier. Udvalgte mistænkte rødlige kolonier blev verificeret som *Salmonella* ved agglutination med polyvalent *Salmonella*-O-antiserum (DS266/R.1, 1999). Detektionsgrænsen for undersøgelsen var 10 bakterier pr. g.

Salmonella typhimurium fag 28B

Dobbelt lag agar metode (Adams, 1959) blev brugt til at bestemme antallet af bakteriofager i prøven. *S. typhimurium* type 5 opformeret i Nutrient Broth (Oxoid) på ryst i 4 timer ved 37 °C blev brugt som værtsstamme. Fra 10-folds fortyndingsrække blev der udtaget 1 ml prøve som blev blandet med 1 ml værtsstammeopløsning og 3 ml halvtflydende-agar (70% blodagarbase (Oxoid) og 30% Nutrient Broth (Oxoid)). Blandingen hældtes på en veltørret agarplade med blodagarbase (Oxoid) som blev inkuberet ved 37 °C i 1 døgn. Opklarede zoner (plaques) blev derefter talt. Ved høj baggrundsflora i de lave fortyndinger blev prøven først filtreret gennem et filter med porestørrelse 0,45 µm, idet fager, men ikke bakterier, kan passere gennem denne porestørrelse. Detektionsgrænsen for undersøgelsen var 100 pfu pr. g.

4.2.3.4 Gentagne analyser ved negative fund

Der blev for alle mikrobiologiske parametre ved negative fund udført en efterfølgende analyse. Efter en tidsperiode på 7 måneder og 2 på hinanden følgende analyser, som gav et negativt resultat, blev forsøget stoppet. Et negativt fund betyder, at dyrkbare mikroorganismer ikke var til stede eller deres antal var under detektionsgrænsen.

4.3 RESULTATER

4.3.1 Temperaturmålinger

Temperaturforløb i beholder 1 og 2 er vist i fig. 4.1 til 4.4. De tre første figurer viser temperaturforløb i beholder 2, som var placeret udendørs. Data stammer fra tre perioder à hver ca. 9 døgn i juli, oktober og januar (manglende data for de mellemliggende perioder skyldtes tekniske problemer med dataloggerens strømforsyning). I juli nåede temperaturen centralt i midten af kompostmaterialet en maksimumsværdi på 49 °C, og temperaturen lå på dette sted over 40 °C i næsten 4 døgn. Generelt var tendensen, at den maksimale dagstemperatur blev fulgt af en stigning i kompostmaterialets temperatur til væsentlig højere værdier. Ved de efterfølgende målinger i oktober, og især i januar, var denne effekt ikke længere tilstede, og kompostmaterialets temperatur fulgte nøje omgivelsernes temperatur.

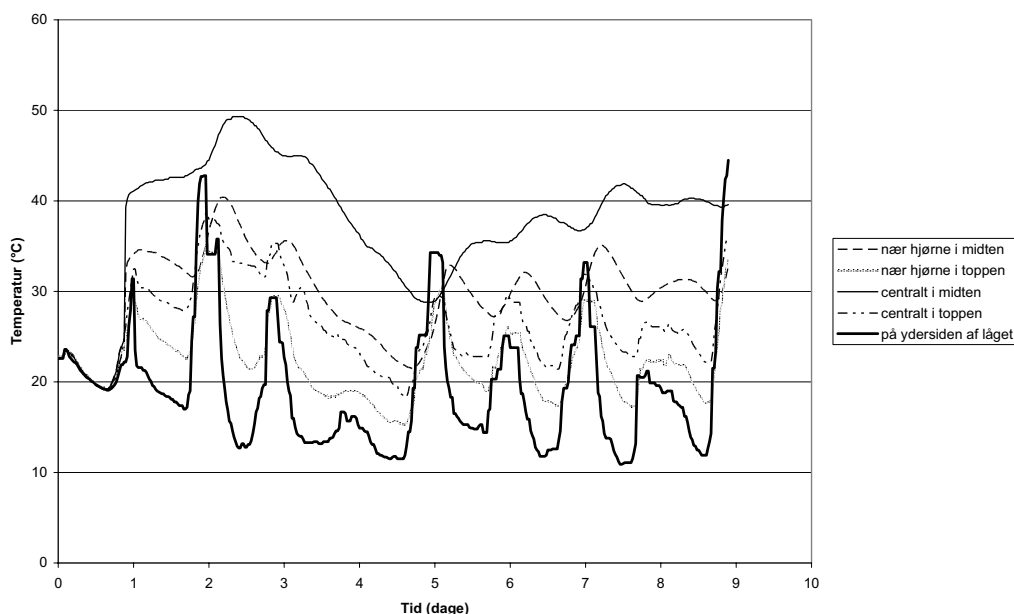


FIG. 4.1. TEMPERATURFORLØB I 220 L KOMPOSTBEHOLDER (BEHOLDER 2) I JULI DE FØRSTE 9 DAGE EFTER AT BEHOLDEREN VAR PLACERET UDENDØRS OP AD EN SYDVENDT MUR. TEMPERATUR MÅLTES CENTRALT HHV. NÆR ET HJØRNE I TOPPEN (7 CM UNDER MATERIALETS OVERFLADE) OG I MIDTEN (22 CM UNDER MATERIALETS OVERFLADE). DESUDEN MÅLTES TEMPERATUREN PÅ YDERSIDEN AF BEHOLDERENS LÅG.

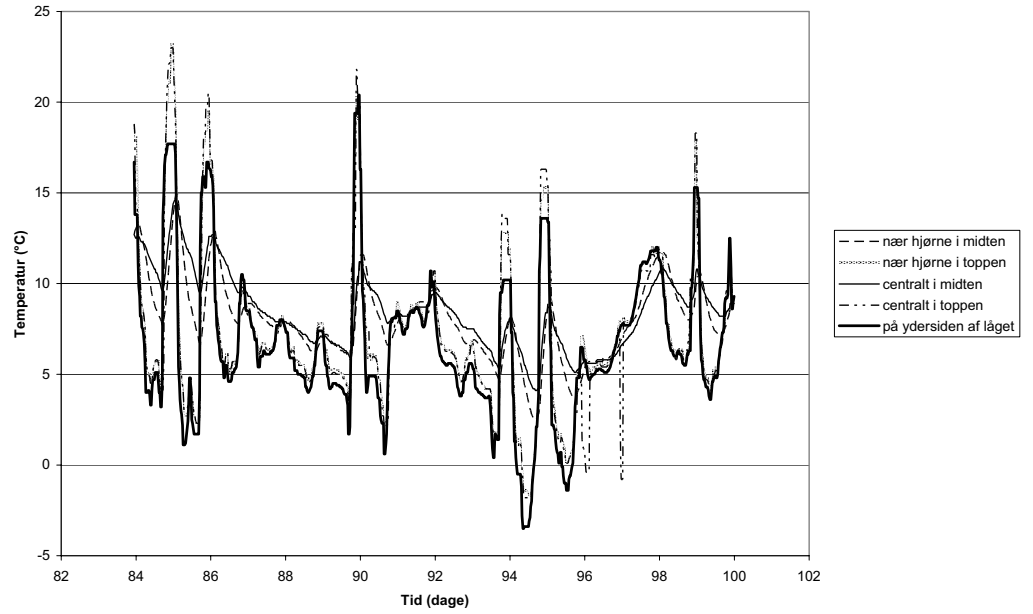


FIG. 4.2. SAMME BEHOLDER (BEHOLDER 2) SOM I FIG. 4.1., MEN VISENDE TEMPERATURFORLØB I OKTOBER 84-101 DAGE EFTER FORSØGETS START.

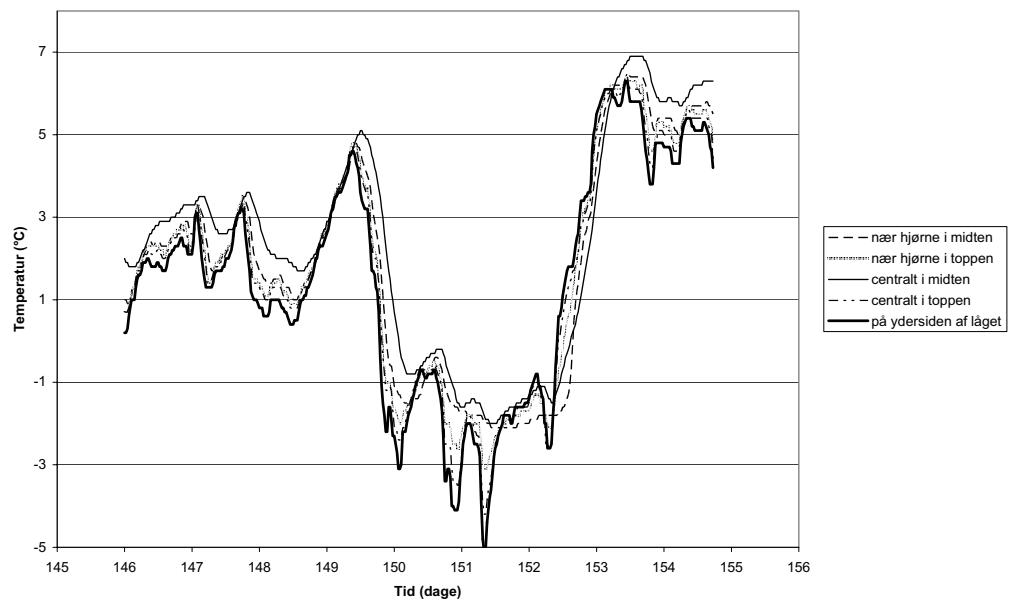


FIG. 4.3. SAMME BEHOLDER (BEHOLDER 2) SOM I FIG. 4.1 OG 4.2, MEN VISENDE TEMPERATURFORLØB I JANUAR 146-155 DAGE EFTER FORSØGETS START.

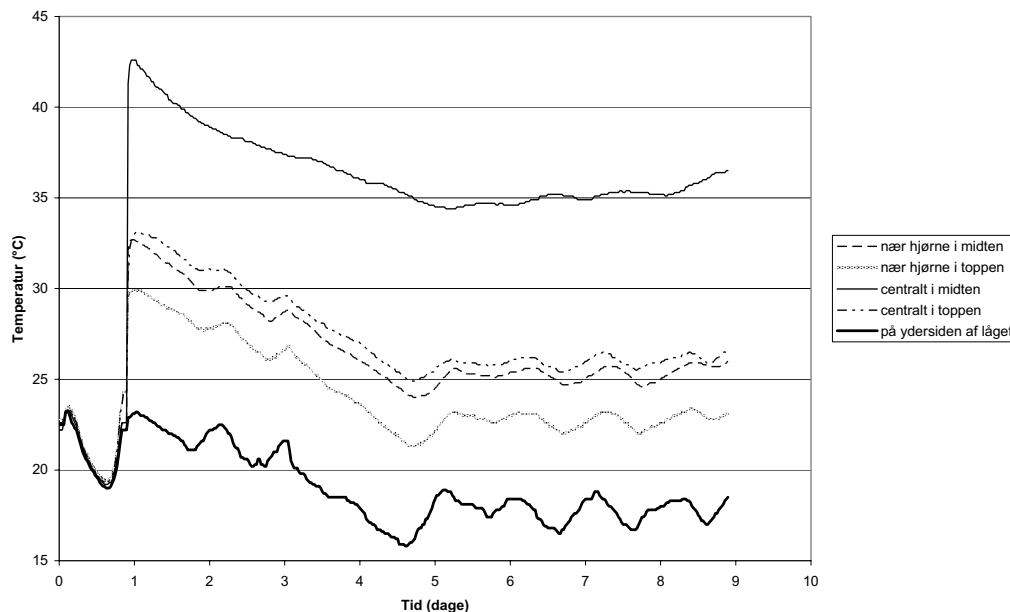


FIG. 4.4. TEMPERATURFORLØB I 220 L KOMPOSTBEHOLDER (BEHOLDER 1) DE FØRSTE 9 DAGE EFTER AT BEHOLDEREN VAR PLACERET INDENDØRS I ET UOPVARMET RUM. TEMPERATUR MÅLTES CENTRALT HHV. NÆR ET HJØRNE I TOPPEN (7 CM UNDER MATERIALETS OVERFLADE) OG I MIDTEN (22 CM UNDER MATERIALETS OVERFLADE). DESUDEN MÅLTES TEMPERATUREN PÅ YDERSIDEN AF BEHOLDERENS LÅG.

På fig. 4.4 er vist temperaturforløbet de første 9 døgn i den affaldsbeholder, som blev placeret indendørs (beholder 1). Materialet opnåede kortvarigt en temperatur over 40 °C centralt i midten af beholderen med et maksimum på 43 °C ca. et døgn efter forsøgets start. Sammenlignet med beholderen, som stod udendørs, var maksimumtemperaturen lavere og tidsperioden over 40 °C kortere, hvilket indikerer, at komposteringsforholdene var bedre i affaldsbeholderen, som stod udendørs – i hvert fald i sommerperioden.

4.3.2 Mikrobiologiske målinger

Overlevelse af mikroorganismene i kompostbeholderen, der var placeret indendørs (beholder 1), er vist i fig. 4.5 og fig. 4.6. Resultaterne for kompostbeholderen, der var placeret udendørs (beholder 2) er vist i fig. 4.7 og fig. 4.8.

Detektionsgrænsen for suspekterte termotolerante coliforme bakterier, enterokokker og *S. senftenberg* var 10 cfu/g. For *S. typhimurium* fag 28B var detektionsgrænsen 100 pfu/g.

I kapselmateriale placeret i toppen af kompostbeholderen, som var placeret indendørs, skete der en kraftig reduktion i antal suspekterte termotolerante coliforme fra 10^8 cfu/g til <10 cfu/g og for *S. senftenberg* fra en startkoncentration på 10^9 til <10 cfu/g (fig. 4.5). Det skal bemærkes, at der efter negative fund i flere efterfølgende prøver kunne påvises lave antal suspekterte termotolerante coliforme og *S. senftenberg*. For enterokokker, *S. typhimurium* fag 28B og totalkim 37°C fandtes der kun en mindre reduktion i størrelsesordenen 1-2 log enheder over hele forsøgsperioden. Det er uvist, hvorfor der tilsyneladende skete en stigning i antallet af flere parametre 22/1 2003.

I midten af kompostbeholderen placeret indendørs skete der ligeledes en kraftig reduktion efter cirka 2 måneder i antallet af suspekter termotolerante coliforme bakterier fra 10^8 cfu/g til <10 cfu/g og for *S. senftenberg* fra 10^9 til <10 cfu/g (fig. 4.6). For begge disse parametre skete denne reduktion hurtigere i kapselmateriale placeret i midten end i toppen af beholderen. Der skete også reduktion af antal enterokokker (10^7 til 10^3 cfu/g), *S. typhimurium* fag 28B (10^9 til 10^4 cfu/g) og totalkim (10^9 til 10^6 cfu/g). Reduktionen af disse skete dog gradvis over 6-8 måneder og med store variationer gennem forløbet (fig. 4.6). Ligesom i toppen af kompostbeholderen skete der tilsyneladende en stigning i antallet af flere indikatororganismer 22/1 2003.

I toppen af udendørskompostbeholderen skete der en relativ hurtig reduktion over 1-2 måneder af antal suspekter termotolerante coliforme bakterier fra 10^8 til 10^3 cfu/g og for *S. senftenberg* fra 10^9 til <10 cfu/g (fig. 4.7). Der skete også reduktion af enterokokker (10^7 til 10^4 cfu/g) og *S. typhimurium* fag 28B (10^9 til 10^4 cfu/g). Derimod skete der ingen nettoreduktion af antal kim ved 37 °C, hvilket indikerer eftervækst af disse mikroorganismer. Også her fandtes en tilsyneladende stigning i antallet af flere parametre 22/1 2003.

I materiale udtaget fra midten af udendørskompostbeholderen skete der ligeledes en kraftig reduktion over 1-2 måneder i antal suspekter termotolerante coliforme fra 10^8 cfu/g til <10 cfu/g og for *S. senftenberg* fra 10^9 til <10 cfu/g (fig. 4.8). For begge parametre skete denne reduktion over samme tidsinterval i materiale placeret i midten som i toppen af kompostbeholderen. Der skete også reduktion af antal enterokokker (10^7 til 10^3 cfu/g) og antal af *S. typhimurium* fag 28B (10^9 til 10^2 cfu/g). Dog blev der fundet store variationer i antal enterokokker og fager, og dermed ikke nogen entydig reduktion. Eksempelvis fandtes der efter en reduktion af antal enterokokker til <10 cfu/g en tilsyneladende vækst af enterokokker (fig. 4.8). For kim ved 37 °C fandtes kun en ringe reduktion (10^9 til 10^7 cfu/g). Generelt fandtes lignende resultater for reduktion af antal mikroorganismer i materiale placeret i top og midten af kompostbeholderen over den 6-8 måneder lange undersøgelsesperiode og med stor variationer undervejs.

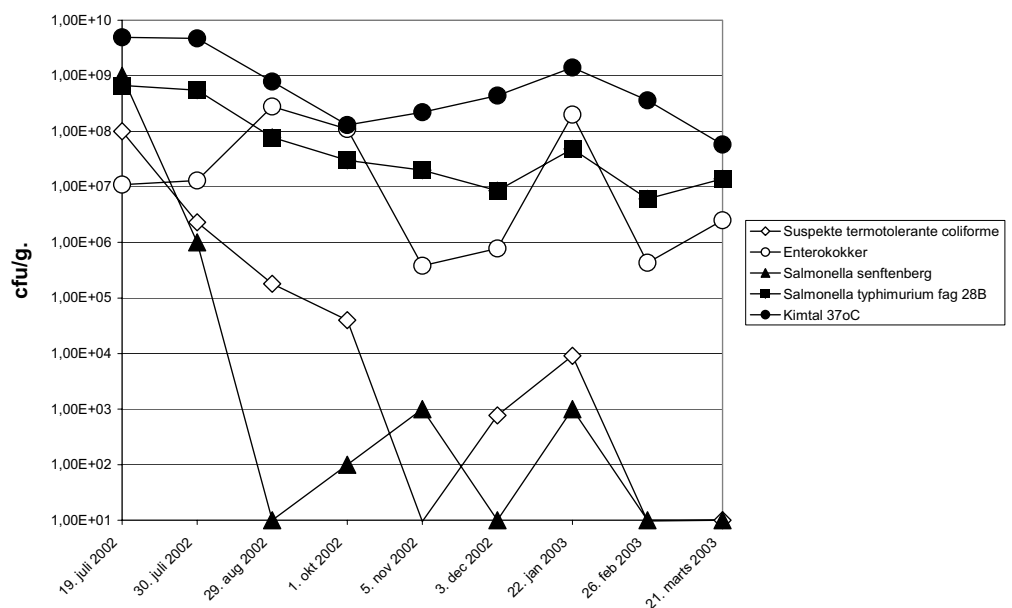


FIG. 4.5. OVERLEVELSE AF MIKROORGANISMER I FÆKALT MATERIALE I KAPSLER PLACERET I TOPPEN AF KOMPOSTBEHOLDER PLACERET INDENDØRS (BEHOLDER 1).

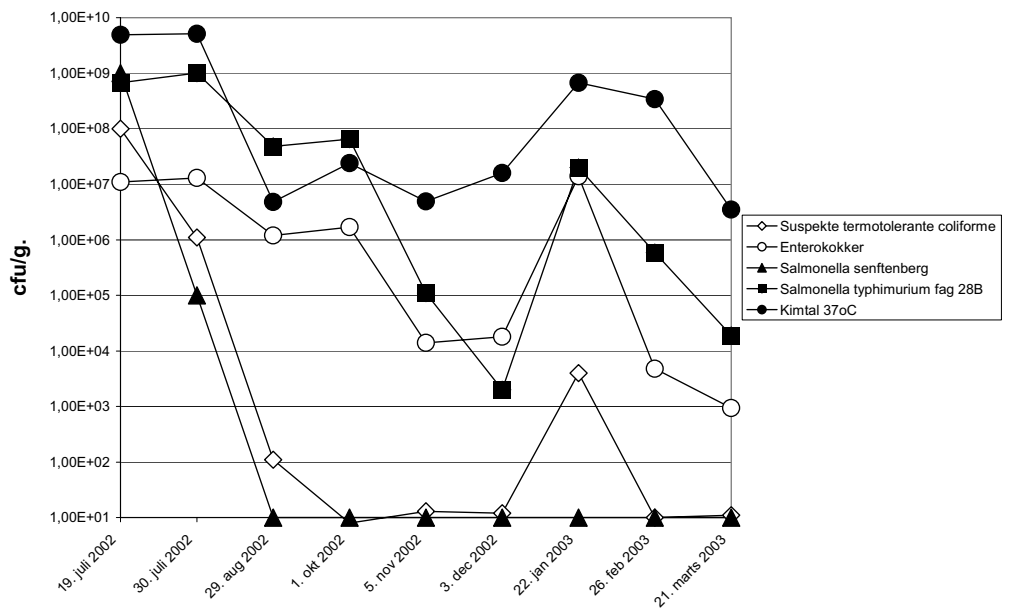


FIG. 4.6. OVERLEVELSE AF MIKROORGANISMER I FÆKALT MATERIALE I KAPSLER I MIDTEN AF KOMPOSTBEHOLDER PLACERET INDENDØRS (BEHOLDER 1).

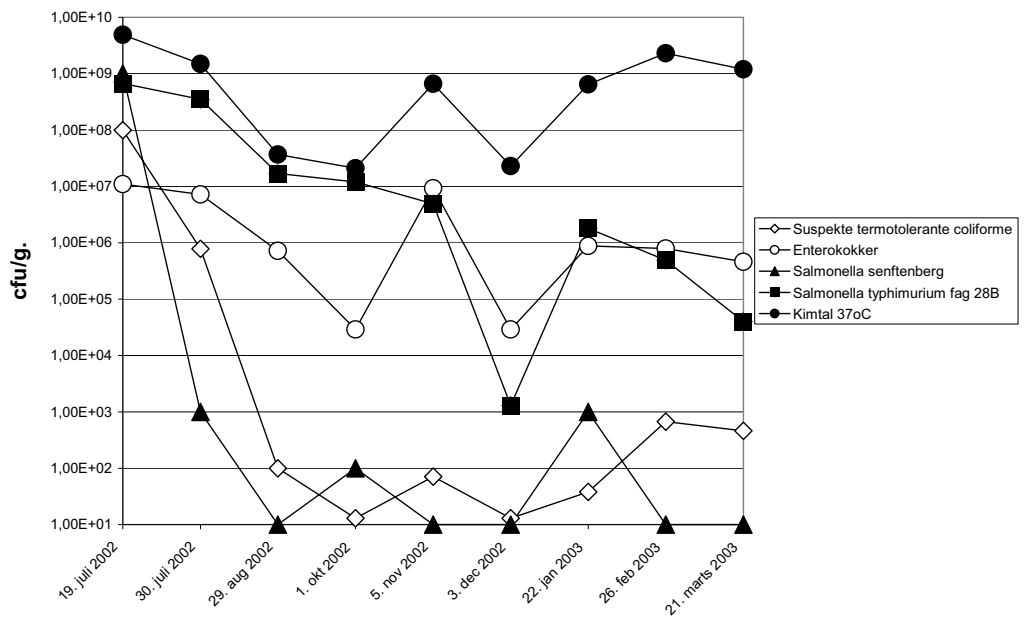


FIG. 4.7. OVERLEVELSE AF MIKROORGANISMER I FÆKALT MATERIALE I KAPSLER I TOPPEN AF KOMPOSTBEHOLDER PLACERET UDENDØRS (BEHOLDER 2).

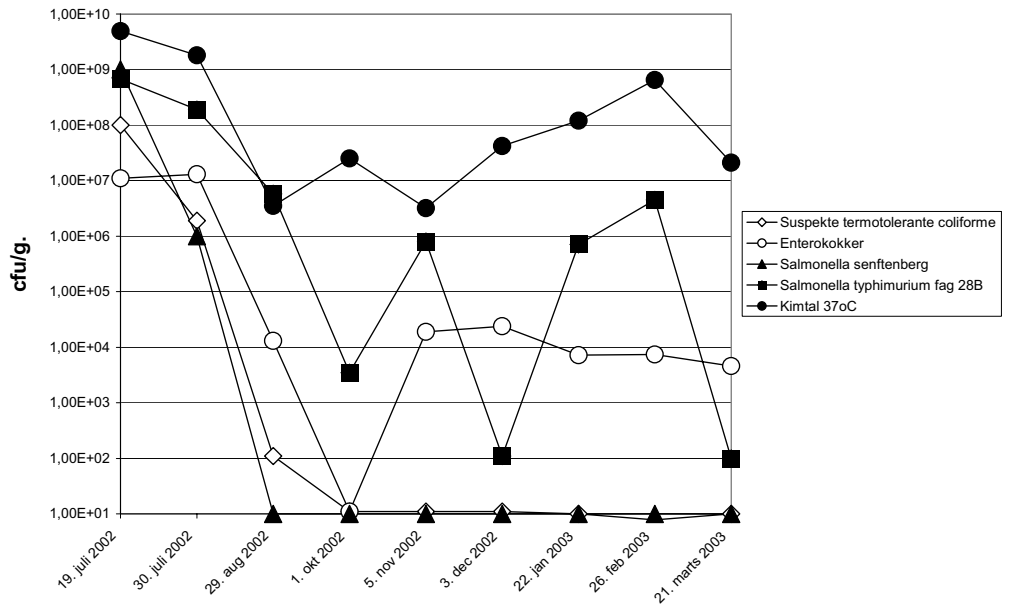


FIG. 4.8. OVERLEVELSE AF MIKROORGANISMER I FÆKALT MATERIALE I KAPSLER I MIDTEN AF KOMPOSTBEHOLDER PLACERET UDENDØRS (BEHOLDER 2).

4.3.2.1 Sammenligning af temperaturudvikling og kimtal

Som beskrevet i afsnit 4.3.1 var det pga. tekniske problemer kun muligt at måle temperaturer i korte, usammenhængende tidsperioder.

Beholder 2 placeret udendørs

For kompostbeholderen placeret udendørs blev der målt temperaturer i tre perioder. Med hensyn til kimtallene fundet i udendørsbeholderen var der kun en begrænset sammenhæng med temperatureren. I de varme sommermåneder (juli og august) steg temperaturen i midten af beholderen til en maksimumværdi på ca. 49 °C efter 3 dages kompostering. Temperaturen i de første 11 dage varierede mellem 10-49 °C. I samme periode og videre frem til slutningen af august fandtes de største kimtalsreduktioner, især i antallene af termotolerante coliforme bakterier og *S. senftenberg*. Temperaturerne i perioderne fra 82-102 dage og 145-156 dage efter forsøgsstart udviste ringe eller ingen stigning med yderst lave temperaturværdier fra -5 til 20 °C. De målte temperaturer syntes at afspejle udendørstemperaturen. I de sidstnævnte perioder fandtes der ingen tydelig kimtalsreduktion for samtlige målte parametre.

Beholder 1 placeret indendørs

For kompostbeholderen placeret indendørs blev der kun målt temperaturer i en periode på i alt 9 dage med værdier mellem 16-43 °C (afsnit 4.3.2). Temperaturen steg markant efter 1 døgn til maksimum værdi i midten af beholderen (43 °C). Der fandtes lavere temperaturer i toppen og i materiale langs siderne af beholderen. I slutningen af temperaturmåleperioden fandtes der en 2-4 log reduktion af antallene af termotolerante coliforme bakterier og *S. senftenberg* i midten af beholderen. Da der kun var temperaturmålinger for de første 10 dage af forsøget, var det desværre ikke muligt at lave egentlige sammenligninger mellem temperaturudvikling og kimtal i denne beholder. Det forventes normalt at maksimal temperaturen opnås i begyndelsen af et komposteringsforsøg (målt til 43 °C i dette forsøg), og at der ikke efterfølgende sker yderligere temperaturstigninger. Det kan således konkluderes, at temperaturudviklingen i indendørsbeholderen ikke var en

egentlig reducerende faktor for kimtallene, da disse har stor overlevelse og eventuelt kan opformeres ved temperaturerne målt over de første 10 dage.

4.4 DELKONKLUSIONER

- De målte maksimumtemperaturer i midten af kompostmaterialet var 43 °C og 49 °C i kompostbeholdere placeret henholdsvis indendørs og udendørs, hvilket var utilstrækkeligt til at forårsage en markant reduktion af de målte indikatororganismer. Der foregik således kun en yderst begrænset termofil kompostering.
- Der fandtes store variationer i de målte temperaturer ligesom temperaturmålinger ikke kunne foretages i flere perioder pga. af tekniske problemer. Sammenligninger af temperaturer og kimtal kunne derfor kun udføres i begrænset omfang.
- Antal suspekter termotolerante coliforme bakterier og *S. senftenberg* blev reduceret kraftigt (> log 4 reduktion) fra initialt 10^{8-9} cfu/g til 10-1.000 cfu/g, med størst reduktion i midten af beholderne.
- Der blev påvist en begrænset (midt i beholder) eller ingen reduktion af antallet af enterokokker, bakteriefag og kimtal ved 37 °C. Antal enterokokker og kimtal ved 37 °C viste tendens til stigning ved gentagne målinger. Generelt fandtes store variationer i kimtal, især i antallet af fager.

5 Overlevelse af indikatororganismer i fæces under optimerede lokalkomposteringsforhold

5.1 INDLEDNING

Ved målingerne af temperaturer i kompostbeholderne (kapitel 3) blev der ikke påvist termofile temperaturforløb som tegn på at en komposteringsproces fandt sted. På den baggrund blev der igangsat en forsøgsrække bestående af tre adskilte optimeringsforsøg med henblik på at opnå termofile temperaturer i materialet. Det blev valgt at udføre forsøgene med 220 l affaldsbeholdere, da denne type er udbredt og f.eks. udgør en stor del af komposttoiletsystemer i Hjortshøj. Det var desuden hensigten at benytte et meget enkelt forsøgsdesign for at kunne opnå optimering af processen uden større investeringer og for så vidt muligt ved anvendelse af forhåndenværende materialer.

For at optimere komposteringsprocessen fokuseredes på følgende emner: forbedring af den mikrobielle omsætning, og derved øget varmeudvikling i kompostbeholderne, ved anvendelse af letomsættelige tilslagsmaterialer, forbedring af iltforholdene i beholderne ved anvendelse af et simpelt beluftningssystem samt minimering af varmetab fra beholdere vha. isolering.

Ved valg af tilslagsmaterialer blev der lagt vægt på, at de skulle være alment tilgængelige og billige i anskaffelse. Friskt afklippet græs opfylder disse betingelser og er samtidigt kendt for at kompostere under høj varmeafgivelse (Warman and Termeer, 1996). På forslag af en thailandsk gæsteforsker på KVL (pers. komm. dr. Arnat Tancho) suppleredes græsafklippet desuden med en vandig opløsning af sukker og forskellige næringsstoffer.

For at begrænse behovet for investering i teknisk udstyr blev det besluttet – i stedet for at benytte elektriske blæsere – at installere et simpelt system til passivt beluftning af beholderne bestående af perforerede drænrør, som anbragtes lodret i materialet.

Da indledende undersøgelser viste, at det var vanskeligt at opnå høje temperaturer i kompostmaterialet i uisolerede beholdere, blev det besluttet at anvende vintermætter af stenvuld som isoleringsmateriale. Anvendelse af vintermætter har den fordel, at de ofte er tilgængelige på landbrug samt indgår i det almindelige varesortiment hos byggevarerfirmaer etc.

5.1.1 Formål med optimeringsforsøgene

- at undersøge muligheden af, med simple tiltag, at optimere komposteringsprocessen i kompostbeholdere og evaluere effekten på reduktionen af indikatororganismer, tilsatte smitstofindikatorer og parasitter.

5.2 MATERIALER OG METODER

5.2.1 Forsøgsopsætning

Der blev indhentet tre stk. 220 l affaldsbeholdere med indhold af fæces fra Hjortshøj. Fæcesmaterialet havde varierende alder. Det ældste var i en beholder, som brugerne oplyste blev taget fra faldstammen i slutningen af 2001.

Der blev udført tre forsøg med henblik på at optimere komposteringsprocessen i affaldsbeholderne. For at sikre tilstrækkelige mængder af forsøgsmateriale til det egentlige optimeringsforsøg (forsøg 3) blev der anvendt dybstrøelse i forsøg 2 i stedet for fæcesmateriale fra Hjortshøj. Der blev i forsøg 1 og 2 udelukkende målt temperaturforløb i beholderne, mens der i forsøg 3 desuden blev tilsat smitstofindikatorer og parasitæg. En oversigt over de forskellige forsøg kan ses i tabel 5.1.

TABEL 5.1. FORSØG MED HENBLIK PÅ AT FORBEDRE KOMPOSTERINGSPROCESSEN I 220 L AFFALDSBEHOLDERE.

	Forsøg 1	Forsøg 2	Forsøg 3	
	En beholder	En beholder	Beholder 1	Beholdere 2
Antal beholdere	En beholder	En beholder	Beholder 1	Beholdere 2
Materiale	Fæces	Dybstrøelse	Fæces	Fæces
Tilslagsmaterialer	Græs + sukkeropløsning med ammoniumnitrat	Græs + sukkeropløsning med ammoniumnitrat	Græs + sukkeropløsning med NPK	Græs + sukkeropløsning med NPK
Ventilation	6 huller (diameter ca. 5 cm) lodret i materialet	2 drænrør (diameter 8 cm) lodret i materialet	2 drænrør (diameter 8 cm) lodret i materialet	2 drænrør (diameter 8 cm) lodret i materialet
Isolering	Ingen isolering	3 vintermætter omkring beholder	3 vintermætter omkring beholder	3 vintermætter omkring beholder
Tilsætning af smitstofindikatorer og parasitæg	Ingen tilsætning	Ingen tilsætning	Kapsler med <i>S. senftenberg</i> og <i>S. typhimurium</i> fag 28B, nylonposer med <i>A. galli</i> æg	Nylonposer med <i>A. galli</i> æg

En beskrivelse af forsøg 1 og 2 samt en mere detaljeret beskrivelse af div. optimeringstiltag findes i bilag B. Nedenfor er udelukkende gjort rede for opsætning af optimeringsforsøg 3:

Fæcesmateriale

To 220 l affaldsbeholderes indhold blev tømt ud, blandet sammen og de største klumper af materiale slået i stykker med en skovl. Materialet fordeltes derefter i de to beholdere med 31,5 kg materiale i hver. Kompostmaterialets tykkelse var ca. 60 cm.

Tilslagsmaterialer

Der blev tilsat 25,5 kg friskt afklippet græs pr. beholder. Der blev desuden tilsat en sukkeropløsning bestående af 1,8 kg husholdningssukker og 200 g NPK gødning (18 % N) opløst i 3 liter vand ved forsøgets start.

Beluftning

Der blev placeret to stk. plasticdrænrør (ID 80 mm) à ca. 80 cm længde med ca. 20 cm afstand lodret i materialet på diagonalen mellem beholderens hjørner.

Isolering af beholdere

Hver beholder blev isoleret med tre stk. Rockwool vintermætter (længde: 3 m, tykkelse 4 cm), desuden blev beholderne placeret på en 5 cm tyk Flamingoplade.

Tilsætning af smitstofindikatorer

Kapsler med fæcesmateriale indeholdende *S. senftenberg* og *S. typhimurium* fag 28B blev forberedt som i afsnit 4.2.3.1 og tilsat beholder 1. Der blev boret en vertikal kanal i materialet med en tilspidset træstang, hvorefter der blev placeret to kapsler i hvert af tre niveauer i beholder 1:

1. top = ca. 5 cm fra kompostmaterialets overflade
2. midt = ca. 30 cm fra kompostmaterialets overflade
3. bund = ca. 50 cm fra kompostmaterialets overflade

Tilsætning af parasitæg

Nylonposer indeholdende æg af *A. galli* (forberedt som beskrevet nedenfor i afsnit 5.2.3.1) blev ligeledes tilsat beholder 1, idet de blev placeret ved siden af kapslerne i de tre nævnte niveauer. Dog blev der kun tilsat én pose pr. niveau. I den identisk forberedte kompostbeholder (beholder 2) blev der tilsat nylonposer efter samme princip og fordeling.

Både kapsler og nylonposer blev placeret centralt i det horisontale niveau lokaliseret tæt ved en temperaturprobe.

Kapsler og nylonposer blev lagt i kompostholderne d. 22/1 2003 (dag 0) og udtaget d. 12/2 2003 (dag 21).

Ved prøvetagningen dag 21 blev pH i kompostmaterialet bestemt til 7.9.

5.2.2 Temperaturmålinger

I hver beholder blev temperaturen målt 6 forskellige steder hvert 10. min. Data blev opsamlet ved hjælp af 5-kanalsdataloggere (Ninasoft, Kolding). Målingerne blev taget i tre lag (top = 15 cm, midt = 30 cm og bund = 45 cm fra kompostmaterialets overflade) to steder i hvert lag (centralt = i midten og nær hjørne = ca. 15 cm fra et hjørne). Desuden blev omgivelsernes temperatur registreret. Temperaturproberne blev monteret på bambuspinde for at sikre en præcis placering under forsøgets gang.

5.2.3 Mikrobiologisk måleprogram

TABEL 5.2. MÅLEPROGRAM FOR OPTIMERET KOMPOSTERINGSFORSØG

Parametre
¹ Suspekte termotolerante coliforme bakterier
Enterokokker
<i>Salmonella senftenberg</i>
<i>Salmonella typhimurium</i> fag 28B
Kimtal ved 36 °C
<i>Ascaridia galli</i>

¹Suspekte termotolerante coliforme bakterier er kolonier optalt på det anvendte selektive agarmedium, men som ikke er bekræftet ved test for gas- og indolproduktion

Med udgangspunkt i forekomsten af indikatororganismer og smitstoffer i menneskefækalier og egnede indikatorer til undersøgelse for forekomst af smitstoffer som beskrevet i kapitel 2 blev følgende mikrobiologiske parametre udvalgt til måleprogrammet (tabel 5.2). Måleparametre og metoder blev

godkendt af Miljøstyrelsen. Alle prøver blev indsamlet af og analyseret ved Institut for Veterinær Mikrobiologi, KVL. Ved hver prøveudtagning blev prøver straks efter udtagelse placeret på køl (ca. 10 °C) og transporteret til laboratoriet, hvor analysen påbegyndtes inden for 1-2 timer.

5.2.3.1 Forberedelse af nylonposer med *Ascaridia galli* æg

Voksne *A. galli* hunorm blev udtaget fra tyndtarmen af en høne fra et økologisk fjerkræhold. I hver enkelt hunorm blev æggelederen lokaliseret, udtaget og æggene kunne derefter oprensnes. Æggene blev opbevaret i 0,1 N H_2SO_4 indtil brug. En stamopløsning med ca. 5000 æg/ml blev anvendt til tilsætning til nylonposer.

Fremstilling og forberedelse af nylonposer

Nylonnet med en porestørrelse på 20 µm blev brugt til fremstilling af nylonposerne. Et stykke nylonnet på 6 x 12 cm blev foldet på midten og limet sammen på de to langsider. Efter tørring af limen blev 2 ml æg-stamopløsning, indeholdende ca. 10.000 *A. galli* æg tilsat. Posen blev derefter lukket med lim. For at beskytte poserne og for lettere at kunne fastgøre en snor til disse, blev hvert enkelt af poserne lagt ind i en større pose af tyl, som blev lukket med nylonsnor.

Under transport til kompostbeholderne blev poserne opbevaret i et bægerglas med destilleret sterilt vand for at undgå udtørring af æggene. Ved forsøgets start (dag 0) blev der desuden udtaget 3 x 2 ml fra æg-stamopløsningen til opsætning af tre kontrolassays som test for æggenes udviklingssevne på dag 0.

5.2.3.2 Analyse for bakterielle indikatororganismer og smitstofindikatorer

Analysen for bakterielle indikatororganismer og smitstofindikatorer blev gennemført som beskrevet i afsnit 4.2.3. med undtagelse af analysen for *A. galli*, som er beskrevet i det efterfølgende.

Ascaridia galli ægudviklingsassay

Nylonposer blev udtaget fra kompostbeholderne og transporteret til laboratoriet. Samme dag blev *Ascaridia* æggene i nylonposerne vasket i et bægerglas to gange med destilleret vand. Posen blev derefter åbnet, og æggene vasket direkte ned i en 18 cm petriskål med en opløsning af 0,1 N H_2SO_4 , hvorefter der blev fyldt op til en vandstand på 5 mm (ca. 28 ml) med 0,1 N H_2SO_4 . Petriskålene blev derefter inkuberet i fire uger ved 20 °C i mørke. I løbet af inkubationsperioden blev lågene taget af petriskålene i 10-15 minutter minimum to gange om ugen for at sikre tilstrækkelig ilttilførsel.

Bestemmelse af æg med infektive larver

Efter inkubationsperioden blev indholdet af hver petriskål vasket ned i et 50 ml centrifugerør med destilleret vand og stillet i køleskab natten over til sedimentation af parasitæggene. Der blev derefter afpipetteret ned til et restvolumen på ca. 5 ml, hvoraf der forsigtigt blev udtaget 50 µl fra spidsen af centrifugerøret med en automatpipette. Æggene blev undersøgt under mikroskop ved 100x forstørrelse for deres udviklingsstadium, således at procentdelen af embryonerede æg (æg indeholdende en infektiv larve) kunne bestemmes.

5.3 RESULTATER

5.3.1 Temperaturforløb i optimeringsforsøg

I forsøg 1 blev der tilsat en mindre mængde frisk græs samt en sukkeropløsning til fæcesmaterialet, men beholderen blev ikke isoleret. Maksimumstemperaturen under forsøgets gang (se bilag B) var kun 36 °C. Dette skyldes dels omgivelsernes lave temperatur, som nåede ned til -6 °C, dels at beholderen ikke var isoleret.

I optimeringsforsøg 2 (se bilag B) blev beholderen isoleret og ventilationssystemet blev forbedret med installation af to drænrør i kompostmaterialet. Desuden blev der tilsat en større mængde græs end i det foregående forsøg. Disse tiltag medførte en kraftig øgning af temperaturen i kompostmaterialet. Der opnåedes en maksimumtemperatur på 68 °C centralt i beholderens midte i forbindelse med en yderligere tilsætning af sukkeropløsning til beholderen ca. tre døgn efter forsøgets start.

På baggrund af ovenstående forsøg fastlagdes designet for det egentlige optimeringsforsøg (forsøg 3), hvor der blev tilsat smitstoffer og parasitter til kompostmaterialet. Der blev benyttet en stor mængde tilslagsmateriale i forhold til fæcesmængden, og sukker/næringsstofopløsningen blev gjort så kraftig som mulig for at undgå vandansamlinger i bunden af beholderen.

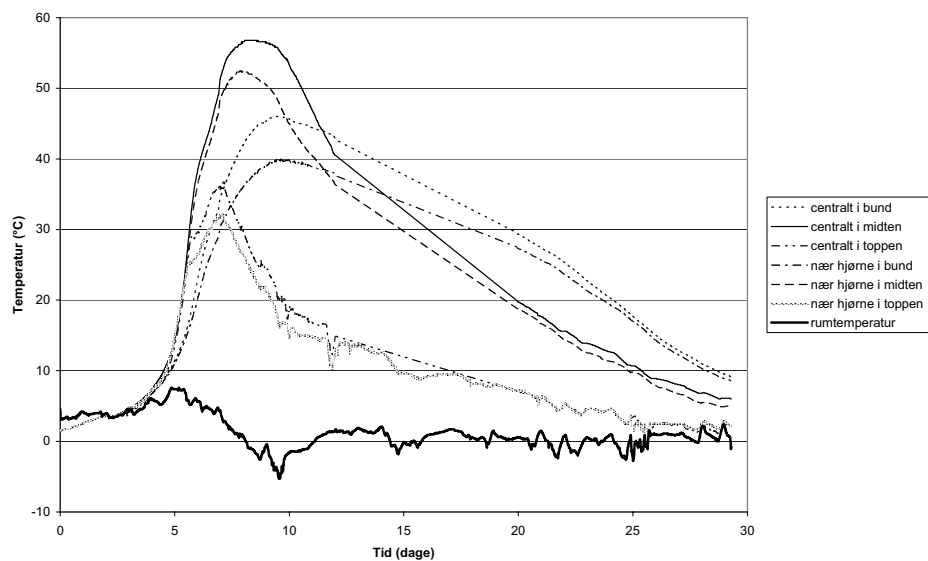


FIG. 5.1. OPTIMERING AF KOMPOSTERINGSPROCES I 220 L KOMPOSTBEHOLDER (BEHOLDER 1) VED TILSÆTNING AF FRISKT GRÆS OG SUKKEROPLØSNING TIL FÆCESMATERIALE. DER BLEV MÅLT TEMPERATURER CENTRALT I MATERIALET SAMT CA. 15 CM FRA ET HJØRNE I TRE NIVEAUER: I TOPPEN (15 CM UNDER KOMPOSTOVERFLADEN), I MIDTEN (30 CM UNDER KOMPOSTOVERFLADEN) OG I BUNDEN (45 CM UNDER KOMPOSTOVERFLADEN).

Fig. 5.1 og 5.2 viser temperaturforløbet i to affaldsbeholdere, hvor der blev foretaget identiske tiltag for at optimere komposteringsprocessen som beskrevet ovenfor. De to beholdere udviste næsten samme temperaturforløb. Maksimumstemperaturer på hhv. 58 °C og 56 °C blev i begge beholdere opnået centralt i materialet i det midterste lag. I begge beholdere var temperaturen meget ens inden for de tre horisontale lag, hvor der blev målt: Det havde således ikke stor betydning, om materialet var placeret nær et hjørne eller centralt i beholderen, men det afgørende for

temperaturudviklingen var placeringen i top, midte eller bund. Dette forhold indikerer, at isoleringen af beholdernes sider var tilstrækkelig.

De højeste temperaturer blev opnået i det horisontale midterplan; formodentlig var her tilstrækkelig gode iltforhold, samtidig med at den overliggende kompost isolerede mod varmetab. I toppen af beholderne bevirkede kontakt med kølig luft fra omgivelserne, at temperaturen hurtigt faldt under 30 °C. Temperaturen i bunden af beholderne nåede et maksimum på hhv. 45 og 39 °C i de to beholdere. De velisolerede forhold i beholdernes bund var tilsyneladende ikke i stand til at opveje, at ventilationssystemet sandsynligvis ikke var tilstrækkelig til at sikre aerobe forhold under hele forsøgsperioden.

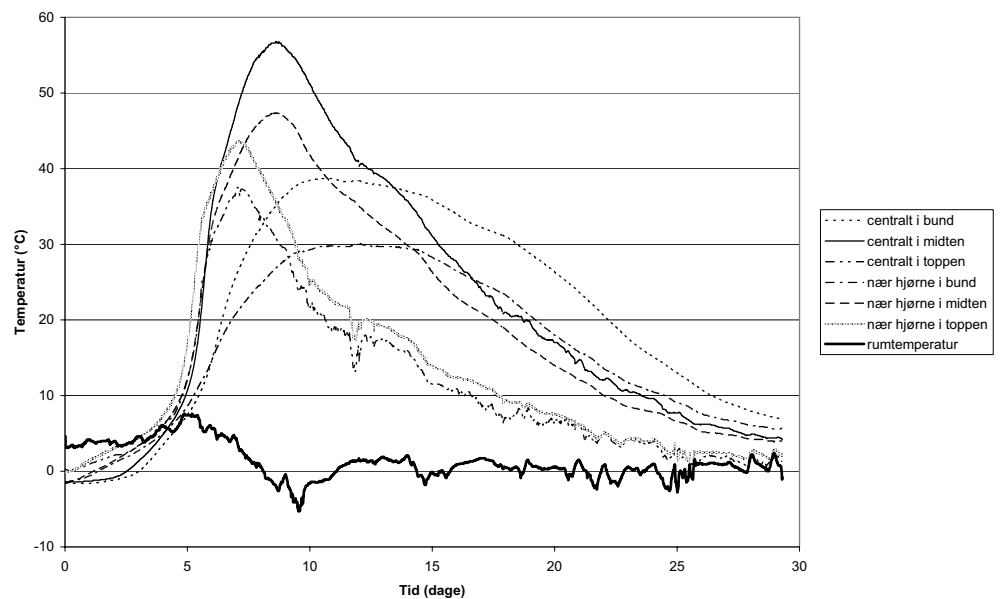


FIG. 5.2. OPTIMERING AF KOMPOSTERINGSPROCES I 220 L KOMPOSTBEHOLDER (BEHOLDER 2) VED TILSÆTNING AF FRISKT GRÆS OG SUKKEROPLØSNING TIL FÆCESMATERIALE. DER BLEV MÅLT TEMPERATURER CENTRALT I MATERIALET SAMT CA. 15 CM FRA ET HJØRNE I TRE NIVEAUER: I TOPPEN (15 CM UNDER KOMPOSTOVERFLADEN) , I MIDTEN (30 CM UNDER KOMPOSTOVERFLADEN) OG I BUNDEN (45 CM UNDER KOMPOSTOVERFLADEN).

5.3.2 Mikrobiologiske målinger

5.3.2.1 Overlevelse af bakterielle og virale indikatorer

Resultaterne for analyser af fækalt materiale placeret i toppen af kompostbeholder 1 er vist i fig. 5.3, resultater fra analyser af materiale placeret i midten af beholderen er vist i fig. 5.4 og resultater fra analyser af materiale placeret i bunden af kompostbeholderen er vist i fig. 5.4.

Generelt var der god overensstemmelse mellem de mikrobiologiske fund i materiale fra de to replikater af kapsler, som blev analyseret ved hver måling.

I fækalt materiale placeret i toppen af kompostbeholder 1 skete der en kraftig reduktion i antal suspekter termotolerante coliforme fra 10^5 cfu/g til <10 cfu/g og for *S. senftenberg* fra 10^9 til <10 cfu/g (fig. 5.3). Der skete ligeledes en markant reduktion i antal *S. typhimurium* fag 28B (10^8 til 10^2 cfu/g), medens der kun skete en ringe reduktion i antal enterokokker og kim ved 37 °C. For de to sidstnævnte parametre kunne dette indikere bakteriel vækst.

I materiale placeret i midten af kompostbeholder 1 skete der en kraftig reduktion i antal suspekter termotolerante coliforme bakterier fra 10^5 cfu/g til <10 cfu/g og *S. typhimurium* fag 28B (10^9 til 10^5 pfu/g) (fig. 5.4). Der blev påvist nogen reduktion af *S. senftenberg* (10^9 til 10^6 cfu/g) og ringe eller ingen reduktion af antal enterokokker og kim ved 37 °C.

I materiale placeret i bunden af kompostbeholder 1 skete der en reduktion i antal suspekter termotolerante coliforme (10^5 til 10^2 cfu/g) og i antallet af *S. senftenberg* (10^9 til 10^7 cfu/g) (fig. 5.5). Der skete ingen eller kun ringe reduktion i antallet af *S. typhimurium* fag 28B og kim ved 37 °C. Derimod fandtes der en stigning i antal enterokokker (10^4 til 10^6 cfu/g), hvilket kunne tyde på eftervækst af enterokokker.

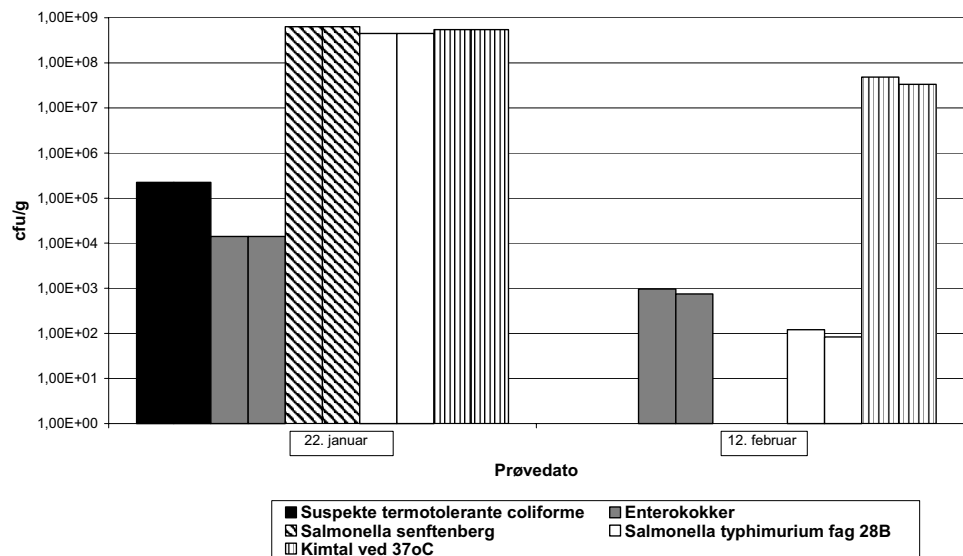


FIG. 5.3. REDUKTION I ANTAL MIKROORGANISMER I FÆKALT MATERIALE PLACERET I TOPPEN AF KOMPOSTBEHOLDER 1 (RESULTATER AF DOBBELTBESTEMMELSER ER ANGIVET).

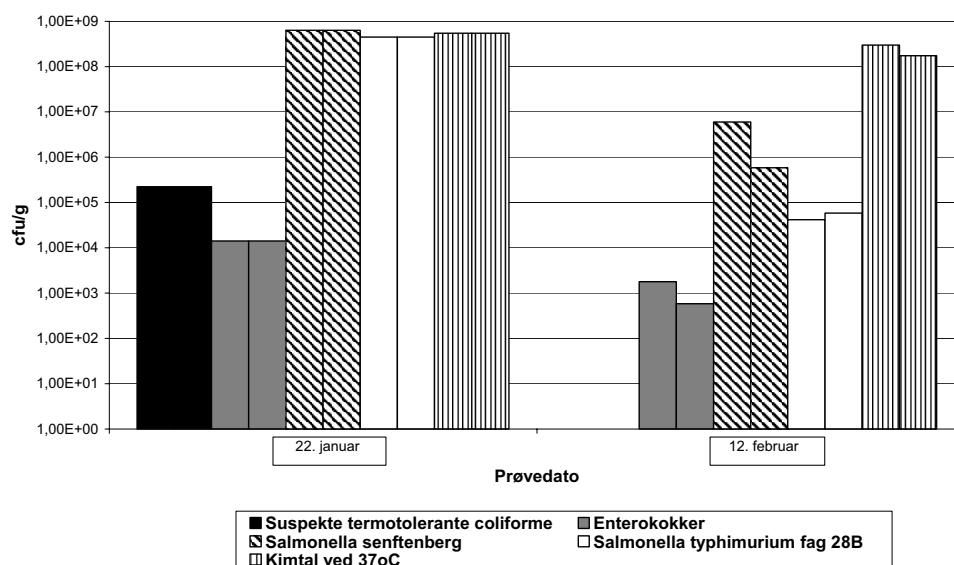


FIG. 5.4. REDUKTION I ANTAL MIKROORGANISMER I FÆKALT MATERIALE PLACERET I MIDTEN AF KOMPOSTBEHOLDER 1 (RESULTATER AF DOBBELTBESTEMMELSER ER ANGIVET).

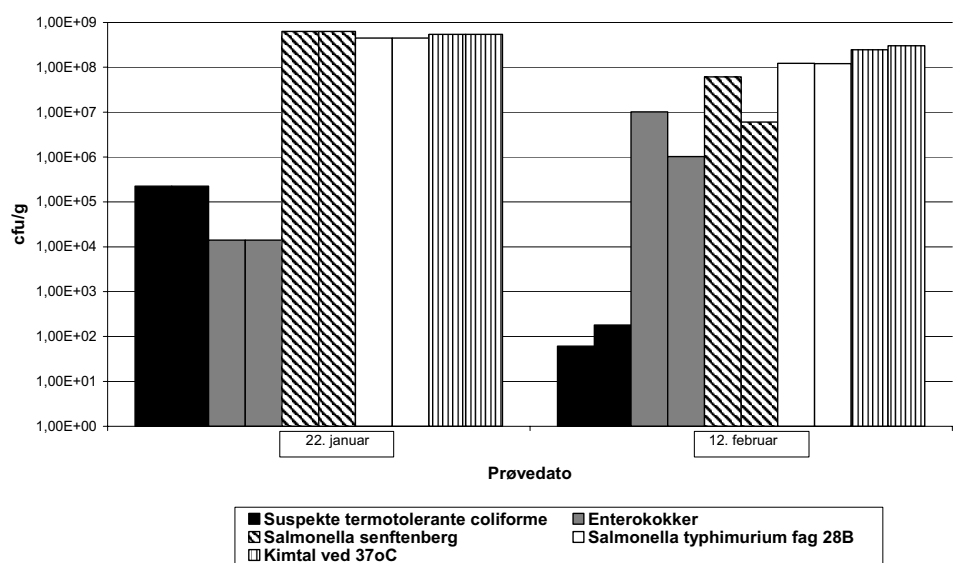


FIG. 5.5. REDUKTION I ANTAL MIKROORGANISMER I FÆKALT MATERIALE PLACERET I BUNDEN AF KOMPOSTBEHOLDER 1 (RESULTATER AF DOBBELTBESTEMMELSER ER ANGIVET).

5.3.2.2 Overlevelse og udvikling af *A. galli* æg

Den procentvise forekomst af *A. galli* æg, som kunne udvikles til det infekitive stadium efter placering i fækalt materiale i toppen, i midten og i bunden af kompostbeholder 1 og 2, er vist i tabel 5.3.

I kontrolassays sat op på dag 0 var 41 % af *A. galli* æggene i stand til at udvikle sig til det infekitive stadium (infektiv larve i æg). Det er normalt, at kun op mod halvdelen af tilførte æg i kontrolassays kan udvikle sig til en infektiv larve.

Efter 21 dage i kompostbeholderne kunne der måles en effekt på æggenes embryoneringssevne, idet ingen æg efter eksponering i de tre niveauer i

kompostbeholder 1 kunne embryonere. I beholder 2 kunne ingen af æggene placeret i toppen og under 1 % af æggene placeret i midten efterfølgende embryonere, mens 24% af æggene placeret i bunden af beholderen var i stand til at embryonere.

TABEL 5.3. *ASCARIDIA GALLI* ÆGEMBRYONERINGSASSAY. (BEHOLDER 1 INDEHOLDT ENDVIDERE KAPSLER MED FÆKALT MATERIALE TILSAT *S. SENFTENBERG* OG *S. TYPHIMURIUM* FAG 28B).

Prøver	Placering i kompost-beholder	Prøveudtagningstids-punkt	Max. temperatur ved placering (°C)	Tid (timer) med eksponering over angivet temperatur	% æg med infektiv larve
Kontrol assay (gennemsnit af tre replicater)	-	Dag 0	-	-	41,0
Beholder 1	Top	Dag 21	37	>35°C: 14,9	0
Beholder 1	Midt	Dag 21	56,8	>55°C: 52,3	0
Beholder 1	Bund	Dag 21	46,0	>45°C: 40,3	0
Beholder 2	Top	Dag 21	38,7	>35°C: 27,3	0
Beholder 2	Midt	Dag 21	56,8	>55°C: 30,2	0,9
Beholder 2	Bund	Dag 21	37,3	>35°C: 163,2	23,6

5.4 DELKONKLUSIONER

- Det lykkedes ikke at opfylde "Slambekendgørelsens" krav om opholdstid/temperatur (mindst én time ved minimum 70 °C) for at sikre hygiejnisering af materialet, idet maksimumstemperaturerne under optimeringsforsøget blev målt til 56,8 °C i midten af beholderne. Langs siderne nåede temperaturen i beholder 2 ikke over 37,3 °C.
- Anvendelse af kapsler med semi-permeabel membran ifyldt findelt fækalt materiale medførte begrænsede variationer i kimtal og var derfor velegnet til tilsætnings- og overlevelsesforsøg med *S. senftenberg* og bakteriofag
- I materiale placeret i midten af kompostbeholderne blev der målt en maksimal temperatur på 56,8 °C, og der fandtes her som forventet en kraftig reduktion i antallet af suspekter termotolerante coliforme bakterier.
- *S. senftenberg* og *S. typhimurium* fag 28B blev ikke reduceret så hurtigt og kraftigt som forventet. Dette skyldes sandsynligvis, at der ikke blev opnået en ensartet temperatur i materialet i midten af kompostbeholderen.
- Antallet af *S. typhimurium* fag 28B blev kraftigere reduceret i toppen end i midten af kompostmaterialet. Dette kunne skyldes en effekt af udtørring, idet virus er følsomme over for udtørring.
- Antallet af enterokokker blev generelt ikke reduceret nævneværdigt. Der fandtes tilmed en stigning i antal enterokokker i materiale fra bunden af kompostbeholderen, hvilket indikerer en mulig eftervækst.
- I beholder 1 og 2 blev der opnået en temperatur på mere end 55 °C i midten af kompostmaterialet i hhv. 52,3 og 30,2. timer. Dette

bevirkede, at ingen A. galli æg kunne udvikle sig til infektiøst stadium i beholder 1, og under 1 % kunne udvikle sig i beholder 2.

- I materiale fra bunden af beholderne, kunne ingen A. galli æg udvikle sig til det infektiøse stadium i beholder 1, medens >20 % af æggene kunne udvikles i bunden af beholder 2, hvor maksimumtemperaturen var 8,7 °C lavere end i beholder 1.

6 Overlevelse af indikatororganismer i fæces i modelforsøg, som simulerede centralkomposteringsforhold

6.1 INDLEDNING

I Danmark reguleres anvendelse af kompostprodukter, herunder kompost af spildevandsslam og/eller husholdningsaffald, af "Slambekendtgørelsen" (Miljøstyrelsen, 2000), som specificerer krav til temperatur og behandlingstid for at komposten kan anvendes til jordbrugsformål. For at kunne anvendes uden restriktioner skal komposten have gennemgået en kontrolleret hygiejniseringsproces, hvilket betyder at materialet er blevet opvarmet til minimum 70 °C i minimum én time.

Det fastslås i "Slambekendtgørelsen", at denne kombination af temperatur og behandlingstid kan erstattes af "tilsvarende hygiejnisering", uden at der dog angives alternative procesbetingelser.

Formålet med forsøgene beskrevet i dette kapitel var at undersøge om andre kombinationer af temperatur og behandlingstid kan bibringe kompost af fæces den samme hygiejniseringsgrad som opvarming til 70 °C i én time. Som udgangspunkt blev der derfor foretaget forsøg ved konstant komposteringstemperatur på 50 °C, 55 °C, 60 °C og 65 °C, hvor der fortløbende blev udtaget prøver efter et nærmere fastlagt skema. På denne måde blev hygiejniseringsgraden fastlagt afhængigt af behandlingstid og procestemperatur.

Da der ikke fandtes centralkomposteringsanlæg i Danmark, som i fuld skala behandlede fæces, blev forsøgene udført vha. et modelsystem (Møller and Reeh, 2002; Møller and Reeh, in press), som simulerer forholdene i et fuldskalaanlæg. Systemet består af seks kompostreaktorer på hver 9 l, hvor temperatur og beluftningsforhold kan styres fra en PC (fig. 6.1 og 6.2).

Efter en række indledende forsøg blev overlevelse af indikatorerne, som er vist i tabel 6.1, undersøgt ved fire forskellige temperaturer fra 50-65 °C (tabel 6.2). Der blev herefter beregnet overlevelseskurver for mikroorganismene som funktion af eksponeringstiden ved de pågældende temperaturer.

6.1.1 Formål med forsøgene

- at undersøge overlevelse af indikatororganismer under simulerede centralkomposteringsforhold.
- at beskrive sammenhængen mellem overlevelse af indikatororganismene og temperatur ved procestemperaturer mellem

50 °C og 65 °C som alternativ til "Slambekendtgørelsens" hygiejniseringskrav.

6.2 MATERIALER OG METODER

6.2.1 Opsætning af forsøg

For at undgå spredning af indikatororganismerne i forsøgsmiljøet og sikre en homogen fordeling af disse i det fækale materiale blev materiale og indikatorer placeret i kapsler med semi-permeabel membran. Kapslerne blev forberedt, som beskrevet i afsnit 4.2.3.1 og placeret i kompostreaktorerne, når den ønskede forsøgstemperatur var opnået. Kapslerne blev udtaget efter eksponeringstider, som angivet i tabel 6.2. Ved hver prøveudtagning blev der udtaget to kapsler til analyse fra hver reaktor. De udtagne kapsler blev derefter opbevaret på køl ved 4-5 °C og analyseret inden for 24 timer. Anvendte metoder og analyser er beskrevet i afsnittene 4.2.3.2 og 4.2.3.3.

6.2.2 Modelkomposteringssystem

Laboratoriesystemet består af seks reaktorer på hver 9 l. Hver reaktor er isoleret med et polyurethanlag. Systemet kontrolleres fra en PC med proceskontrol- og dataopsamlingssoftware (Genesis™ for Windows).

Kort beskrevet fungerer systemet således: Kontrol af komposttemperaturen foregår ved at kontrollere temperaturen på procesluften. En luftpumpe recirkulerer procesluft med en hastighed på op til 35 l/min. Procesluften passerer et kombineret varme- og kølelegeme, således at temperaturen på den luft, som kommer ind i reaktoren, kan kontrolleres. En temperaturføler måler temperaturen i komposten.

Tilførsel af frisk luft til komposten reguleres af en separat luftpumpe, som også kontrolleres fra computeren. Den indkomne mængde af frisk luft måles kontinuerligt vha. en elektronisk flow-måler. På denne måde kan procestemperatur og beluftningsgrad reguleres uafhængigt. Udblæsningsluften fra hver reaktor fordeles vha. en multiplexor til en gasanalysator, der måler koncentrationen af ilt og kuldioxid. På denne måde kan ilt- og kuldioxidstatus bestemmes i reaktorerne.

Kompostreaktorsystem

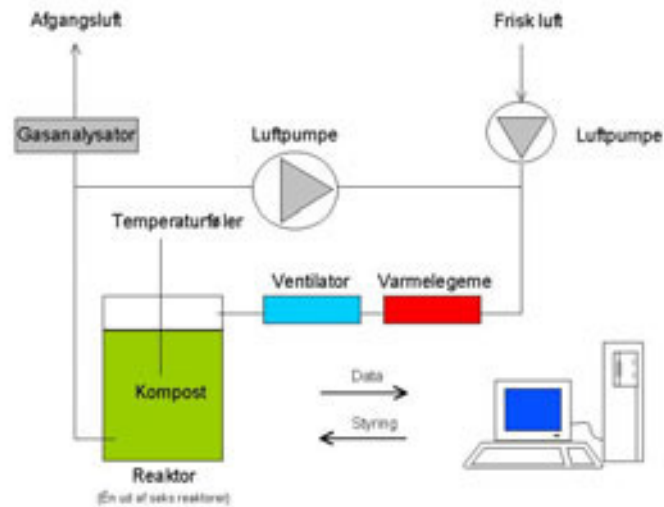


FIG. 6.1. PRINCIPDIAGRAM AF KOMPOSTREAKTORSYSTEMET.

Fig. 6.1 viser en skematisk fremstilling af reaktorsystemet. På fig. 6.2 ses fem af seks reaktorer med det tilhørende elektroniske reguleringsystem, som er anbragt oven over reaktorerne.



FIG. 6.2. KOMPOSTREAKTORSYSTEMET. REAKTORER MED TILHØRENDE STYRINGSENHEDER.

Laboratoriesystemet tillader en høj grad af kontrol over komposteringsprocessen. Ud over muligheden for at fastsætte en maksimum og minimum procestemperatur kan man lade komposttemperaturen følge en på forhånd defineret temperaturprofil. Mht. iltkoncentrationen i reaktorerne er det på tilsvarende vis muligt at regulere denne parameter vha. computeren, således at der kan specificeres

en maksimum- eller minimumkoncentration under komposteringen (denne feature blev dog ikke benyttet i nærværende projekt).

6.2.3 Mikrobiologisk måleprogram

Med udgangspunkt i forekomsten af indikatororganismer og smitstoffer i fækaler fra mennesker, som beskrevet i tidligere afsnit af rapporten, blev de mikrobiologiske parametre, der er angivet i tabel 6.1, udvalgt til måleprogrammet. De enkelte anvendte parametre er yderligere beskrevet i afsnit 2.4.

TABEL 6.1. MIKROBIOLOGISKE PARAMETRE MÅLT VED CENTRAL EFTERKOMPOSTERING AF FÆCES

Parametre	Analysemetode
Suspekterte termotolerante coliforme bakterier	se afsnit 4.2.3.2
<i>Salmonella senftenberg</i> 775W	se afsnit 4.2.3.3
<i>Salmonella typhimurium</i> fag 28B	se afsnit 4.2.3.3
Enterokokker	se afsnit 4.2.3.2

TABEL 6.2. PRØVEUDTAGNINGSTIDSPUNKTER OG KOMPOSTERINGSTEMPERATURER

Temperatur	Prøveudtagningstider (timer (t) eller minutter (min))											
	0 t	3 t	6 t	22 t	28 t	48 t	70 t	95 t	120 t	150 t	172 t	238 t
50 °C	0 t	3 t	6 t	22 t	28 t	48 t	70 t	95 t	120 t	150 t	172 t	238 t
55 °C	0 t	2 t	4 t	6 t	23 t	48 t	73 t	103 t	125 t	143 t	-	-
60 °C	0 t	1 t	2 t	3 t	6 t	14 t	19 t	37 t	67 t	-	-	-
65 °C	0 min	15 min	30 min	1 t	2 t	3 t	6 t	19 t	43 t	-	-	-

6.3 RESULTATER

6.3.1 Mikrobiologiske målinger

6.3.1.1 Indledende forsøg

Der blev udført en række forsøg med kompostering af frisk og ældre fækalt materiale hentet fra komposttoiletter i Dysekilde. Indledende forsøg viste store variationer i forekomst af indikatorbakterier. Kimtallene i tabel 6.3 repræsenterer bakterieindholdet i fem prøver udtaget fra samme reaktor efter to dages kompostering (materiale fra reaktor 1 i fig. 6.3). Antal termotolerante coliforme bakterier varierede med mere end 2 log-enheder, mens variationen i antallet af enterokokker var noget mindre.

De store variationer i kimtallene gjorde det nødvendigt at identificere en prøvebehandlingsmetode, som mindskede variationen. Efter henvendelser til forskellige firmaer lykkedes det at identificere et kapselsystem, hvori der kan indsættes semi-permeable membraner med forskellige porestørrelser. Ved brug af disse kapsler blev der opnået reproducerbare resultater med lav variation, idet det er muligt at findele det fækale materiale inden tilsætning til kapslerne, ligesom der kan tilsættes kendte mængder af testmikroorganismer. Kapselsystemet er beskrevet i detaljer afsnit 4.2.3.1.

TABEL 6.3. ANTAL INDIKATORBAKTERIER (CFU/G) I FEM PARALLELPRØVER FRA SAMME REAKTOR

Termotolerante coliforme	Enterokokker
$5,8 \times 10^7$	$4,1 \times 10^6$
$5,3 \times 10^5$	$3,8 \times 10^7$
$4,2 \times 10^5$	$2,2 \times 10^6$
$9,7 \times 10^6$	$1,8 \times 10^7$
$8,1 \times 10^5$	-

6.3.2 Temperaturudvikling ved kompostering i komposteringsreaktorer

Under laboratorieforhold med aktiv beluftning af kompostmaterialet og effektiv isolering af komposteringsreaktorerne blev der iagttaget et temperaturforløb, som er typisk for en egentlig komposteringsproces (fig. 6.3). Temperaturen steg hurtigt til maksimumsværdien efter ca. 2 døgn kompostering, hvorefter den langsomt faldt til omgivelsernes temperatur efter 32 døgn (de regelmæssige temperaturudsving på ca. 2,5 °C skyldes bl.a. variationen i omgivelsernes temperatur, idet reaktorerne ikke blev temperaturreguleret). Temperaturforøgelsen i starten af forsøget var ledsaget af forhøjet iltforbrug og kuldioxidproduktion.

Der blev dog kun registreret en maksimal temperatur på ca. 39 °C (reaktor nr. 2 efter to døgn kompostering). Den relativt lave opnåede maksimale temperatur skyldes især den forholdsvis lille mængde materiale, som blev komposteret. Kompostering af en større batch vil normalt medføre større varmeudvikling og dermed højere temperatur.

Forsøget viste, at fækalier uden andet tilslagsmateriale end høvlspåner var egnet til kompostering. Udformningen af komposteringsbeholderne, herunder mulighed for isolering og etablering af aerobe forhold, er væsentlige faktorer for igangsættelse af en egentlig komposteringsproces.

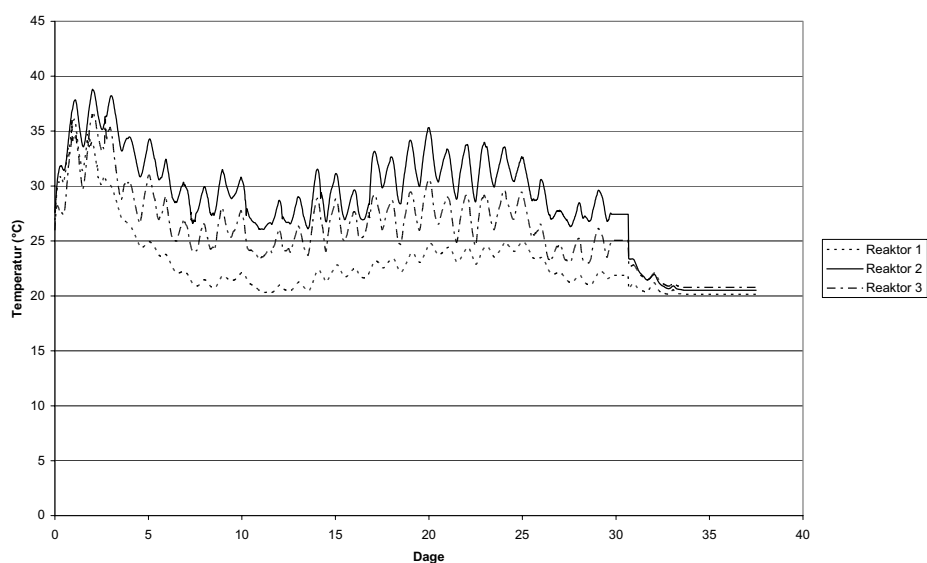


FIG. 6.3. TEMPERATURUDVIKLING VED INDLEDENDE FORSØG MED KOMPOSTERING AF FÆKALIER I KOMPOSTERINGSREAKTORER. MATERIALET I DE TRE REAKTORER VAR FRA SAMME EFTERKOMPOSTERINGSBEHOLDER I DYSSEKILDE.

6.3.3 Temperaturudvikling og kimtalsreduktion ved kompostering af fækalt materiale iblandet tilslagsmaterialer

Formålet med dette forsøg var at fastslå virkningen af forskellige tilslagsmaterialer på komposteringsprocessen og temperaturudviklingen. Desuden blev der igangsat indledende undersøgelser af temperaturens indvirkning på overlevelsen af termotolerante coliforme bakterier og enterokokker.

Fig. 6.4 til 6.9 viser resultater fra disse forsøg, hvor der blev komposteret fæces i reaktorsystemets seks reaktorer. Reaktor 1 og 2 fungerede som kontrolreaktorer, idet disse ikke blev tilsat yderligere tilslagsmaterialer udover toiletteppir og høvlspåner, som allerede var tilsat af brugerne (fig. 6.4 og 6.5).

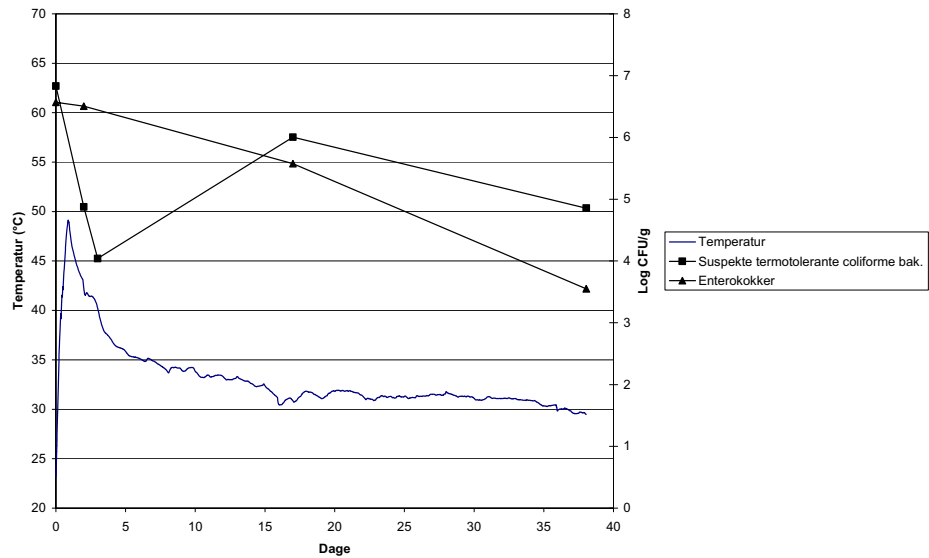


FIG. 6.4. REAKTOR 1. KOMPOSTERING AF FÆKALIER TILBLANDET SAVSPÅNER OG TOILETPAPIR AF BRUGERE. KIMTALSPÅVISNINGSGRÆNSEN VAR 100 CFU/G.

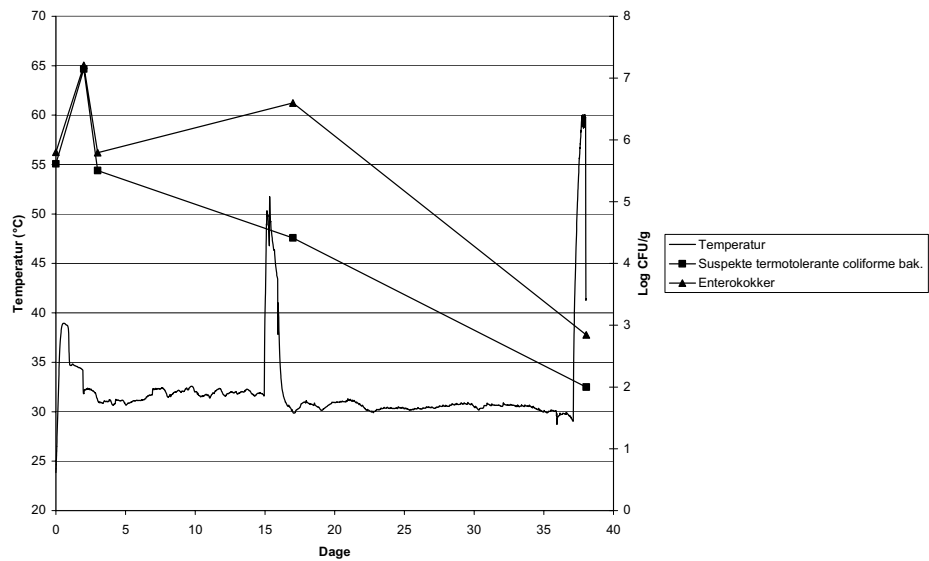


FIG. 6.5. REAKTOR 2. KOMPOSTERING AF FÆKALIER TILBLANDET SAVSPÅNER OG TOILETPAPIR AF BRUGERE. KIMTALSPÅVISNINGSGRÆNSEN VAR 100 CFU/G. EFTER 15 DØGNS KOMPOSTERING BLEV TEMPERATUREN REGULERET TIL 54-55 °C I 7 TIMER OG EFTER 37 DØGN TIL 59-60 °C I 7 TIMER

Fækalt materiale i reaktor 3 og 4 blev tilsat forkomposteret kildesorteret husholdningsaffald fra AFAV komposteringsanlægget i Frederikssund (fig. 6.6 og 6.7).

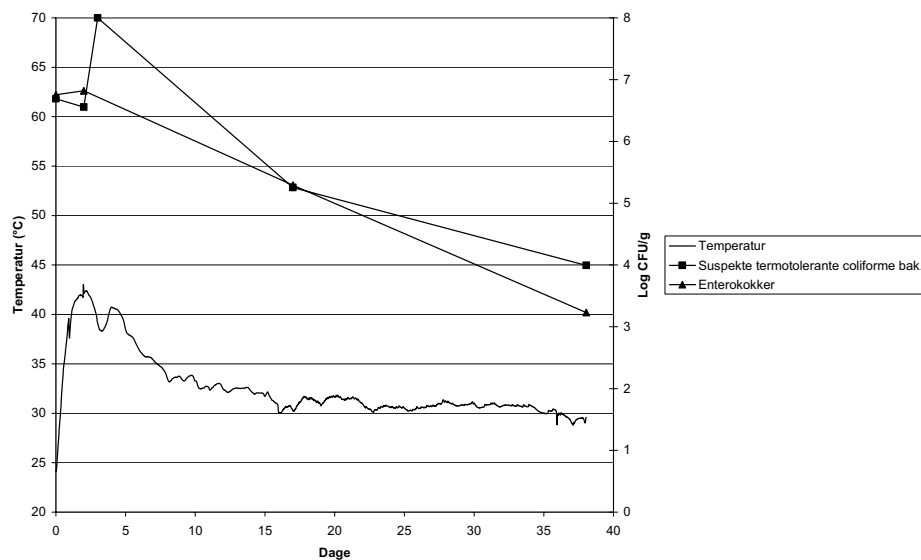


FIG. 6.6. REAKTOR 3. KOMPOSTERING AF FÆKALIER MED TILSÆTNING AF KILDESORTERET HUSHOLDNINGSAFFALD. KIMTALSPÅVISNINGSGRÆNSEN VAR 100 CFU/G.

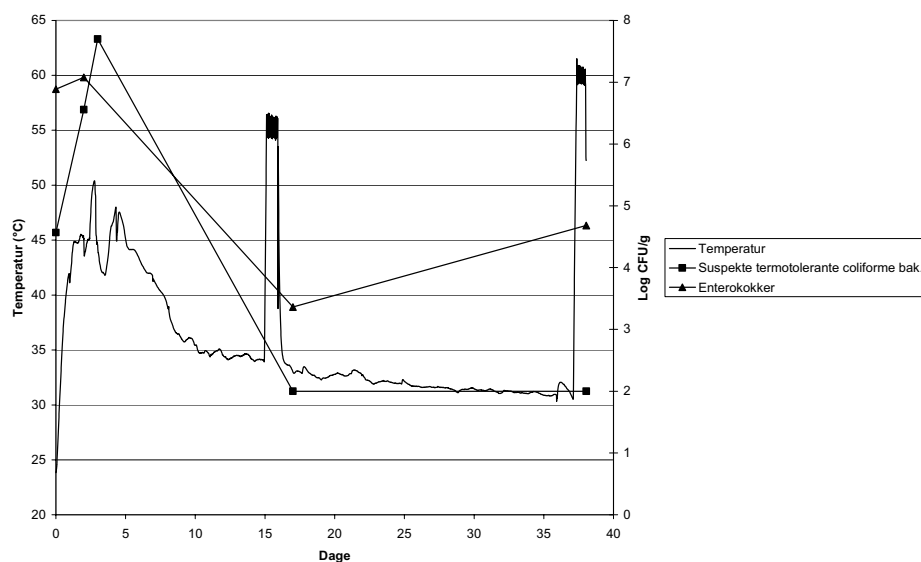


FIG. 6.7. REAKTOR 4. KOMPOSTERING AF FÆKALIER MED TILSÆTNING AF KILDESORTERET HUSHOLDNINGSAFFALD. KIMTALSPÅVISNINGSGRÆNSEN VAR 100 CFU/G. EFTER 15 DØGN KOMPOSTERING BLEV TEMPERATUREN REGULERET TIL 54-55 °C I 19 TIMER OG EFTER 37 DØGN TIL 59-60 °C I 15 TIMER.

Fækalt materiale i reaktor 5 og 6 blev tilsat et celluloseholdigt produkt (handelsnavn "Mor Mylla"), som benyttes en del i Sverige (fig. 6.8 og 6.9).

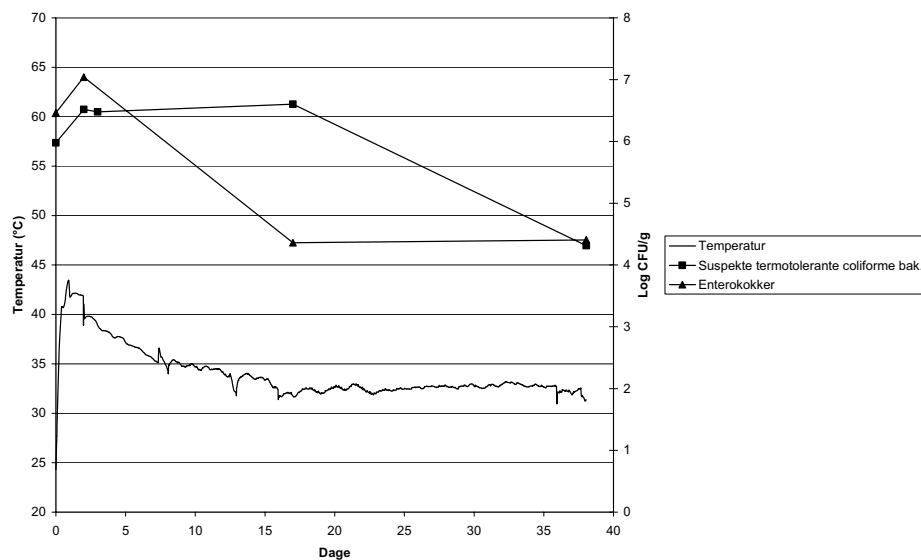


FIG. 6.8. REAKTOR 5. KOMPOSTERING AF FÆKALIER MED TILSÆTNING AF CELLULOSEPRÆPARAT ("MOR MYLLA"). KIMTALSPÅVISNINGSGRÆNSEN VAR 100 CFU/G.

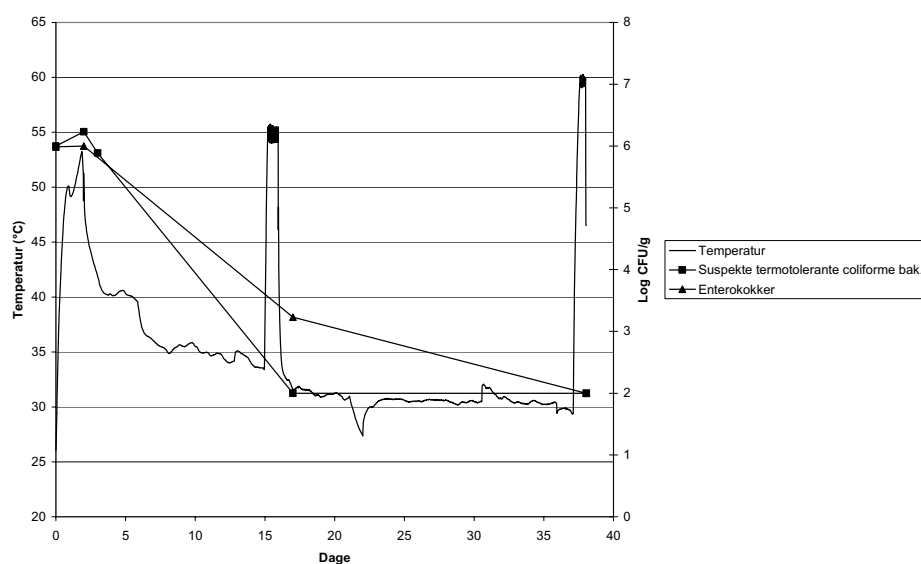


FIG. 6.9. REAKTOR 6. KOMPOSTERING AF FÆKALIER MED TILSÆTNING AF CELLULOSEPRÆPARAT ("MOR MYLLA"). KIMTALSPÅVISNINGSGRÆNSEN VAR 100 CFU/G. EFTER 15 DØGNS KOMPOSTERING BLEV TEMPERATUREN REGULERET TIL 54-55 °C I 18 TIMER OG EFTER 37 DØGN TIL 59-60 °C I 16 TIMER.

Der var ingen entydig sammenhæng mellem typen af tilslagsmateriale og den registrerede maksimale temperatur, idet den højeste temperatur på 54 °C blev målt i reaktor 6, som var tilsat cellulosemateriale, mens den maksimale temperatur i reaktor 5, som blev tilsat det samme materiale, kun var 43 °C. Den laveste temperatur på 39 °C blev målt i kontrolreaktor 2. Derimod var maksimumstemperaturen i den anden kontrolreaktor (reaktor 1) 49 °C.

Der blev endvidere foretaget en kontrolleret øgning af temperaturen i reaktorerne 2, 4 og 6 efter henholdsvis 15 og 37 døgns kompostering for at undersøge effekten på overlevelsen af indikatorbakterierne (fig. 6.5, 6.7 og 6.9).

I de kompostreaktorer, hvor der ikke blev temperaturreguleret, blev termotolerante coliforme bakterier og enterokokker påvist ved alle prøvetagninger. Der skete dog en reduktion på mere end 1 log-enhed i alle forsøg (fig. 6.4, 6.6 og 6.8).

I reaktorerne 2, 4 og 6 blev temperaturen reguleret efter henholdsvis 15 og 37 døgn kompostering for at undersøge overlevelse af indikatorbakterierne. Syv timers kompostering ved 54-55 °C havde tilsyneladende ingen reducerende effekt på antal indikatorbakterier (fig. 6.5). Efter yderligere 7 timers eksponering af materialet, nu til temperaturer mellem 59-60 °C, kunne termotolerante coliforme bakterier ikke længere påvises, mens antallet af enterokokker var reduceret til < 1000 cfu/g.

Ved 18-19 timers kompostering ved 54-55 °C blev antallet af termotolerante coliforme bakterier reduceret til under påvisningsgrænsen, mens antallet af enterokokker blev reduceret til ca. 1000 cfu/g (fig. 6.7 og 6.9). Yderligere forhøjet temperatur til mellem 59-60 °C i henholdsvis 15 og 16 timer reducerede i ét tilfælde antallet af enterokokker til under detektionsgrænsen. Der skete dog her tilsyneladende en eftervækst i reaktor 4, idet der blev målt mere end 10.000 enterokokker/g.

6.3.4 Kimtalsreduktion i komposteringsreaktorer ved konstante termofile temperaturforhold

Resultaterne i dette afsnit stammer fra forsøg udført vha. reaktorkomposteringssystemet, hvor temperaturen blev holdt konstant, som angivet i tabel 6.2. Resultaterne for målinger af kimtalsreduktioner i kompostreaktorerne med 'best fit'-linier for hver temperatur er vist i fig. 6.10 til 6.13.

Suspekte termotolerante coliforme bakterier

Antal suspekte termotolerante coliforme bakterier blev som forventet reduceret til <10 cfu/g indenfor 24 timer ved alle temperaturer (fig. 6.10). Reduktionen foregik hurtigst ved 65 °C, hvor detektionsgrænsen på 10 cfu/g blev nået efter 30 minutter. Ved 60 °C tog det 2 timer at nå en reduktion til <10 cfu/g, ved 55 °C 4 timer og ved 50 °C 22 timer.

Salmonella senftenberg

Antal *S. senftenberg* blev ligeledes reduceret til <10 cfu/g indenfor 24 timer ved alle temperaturer (fig. 6.11). Ved 65 °C blev detektionsgrænsen på 10 cfu/g nået efter 30 minutter, ved 60 °C efter 2 timer, ved 55 °C efter 6 timer og ved 50 °C efter 22 timer.

Salmonella typhimurium fag 28B

Antal *S. typhimurium* fag 28B blev reduceret til <100 pfu/g indenfor 5 døgn ved alle temperaturer (fig. 6.12). Ved 65 °C blev detektionsgrænsen på 100 pfu/g nået efter 43 timer, ved 60 °C efter 37 timer, ved 55 °C efter 3 døgn og ved 50 °C efter 5 døgn.

Enterokokker

Antal enterokokker blev reduceret til <10 cfu/g inden for 10 døgn ved alle temperaturer (fig. 6.13) og var dermed den mest varmetolerante kimtalsparameter. Ved 65 °C blev detektionsgrænsen på 10 cfu/g nået efter 43

timer, ved 60 °C efter 67 timer, ved 55 °C efter 5-6 døgn og ved 50 °C efter 10 døgn.

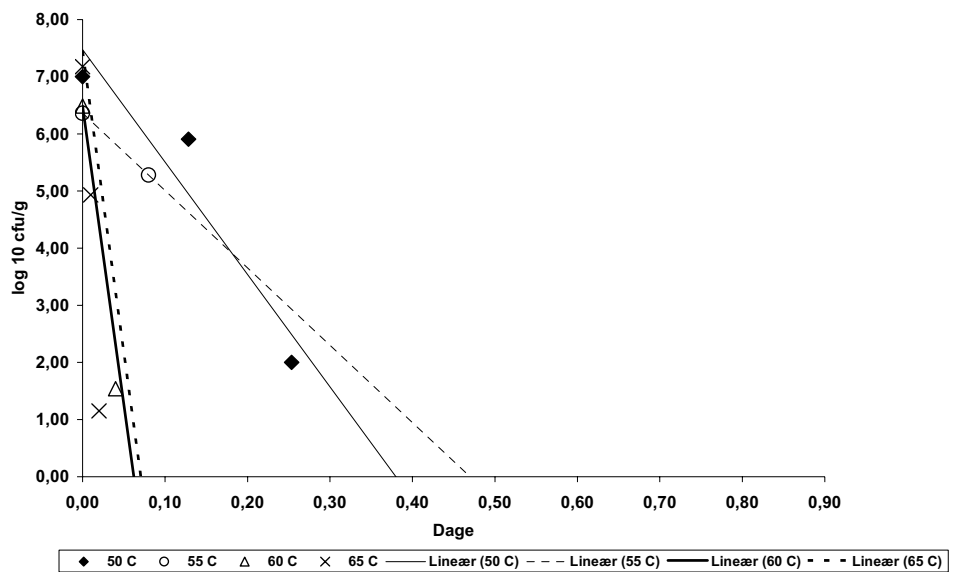


FIG. 6.10. OVERLEVELSE AF SUSPEKTE TERMOTOLERANTE COLIFORME BAKTERIER VED FØRSKELLIGE TEMPERATURER I KOMPOSTREAKTORER.

I fig. 6.10 til 6.13 er tilføjet regressionslinier, hvor ligningen for hver af disse er angivet efter hver figur. R^2 angiver 'goodness of fit', dvs. hvor godt linien passer til data. For suspekter termotolerante coliforme bakterier var liniernes 'goodness of fit' god for alle temperaturer:

$$50\text{ }^\circ\text{C}: y = -19,67x + 7,47 \quad R^2 = 0,90$$

$$55\text{ }^\circ\text{C}: y = -13,54x + 6,36 \quad R^2 = 1$$

$$60\text{ }^\circ\text{C}: y = -123,66x + 6,49 \quad R^2 = 1$$

$$65\text{ }^\circ\text{C}: y = -301,23x + 7,43 \quad R^2 = 0,98$$

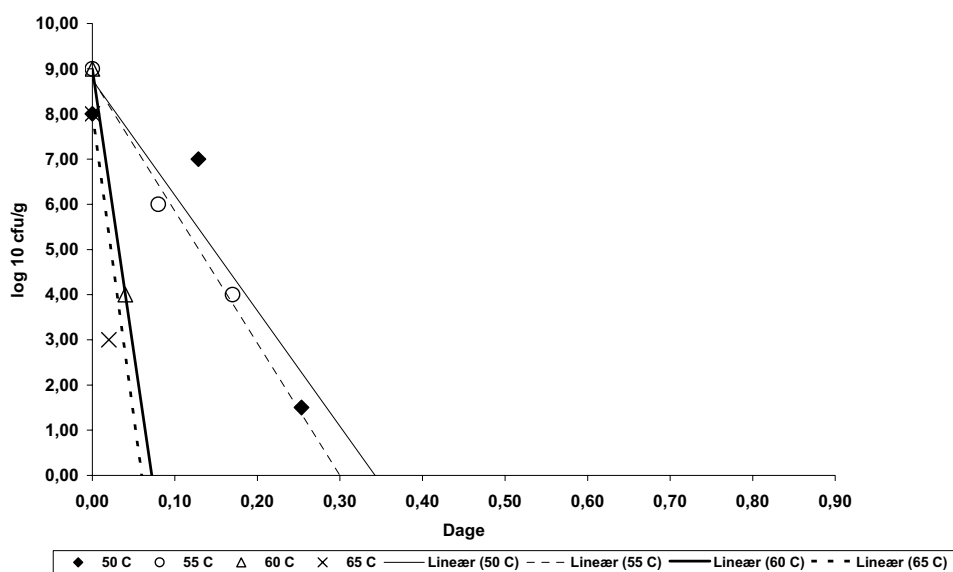


FIG. 6.11. OVERLEVELSE AF *SALMONELLA SENFTENBERG* VED FORSKELLIGE TEMPERATURER I KOMPOSTREAKTORER.

For *Salmonella senftenberg* var 'goodness of fit' god for alle temperaturer:

50 °C: $y = -25,56x + 8,75$ $R^2 = 0,86$

55 °C: $y = -29,26x + 8,77$ $R^2 = 0,98$

60 °C: $y = -125,00x + 9,00$ $R^2 = 1$

65 °C: $y = -250,00x + 8,00$ $R^2 = 1$

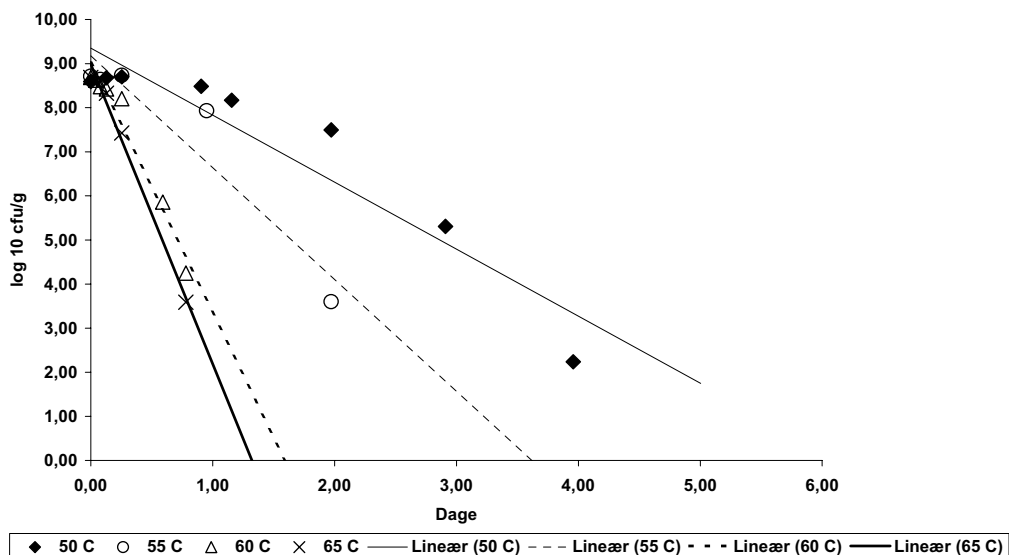


FIG. 6.12. OVERLEVELSE AF *SALMONELLA TYPHIMURIUM* FAG 28 B VED FORSKELLIGE TEMPERATURER I KOMPOSTREAKTORER.

For *Salmonella thyphimurium* fag 28B var 'goodness of fit' høj for alle temperaturer:

$$\begin{aligned} 50\text{ }^{\circ}\text{C}: y &= -1,52x + 9,35 & R^2 &= 0,89 \\ 55\text{ }^{\circ}\text{C}: y &= -2,54x + 9,17 & R^2 &= 0,90 \\ 60\text{ }^{\circ}\text{C}: y &= -5,67x + 9,02 & R^2 &= 0,96 \\ 65\text{ }^{\circ}\text{C}: y &= -6,79x + 8,98 & R^2 &= 0,99 \end{aligned}$$

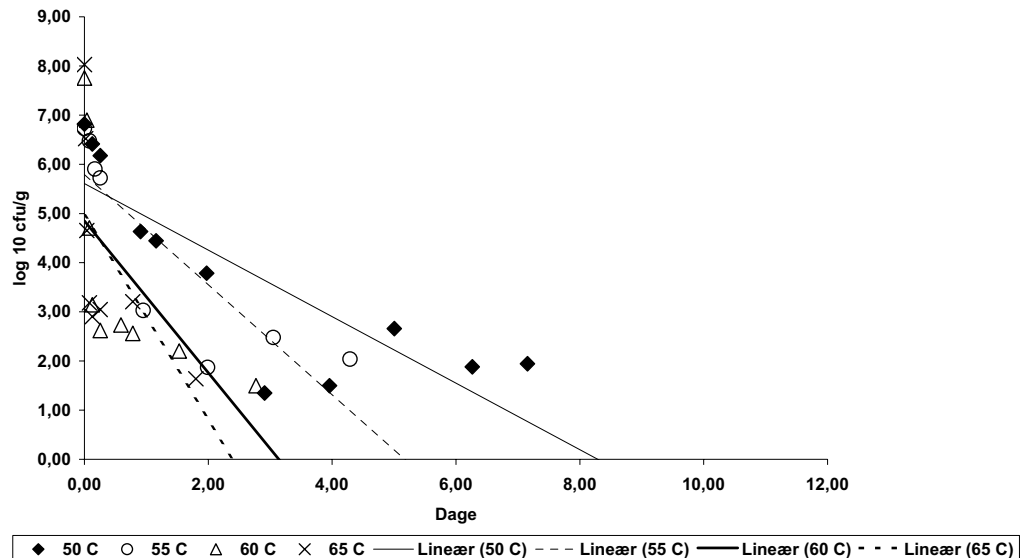


FIG. 6.13. OVERLEVELSE AF ENTEROKOKKER VED FORSKELLIGE TEMPERATURER I KOMPOSTREAKTORER.

For enterokokker var 'goodness of fit' bedst for de to laveste temperaturer og generelt dårligere end for de foregående indikatororganismer:

$$\begin{aligned} 50\text{ }^{\circ}\text{C}: y &= -0,68x + 5,61 & R^2 &= 0,70 \\ 55\text{ }^{\circ}\text{C}: y &= -1,12x + 5,79 & R^2 &= 0,73 \\ 60\text{ }^{\circ}\text{C}: y &= -1,54x + 4,85 & R^2 &= 0,42 \\ 65\text{ }^{\circ}\text{C}: y &= -2,08x + 4,95 & R^2 &= 0,37 \end{aligned}$$

Ud fra regressionsanalyser kan tiden det tager at opnå en kimtalsreduktion på 4 log-enheder beregnes. Som eksempel angives her beregningen for termotolerante coliforme bakterier ved 50 °C:

$$\begin{aligned} \text{Af ligningen angivet under fig. 6.10 ved } 50\text{ }^{\circ}\text{C f\aa}s: y &= -19,67X + 7,47 \Rightarrow \\ x &= (7,47 - Y) / 19,67. \end{aligned}$$

Hvis delta X beregnes for en reduktion på 4 log-enheder, f.eks. fra Y=8 til Y=4 fås:

$$\text{Delta X} = ((7,47 - 4) / 19,67) - (7,47 - 8) / 19,67) = >$$

$$\text{Delta X}_{4 \text{ log-reduktion}} = 4 / 19,67 = 0,20 \text{ dage} = 4,88 \text{ timer}$$

Lignende beregninger er foretaget for alle de undersøgte mikroorganismer og resultaterne er vist i tabel 6.4, som også indeholder beregninger af tider for 1-log kimtalsreduktioner (T_{90}).

TABEL 6.4. TIDSKONSTANTER FOR AT OPNÅ EN REDUKTION PÅ HHV. 1 OG 4 LOG-ENHEDER VED FORSKELLIGE BEHANDLINGSTEMPERATURER

Temperatur	Tid for 1 log-reduktion (T_{90} ; timer)			
	Termotol. coliforme	<i>Salmonella</i>	Fag	Enterokokker
50 °C	1,22	0,94	15,79	35,48
55 °C	1,77	0,82	9,46	21,45
60 °C	0,19	0,19	4,23	15,54
65 °C	0,08	0,10	3,53	11,52
	Tid for 4 log-reduktion (timer)			
	Termotol. coliforme	<i>Salmonella</i>	Fag	Enterokokker
50 C	4,88	3,76	63,17	141,90
55 C	7,09	3,28	37,86	85,81
60 C	0,78	0,77	16,92	62,17
65 C	0,32	0,38	14,13	46,09

Sammenhængen mellem hastigheden hvormed indikatororganismerne blev reduceret og komposteringstemperaturen er angivet i fig. 6.14, hvor 4 log-reduktionstiderne er afbillede som funktion af temperaturen. I en semi-logaritmisk afbildning vil sammenhængen ofte være tilnærmelsesvis lineær, hvilket også var tilfældet i disse forsøg.

Antal *S. senftenberg* 775W blev reduceret noget hurtigere sammenlignet med antal termotolerante coliforme bakterier. Bakteriofagen viste som forventet en relativt markant øget overlevelse ved alle undersøgte temperaturer.

Mod forventning blev antal enterokokker reduceret langsommere end de andre parametre, inklusiv bakteriofagen. Fundene for enterokokker er højst overraskende og er ikke i overensstemmelse med litteraturen, i modsætning til reduktionstiderne for de andre parametre.

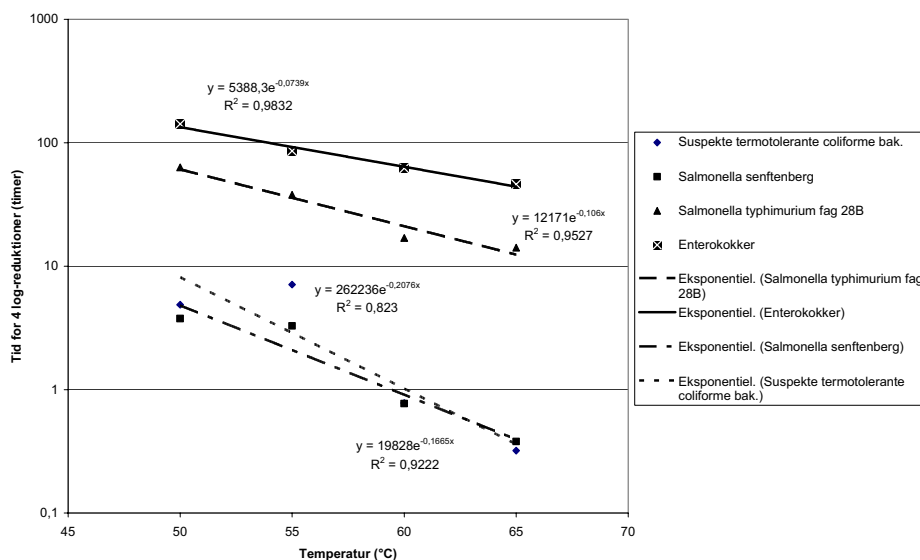


FIG. 6.14. OPHOLDSTID I KOMPOSTERINGSREAKTORER SOM SIKREDE EN REDUKTION AF ANTALLET AF INDIKATORORGANISMER PÅ 4 LOG-ENHEDER ANGIVET SOM FUNKTION AF BEHANDLINGSTEMPERATUREN.

Forklaringerne på den meget langsomme reduktion af enterokokantallet kan være flere. Således kunne temperaturen i kapslerne have været lavere sammenlignet med omgivelserne. Endvidere kunne temperaturen i kompostreaktorerne have været lavere end antaget. Sidstnævnte var muligvis

tilfældet i forsøget, som blev udført ved 65 °C, hvor det viste sig vanskeligt at fastholde temperaturen præcist, men ved de lavere temperaturer var dette ikke tilfældet og kan således ikke forklare de opnåede resultater.

6.4 DELKONKLUSIONER

- Forekomst og fordeling af termotolerante coliforme bakterier og enterokokker i fækalt materiale i kompostbeholdere var heterogen med store kimtalsvariationer ved indledende dobbeltbestemmelser.
- I modelforsøg uden temperaturregulering med fæcesmateriale fra en efterkomposteringsbeholder blev der iagttaget en begrænset temperaturudvikling til maksimum 39 °C med betydelig temperaturvariation ($\pm 2,5$ °C).
- Efter tilsætning af forkomposteret husholdningsaffald og celluloseholdigt materiale blev der opnået en kraftigere temperaturudvikling (maksimum 54 °C), men der var ingen entydig sammenhæng mellem typen af tilslagsmateriale og temperaturudvikling.
- En kontrolleret øgning af temperaturen til mellem 54-60 °C efter henholdsvis 15 og 37 døgns kompostering havde en varierende reducerende effekt på antallet af indikatorbakterier. Der blev således ikke opnået fuldstændig drab på indikatorbakterier ved de høje temperaturer.
- I centralkomposteringsforsøgene ved konstante temperaturer mellem 50-65 °C fandtes der varierende reduktionshastigheder for de enkelte indikatororganismer. *S. senftenberg* var den mest varmesensitive og enterokokker de mest varmeresistente. Sidstnævnte forhold er overraskende, da det normalt vil forventes, at *S. typhimurium* fag 28B er mere varmeresistent sammenlignet med enterokokker.
- Resultaterne af de centrale komposteringsforsøg viser, at hvis der kan opnås en ensartet temperatur på 50 °C eller derover i mere end 10 døgn, vil der kunne opnås en hygiejnisering af materialet med fuldstændigt drab af alle testede indikatororganismer.

7 Brugerundersøgelse

7.1 INDLEDNING

Emnerne for brugerundersøgelsen var brugernes erfaringer med etablering og funktion og anvendelse af anlæggene, og spørgsmålene blev formulerede ud fra erfaringer fra tidligere undersøgelser af komposttoiletsystemer (se f.eks. Backlund et al., 2003).

Undersøgelsen sigtede dels imod en funktionsanalyse ved at karakterisere systemernes driftsstabilitet og robusthed og identificere eventuelle problemer i form af bl.a. støj, lugt, fluer, stop i urinsystem, dels at karakterisere brugernes opfattelse af systemerne, håndteringen og eventuelle problemer dermed.

7.1.1 Formål med brugerundersøgelsen

Ved direkte kontakt med brugerne:

- at beskrive erfaringer med komposttoiletkonceptet vha. spørgeskema/interviewundersøgelse.

7.2 MATERIALER OG METODER

Samtlige 13 husstande hvis toiletsystemer er beskrevet i afsnit 3.2.1 deltog i undersøgelsen.

Brugerundersøgelsen blev gennemført i perioden december 2001 til marts 2003. Der blev udarbejdet et spørgeskema (Bilag C), som har ligget til grund for telefoniske og personlige samtaler samt korrespondance med én til to voksne personer i hver af de husstande som indgik i undersøgelsen.

7.3 RESULTATER

7.3.1 Generelle oplysninger om brugerne

Antal faste brugere pr. husstand

Det hyppigst forekommende antal faste brugere i husstandene var fire personer med et gennemsnit for de 13 husstande på 3,2.

De faste brugeres aldersmæssige fordeling

Der var en stor gruppe børn i alderen 4-15 samt deres forældre i alderen 31-45. Ingen af de faste brugere var over 75 år.

Brugererfaringer med de udvalgte anlæg

Brugerne havde fra 4-14 års erfaring med anlæggene. Længst samlet erfaring med komposttoiletsystemer havde et par på ca. 70, der udover at have et "Mullis"-system i 14 år, tidligere havde haft et "Clivus Multrum" i 26 år.

Baggrund for og formål med etablering af komposttoiletsystemet
Alle brugere fremhævede økologiske overvejelser som primær bevæggrund for etablering af komposttoiletsystemerne.

Erfaringer fra etablering af komposttoiletsystemerne
Anlæggene blev installeret i perioden 1989-1999, og brugerne berettede, at de generelt ingen problemer havde haft ved installation og montering af kompostbeholdere, ventilationssystem, toiletstol og eventuelt urinsystem uanset anlægstype (ved besøg på stedet syntes nogle af kompostbeholderne dog at være meget vanskeligt tilgængelige på grund af placering i snævre rum med svære adgangsforhold).

7.3.2 Erfaringer fra anvendelse af komposttoiletsystemerne

Komposttoiletsystemerne benyttedes af 2-5 faste brugere med fra normal til høj hjemmefrekvens. Anlæg 12 adskilte sig ved i hele perioden siden installationen i 1998 udelukkende at være brugt af lejere.

7.3.2.1 Rengøring

De forskellige systemer krævede forskellige former for rengøring bestemt af bl.a. type toiletstol og kompostbeholder. Der var desuden individuelle præferencer brugerne imellem.

Toiletstol

Rengøring varierede bl.a. alt efter type toiletstol. Der blev ved rengøringen ofte anvendt meget beskedne mængder vand for at minimere tilførsel af vand fra toilettet til kompostbeholderen. Kun én fandt rengøringen af toiletkummen lidt vanskelig. I to af anlæggene med "WM-ES" brugtes vandskylling til urin slet ikke, idet brugerne anså det for at være tilstrækkeligt med almindelig rengøring.

Kompostbeholdere

Ingen havde kommentarer til rengøring af kompostbeholderne. De kontinuerlige systemer indeholder normalt konstant materiale og rengøres ikke indvendig.

Nedfaldsrør

En enkelt bruger kunne godt ønske sig en bedre mulighed for at rengøre nedfaldsrøret. En bruger rengjorde nedfaldsrøret i forbindelse med beholderskift.

TABEL 7.1. BRUG AF RENGØRINGSMIDLER

Anlæg .	Svar vedrørende brug af rengøringsmidler
1	Kun vand
2	Miljøvenlig Ecocover universalrengøringsmiddel
3	Miljøvenlig Ecocover/Bluecare universalrengøringsmiddel
4	Af og til miljøvenlig Ecocover
5	Miljøvenlig skurecreme og universalrengøringsmiddel
6	Varmt vand og salt, sjældent miljøvenlig universalrengøringsmiddel
7	Eddike og varmt vand
8	Miljøvenlige midler
9	Miljøvenlig sæbe
10	Miljøvenlig sæbe
11	Miljøvenligt flydende sæbe
12	Lejers brug kendes ikke
13	Eddike og miljøvenlige midler

Rengøringsmidler

Rengøring og anvendelse af rengøringsmiddel i komposttoiletsystemer kan influere på de biologiske processer og på slutproduktets kvalitet. Valg af rengøringsmiddel kan have indflydelse på begge forhold.

Brugerne havde gjort sig nøje overvejelser omkring brug af rengøringsmidler. Én bruger brugte kun vand, en anden eddike og vand. Der var ikke kendskab til, hvad der brugtes til at rengøre det udlejede anlæg. Resten oplyste, at de brugte miljøvenlige rengøringsmidler, primært almindelige sæbeprøder.

7.3.2.2 Brug af tilslagsstoffer

Brug af tilslagsstoffer, herunder hvilken type og i hvilken mængde, kan have afgørende betydning for at undgå problemer med lugt, fluer og vådt materiale, især hvis urin tilføres beholderen. Brug af tilslagsstoffer har også betydning for komposteringsprocessen ved at påvirke iltforhold, C/N-forhold m.m.

TABEL 7.2. BRUG AF TILSLAGSSTOFFER

Anlæg	Mængde, type tilslagsstoffer og hyppighed for tilslag
1	En spand savsmuld hver anden uge
2	Ingen
3	En pose løvtræsspåner hver anden måned
4	En håndfuld høvlspåner sammen med fækaler
5	En håndfuld træspåner sammen med fækaler
6	Træspåner samt benmel – meget sjældent organiske husholdningsrester
7	En håndfuld savsmuld pr. person pr. dag
8	Lidt kompostmiddel og orme af og til samt organiske husholdningsrester
9	Lidt fyrrebark af og til. Orme i 1997. Org. husholdningsrester minus frugt
10	En kop tørv samen med fækaler
11	Organiske husholdningsrester
12	Ingen indtil sommer 2001
13	Ingen

Brugen af tilslagsstoffer varierede meget såvel med hensyn til type af materiale som mængde. I tre anlæg brugtes der slet ikke tilslagsstoffer, i fire skete det lejlighedsvis og i de resterende seks regelmæssigt. Af anvendte materialer kan nævnes savsmuld, træspåner, fyrrebark, tørv, organiske husholdningsrester med eller uden frugtrester, benmel, kompostmiddel (et ikke nærmere angivet kommercielt produkt) og kompostorme. Mængderne varierede fra små mængder en sjælden gang til i alt en spand savsmuld hver 14. dag. Én anvendte ikke frugtrester ud fra erfaringer om, at disse kunne give flueproblemer.

TABEL 7.3. FREKVENS FOR BEHOLDERSKIFT, TØMNING ELLER UDTAGNING AF DELMÆNGDE SAMT MÆNGDER

Anlæg	Beholderskift	Beholdertømning	Udtagning – frekvens og mængder
1	Hver 6. måned	Efter 12 måneder	
2	Hver 7. måned	Efter 14 måneder	
3	Hver 12. måned	Efter 24 måneder	
4	Hver 3. måned	Efter 6 måneder	
5	Hver 12. måned	Efter 48 måneder	
6			Efter første gang: Årligt en trillebør
7			Efter første gang: Årligt
8			Efter første gang: Årligt 50-60 l
9			Første gang efter 6 år- derefter årligt 15-20 l
10			Efter første gang: Årligt 150 l
11			Efter første gang : Årligt 30 l
12			Endnu ikke tømt siden 1998
13			Første gang efter 3 år – derefter 150 l

Frekvens for beholderskift eller udtagning af delmængde
Affaldsbeholderne på 220 l tømtes hver 6., 7. eller 12. måned for materiale som havde en alder på op til 12, 14 og 24 måneder. 140 l beholderne tømtes hver 3. til 4. måned. I anlæg 5 "Snurrelass" tømtes typisk et kammer pr. år med op til 48 måneder gammelt materiale. Tømningsmængder er ikke angivet.

Der er ikke informationer om driftstid inden første tømnning for de tre fladbundsmodeller. Første udtag af delmængde af materiale fra to af skråbundsmodellerne havde været hhv. 3 og 6 år efter etablering. To af anlæggene var én gang blevet fuldstændig tømt for materiale på grund af flueproblemer. Årligt udtaget mængde var 50-60 l fra anlæg 8, 15-20 l fra anlæg 9, 150 l fra anlæg 10, 30 l fra anlæg 11 og 150 l fra anlæg 13. Anlæg 12 var endnu ikke tømt siden 1998. Anlæg 9 og 11 blev kun benyttet af to personer og bruttobeholdervolumenet i beholder 9 var på 2,8 m³. Anlæg 10, hvor der blev udtaget 150 l årligt, benyttedes af 4-5 personer og tilførtes lige så meget tørv som fækallier. Anlæg 13, som benyttedes af 5 personer, men hvor der ikke anvendtes tilslagsstoffer, havde også et årligt udtag på 150 l.

7.3.3 Systemkomponenternes driftssikkerhed og robusthed

Brugerne var generelt tilfredse med driften af systemer og systemkomponenter og anså driftssikkerheden og robustheden for at være god.

7.3.3.1 Toiletstol

De toiletstole, der brugtes i anlæggene, karakteriseredes som tilfredsstillende eller meget tilfredsstillende. Der var imidlertid sket nogle udskiftninger siden etableringen af systemerne. Anlæg 5 "Snurrelass" blev oprindeligt i 1993 leveret med et "Vera" torkloset i plastik. Brugeren vurderede efter brug af dette og tilsvarende erstatningskloset, at de var af for ringe kvalitet og skiftede til et kildesorterende porcelænskloset "WM-ES". Brugeren af anlæg 10 skiftede i 1996 fra kildesamlende plastkloset til kildesorterende "WM-ES" i porcelæn, men her var bevægelsen primært at få kildesortering for at undgå vådt materiale, lugt og fluer.

Kildesortering og urinsystem

Brugeren af det mest anvendte kloset, det kildesorterende "WM-ES", der med et antal af 10 stk. indgik i ni af anlæggene var tilfredse eller meget tilfredse med det kildesorterende porcelænstoilet. Der skete dog på grund af det snævre urinafgangsrør (Ø22 mm) fra toilettet hyppige stop, især hvis der var etableret en vandlås og ikke blev foretaget forebyggende foranstaltninger (forebyggelse og afhjælpning kan ske ved vand med tryk, rensewire, eddike, eddikesyre, kaustisk soda eller lignende). Tre af brugerne havde stop hver anden måned. Én bruger havde stop en gang årligt, mens en anden havde to årlige stop. Én havde kun haft to stop siden indførelse af jævnlige forebyggelsesforanstaltninger, mens en anden endnu ingen stop havde haft. I anlæg 13 med to stk. "WM-ES" uden vandlås var der selv ved kun lejlighedsvis tilsætning af eddike ingen stop. Brugeren af et "WM-ES" i anlæg 7 havde en tilstoppet trykventil til urinskyl, der forventedes udskiftet.

Siddekomfort

Siddekomforten betegnedes generelt som værende god. Brugeren af to af de ni anlæg, hvor "WM-ES" indgik, fandt dog, at siddehøjden på 40 cm var for lav. I anlæg 13 var siddehøjden på de to toiletter blevet forhøjet til 45 cm.

7.3.3.2 Beholdere

Der har generelt ingen problemer været med de meget enkle tekniske løsninger. "Snurredass", der blev udskiftet i projektperioden, ansås dog for at være for svag i plastkonstruktionen. Der var også nogle materialeproblemer med fiberbetonen i anlæggene 6-7, men disse var også udsat for meget hård behandling. Beholderen i anlæg 7 havde f.eks. i perioder stået i op til 20 cm vand. Der havde ingen problemer været med de øvrige beholdere.

7.3.3.3 Ventilationssystem

Ingen brugere nævnte problemer med driftssikkerhed og funktionsdygtighed af el-ventilatorer. De anvendte ventilatorer var med en enkelt undtagelse på 18-40 W. Én ventilator, en brugt computerventilator, skønnedes af brugeren til at være på 1-5 W. Ventilationssystemet med kugleventilator i anlæg 11 fungerede fint. Ventilationssystemet i anlæg 12 ville på et senere tidspunkt blive suppleret med en el-ventilator.

7.3.3.4 Støj

Der var generelt ingen støjgener inde eller ude. En bruger fandt, at ventilationssystemet med en stor el-ventilator gav støj inde i huset. En ventilator var begyndt at give noget mere lyd og trængte til at blive udskiftet. De anvendte ventilatorer var med en enkelt undtagelse på 20-40 W.

7.3.3.5 Lugt

TABEL 7.4. LUGTGENER

Anlæg	Svar angående hyppighed og karakteristik af lugtgener
1	Et par gange årligt fra toilet ved stærk vind fra en bestemt retning
2	Et par gange årligt fra toilet ved stærk vind fra en bestemt retning
3	Fire gange årligt fra toilet ved stærk vind fra bestemt retning. Et par gange i forbindelse med ventilatorstop på grund af fluer
4	Ingen lugtgener
5	Lidt lugt fra beholder og lidt lugt på loft
6	To til fire gange årligt ved stærk nordvestlig vind
7	Ingen lugtgener
8	Ingen lugtgener
9	Lugtgener få gange ved strømsvigt
10	Ingen efter skift til kildesorterende "WM-ES" i 1996
11	Ingen lugtgener
12	Kun en gang fra overløb af drænvæske
13	Ingen lugtgener

Der var generelt temmelig få problemer med lugt. En bruger nævnte, at kildesortering og undertryk fra el-ventilator gjorde badeværelset helt lugtfrit. Fra anlæg 1 og 2, som havde fælles ventilationssystem, kunne der ved hård vind og speciel vindretning 1-2 gange om året opstå lugtgener. Det skyldtes ifølge brugerne, at ventilationen kun var ført op til 30 cm over tagryg. Brugere af anlæg 3 oplevede samme fænomen ca. 4 gange årligt. Anlæg 5 kunne evt. være årsag til noget lugt på loftet. I anlæg 10 havde der været lugtgener inden skift til det kildesorterende "WM-ES" i 1996. Brugeren af anlæg 8 uden el-ventilator, men med vinddrevet kugle-ventilator, der var helt uden lugtproblemer, gjorde opmærksom på, at det er vigtigt at installationer uden el-ventilator minimum skal op en meter over tagryg. Anlæg 12 havde ikke el-ventilator. Der var dog kun en gang rapporteret om lugt fra overløb af væske. Udlejer planlagde at etablere el-ventilator for at sikre et tørrere materiale og mere sikkert at forebygge lugtgener. Nogle brugere bemærkede, at der kunne opstå lugt ved beholderskift, ved strømsvigt, og hvis materialet nåede op til nedfaldsrøret og blokerede luftstrømmen.

7.3.3.6 Fluer

TABEL 7.5. FOREKOMST AF FLUER

Anlæg	Svar angående forekomst af fluer
1	Forekommer især om sommeren
2	Kan forekomme når beholderen er ved at være fyldt
3	Kan forekomme om sommeren
4	Kan forekomme om sommeren – især ved tilslag af for få spåner
5	Ikke siden skift til kildesortering toilet og anvendelse af koralkalk – møl i 2002
6	Tidligere fluer nu møl
7	Pukkelfluer især om sommeren
8	Ikke siden 1996
9	Ingen – pære i ventilationssystemet samt fluepapir
10	Ingen efter skift til kildesortering "WM-ES" i 1996
11	Små fluer kan forekomme – sprøjtes med "Pyrex"
12	Rapporteret en gang af lejer
13	Kun en gang i 1996

Affaldsbeholdere

Alle nævnte, at der kunne være problemer med fluer. Nogle nævnte at risikoen for fluer steg hvis materialet var vådt, og når beholderen var ved at være fuld.

"Snurredass"

Brugeren af "Snurredass" havde i begyndelsen af 1990'erne (ved brug af kildesamlende kloset) haft flueproblemer om sommeren. Efter skift til kildesortering og forbyggende brug af koralkalk havde der været forekomst af møl i 2002.

Fladbundsmodeller

I anlæg 6 havde der været fluer i de første somre, derefter møl. I anlæg 7 havde der været gener fra pukkelfluer. Anlæg 8 havde haft fluegener i 1996.

Skråbundsmodeller

En bruger anvendte lys i ventilationssystemet samt fluepapir. Der var her ingen problemer med fluer. To brugere havde kun haft problemer i 1996. En bruger havde ingen problemer haft efter skift til kildesortering i 1996. Der blev rapporteret om generende bananfluer én gang i det udlejede anlæg. En bruger generedes af små bananfluer og sprøjtede med insektmidlet Pyrex mod dem.

7.3.3.7 Oplevelse ved skift/udtagning/tømning

Syv brugere oplevede ikke tømningen som noget problem. Af dem syntes én, at det var et "ækelt, men kortvarigt og rigtigt godt betalt ubehag". Én syntes at det var svært at tømme "Snurredass", men nemt med affaldsbeholdere. Brugere af anlæg 7 fandt tømningen af "Øko-komperen" fra en lille åbning i et trangt kælderrum vanskelig. Ligeledes var den videre transport op ad en trappe og igennem huset besværlig. Der kunne desuden stå vand i det trange rum, hvilket påvirkede såvel fiberbetonen som materialet i beholderen. Én havde endnu ingen erfaringer med tømning. Én af brugerne med affaldsbeholder i kælderen kunne godt tænke sig et bedre system til at få beholderen op, en anden kunne godt tænke sig bedre pladsforhold i beholderrummet.

7.3.4 Samlet oplevelse af komposttoiletsystemerne

Brugere af systemer med affaldsbeholdere fandt at disse fungerede godt og efter hensigten, men kunne godt ønske sig en nemmere flytning og tømning. Brugeren med beholder i kælderen kunne godt tænke sig en nemmere

forflytning af beholder op til terræn. "Snurredass" var blevet udskiftet til affaldsbeholdere, da husstanden oplevede tømningen af disse som lettere.

Brugerne af systemer med fladbundsmodel i fiberbeton var tilfredse. Begge brugere havde dog meget vanskelige adgangs- og tømningsforhold på grund af placeringen af kompostenheden, der ville umuliggøre anvendelse af enheden for gamle eller svagelige personer. Brugerne af modellen i glasfiberarmeret plast var meget tilfreds. Tre af brugerne af skråbundsmodeller i rustfrie plader eller glasfiberarmeret plast var meget tilfreds med komposttoiletsystemet. Én erklærede sig tilfreds. Ejeren af anlæg 12, der var udlejet, mente, at det var acceptabelt som system til udlejning.

Ændringsforslag

To brugere ønskede en højere siddehøjde på "WM-ES"-toiletstolene. En bruger uden el-ventilator ville montere en sådan. Alle tre brugere af fladbundsanlæg ønskede en større tømningssluge med bedre adgang til materialet.

Oplevelse af skift fra vandskyllende toilet til komposttoiletsystem

Fire brugere fremhævede at komposttoiletsystemet var bedre end et vandskyllende system. Én af dem havde haft komposttoilet siden 1960'erne. Tre syntes ikke, at der var nogen større forskel med hensyn til hygiejne, komfort og brugervenlighed. Én ville skifte tilbage til et vandskyllende system, hvis lejligheden bød sig. Der blev nævnt, at toiletkummerne i komposttoiletter ikke fik kalkbelægninger og derfor var lettere at rengøre, samt at der ikke i toilettet var flydere eller pakninger, der gik i stykker og skulle skiftes. Én fremhævede, at der kun var et lille sug til forskel.

Indtryk af komposttoiletter før etablering og i dag

TABEL 7.6. INDTRYK AF KOMPOSTTOILETTER FØR ETABLERING OG I DAG

Brugere nr.	Indtryk før etablering	Indtryk i dag
1	Positivt	Positivt
2	Delvis negativt	Positivt
3	Delvis negativt	Positivt
4	Delvis negativt	Positivt
5	Positivt	Noget negativt
6	Positivt	Positivt
7	Positivt	Positivt
8	Positivt	Positivt
9	Positivt	Positivt
10	Delvis negativt	Positivt
11	Positivt	Positivt
12	Udlejet – vides ikke	Udlejet – vides ikke
13	Positivt	Positivt

Tre af brugerne af affaldsbeholdere, der var skeptiske i starten, var efter brug af systemerne positive. En havde frygtet, at det ville blive som at gå tilbage til det gamle das. Brugeren var nu efter at have brugt systemet siden 1998 yderst tilfreds. Én bruger, der var positiv fra starten og som stadig positiv, bemærkede dog, at det var "træls", når der var bananfluer, og at det anvendte system kun egnede sig til "mørkegrønne" brugere som dem selv. Brugeren af "Snurredass" havde erstattet dette med et affaldsbeholdersystem og var tilfreds med dette, men ville skifte over til WC, hvis der blev mulighed derfor. Alle tre brugerne af anlæg med fladbundsbeholdere var fortsat positive. Fire af de fem brugere af skråbundsmodellerne var uanset anvendt type toiletstol uforandret positiv. Den sidste var oprindelig noget skeptisk, men blev positiv efter skift til et kildesorterende "WM-ES" porcelænskloset i 1996.

7.4 DELKONKLUSIONER

- Ingen af brugerne havde haft problemer med selve installationen af anlæggene. Placering af nogle af beholderne i snævre og vanskeligt tilgængelige rum, havde dog gjort tilsyn, flytning eller udtagning af materiale vanskelig.
- Rengøring blev ikke anset for et problem. Kun én bruger fandt toiletkummen lidt vanskelig at rengøre. Én bruger kunne godt tænke sig bedre muligheder for at rengøre nedfaldsrøret. Til rengøringen blev der generelt brugt miljøvenlige rengøringsmidler.
- Brug af tilslagsstoffer varierede meget med hensyn til såvel materiale som mængder. Tre husstande brugte slet ingen tilslagsstoffer.
- Brugere var generelt tilfredse med driften af systemer og systemkomponenter og anså driftssikkerheden og robustheden for at være god.
- Brugere var positive over for anvendelsen af kildesorterende toiletstole. (Etablering af vandlås ved hjælp af urinslangen i de kildesorterende toiletstole havde dog fremmet risikoen for og hyppigheden af stop i den snævre urinslange, Ø22 mm).
- Syv af brugerne opfattede ikke beholderskift eller tømning som noget problem. De brugere, der fandt håndteringen noget vanskelig, forbandt ikke dette med selve håndteringen af materialet, men med vanskelige adgangs- og forflytningsforhold.
- Før etableringen af anlæggene havde otte af husstande været positive over for komposttoiletter, mens fire havde været delvis negative. Efter etableringen af anlæggene og egne erfaringer med disse var 11 positive og kun en delvis negativ.

8 Samlet diskussion

8.1 MÅLINGER PÅ FÆCESMATERIALE FRA KOMPOSTTOILETENHEDER I DYSSEKILDE, HJORTSHØJ OG SYD- OG ØSTSVERIGE

8.1.1 Analyseresultater og hygiejnisk kvalitet af fæcesmateriale fra komposttoiletenheder i Hjortshøj, Dyssekilde og Syd- og Østsvrige

Det vigtigste fund i undersøgelserne i Dyssekilde og Hjortshøj var, at der kun skete en yderst begrænset temperaturudvikling i de anvendte fækaliopsamlingsbeholdere. Da de anvendte plastbeholdere er lukkede og kun giver ringe mulighed for tilførsel af luft, kan man ikke forvente at kunne opnå en termofil kompostering, selv ved tilførsel af egnede tilslagsmaterialer. Fækalier fra sådanne beholdere bør således ikke anvendes til jordbrugsformål uden viderebehandling, da dette skønnes at være behæftet med hygiejne- og sundhedsrisici.

Den manglende termofile kompostering var baggrunden for, at der blev igangsat forsøg som beskrevet i kap. 5 og 6. Resultaterne af disse undersøgelser diskuteres i afsnit 8.2 og 8.3. Trods manglende termofil kompostering og generelle lave målte temperaturer blev der uafhængig af fækaliernes alder, toiletsystem og andre forhold ikke påvist egentlige bakterielle smitstoffer i noget prøvemateriale, herunder materiale fra danske og svenske fækaliebeholdere. Dette er bemærkelsesværdigt og kan indikere, at de undersøgte smitstoffer udviser ringe overlevelsessevner i opsamlet fækalt materiale. En vigtig faktor for hyppigheden af forekomst af de undersøgte smitstoffer er selvsagt, hvorvidt disse blev tilført beholderne fra smittede mennesker. Der forekommer ca. 100 tilfælde årligt pr. 100.000 mennesker af infektioner med såvel *Campylobacter* som *Salmonella* (Anon., 2000). Disse sygdomshyppigheder indikerer en ringe sandsynlighed for, at de to smitstoffer blev tilført de undersøgte opsamlingsbeholdere. Men det forhold, at bakterielle smitstoffer kun kan forventes at blive tilført en relativ lille procentdel af fækaliopsamlingsbeholdere, gør, at det bør overvejes om der i fremtidige undersøgelser og måleprogrammer skal anvendes ressourcer på undersøgelser for disse parametre.

Erfaringerne med at analysere for de udvalgte parametre vist i tabel 3.2 var generelt acceptable. Opsamlede fækalier udgør dog et meget heterogent sammensat materiale, herunder mikrobiologisk sammensætning. Det er derfor vigtigt, at der udtages en relativ stor prøvemængde med efterfølgende homogenisering af materialet inden analyse. Membranfiltreringsmetoder var generelt ikke velegnede, da høje koncentrationer af baggrundsmikroflora ofte overvoksede membraner og dermed besværliggjorde eller umuliggjorde aflæsning og tælling af kolonier på membraner. Metoder, inklusiv Most Probable Number (MPN) metoder, som inkluderer 10-folds fortyndninger med efterfølgende udsæd direkte på agarmedier, eventuel efter en opformering i et bouillonmedium, syntes at være mere velegnede til undersøgelse af især indikatorbakterier i fækalt materiale.

Som nævnt tidligere bør det dog overvejes, om de bakterielle smitstoffer skal indgå som standardparametre i fremtidige undersøgelser, da de kun kan forventes tilført opsamlingsbeholdere med lav frekvens. Det samme gælder undersøgelse for parasitæg, som kun blev påvist i små mængder i et fåtal af de analyserede prøver. Resultaterne viste, at kim målt ved 22 °C og 36 °C syntes at kunne udvise vækst i fækalieopsamlingsbeholdere. Disse kimtalsparametre bør derfor ikke anvendes til en vurdering af den hygiejniske mikrobiologiske kvalitet af opsamlede fækalier, men deres antal og vækst kan anvendes som et udtryk for mikrobiel vækst, f.eks. i forbindelse med komposteringsprocesser.

Antal af fækale indikatorbakterier varierede voldsomt, og der var ingen entydig tendens til lavere kimtal ved lange lagringstider. Det bør derfor nøje overvejes, i hvilken udstrækning de traditionelle fækale indikatorbakterier, enterokokker og termotolerante coliforme er velegnede hygiejneindikatorer for opsamlede og behandlede fækalier. *E. coli* syntes således at være en bedre indikator (Christensen et al., 2002). Resultaterne viste en tendens til stigning i antallet af enterokokker ved gentagne målinger. Yderligere karakterisering af enterokokisolater, herunder eksempelvis en genotypning ("DNA fingeraftryk"), er nødvendig til fastlæggelse af, hvilke enterokokker eller enterokoklignende bakterier, som eventuelt kan vokse i opbevarede og behandlede fækalier.

En nordisk undersøgelse af 16 fuldskalaanlæg til kompostering af forskellige typer organisk affald, herunder spildevandsslam, rapporterede om eftervækst af gruppen af enterobakterier og fækale coliforme bakterier (svarende til termotolerante coliforme bakterier), især i stabiliseringsfasen efter kompostering (Christensen et al., 2002). Der blev derimod ikke påvist eftervækst af enterokokker i den nordiske undersøgelse, hvor fækalier fra mennersker dog ikke blev undersøgt. Samlet indikerer resultaterne fra de to undersøgelser, at der er behov for yderligere undersøgelser af opsamlede, behandlede og opbevarede fækalier til fastlæggelse af de(n) optimale fækale bakterielle indikator(er). Anvendelsen af *E. coli* som alternativ til termotolerante coliforme bakterier og enterokokker til bestemmelse af hygiejnisk kvalitet bør her undersøges. *E. coli* blev i den nordiske undersøgelse vurderet som en god indikator til dokumentation af stabiliteten og den hygiejniske kvalitet af komposteret, opbevaret organisk affald (Christensen et al., 2002).

Prøver indsamlet fra kontinuerlige komposttoiletsystemer i Sverige indeholdt relativt lavere antal indikatororganismer. Der kunne således kun påvises termotolerante coliforme bakterier og enterokokker i 1/6 prøver. Resultaterne indikerer en relativ bedre reduktion af disse parametre i de undersøgte kontinuerlige systemer, hvor det fækale materiale i en del af systemerne bevæger sig ned over en skrå bund. Dette kan eventuelt skyldes, at fækalierne i disse systemer får en større lufteksponering og dermed en forventet større mikrobiel aktivitet. Øget udtørring og dermed lavt vandindhold vil også medføre en hurtigere kimtalsreduktion.

8.1.2 Temperaturforhold i kompostbeholdere

Temperaturforholdene i komposteringsenhederne blev i første omgang dokumenteret ved målinger, som blev foretaget i løbet af én dag. Vha. et temperaturspyd blev temperaturen målt forskellige steder i komposteringsenhederne i samtlige enheder i Hjortshøj, Dyssekilde og Sverige, hvorfra der blev udtaget kompostprøver til mikrobiologiske analyser.

Resultaterne af et repræsentativt udsnit af disse målinger kan ses på fig. 3.4 til 3.8. Den rumlige temperaturvariation i beholderne var af samme størrelsesorden som forskellen mellem beholderens og omgivelsernes temperatur. I en 220 l opbevaringsbeholder (fig. 3.4, anlæg 2) målt maksimumtemperaturen på 19 °C i midten af materialet. De laveste temperaturer på hhv. 10 og 12 °C blev målt 10 cm fra beholderens side.

Ved sammenligning af de målte maksimumstemperaturer i materialet med omgivelsernes temperatur (tabel 3.6) ses, at maksimumtemperaturen i materialet aldrig oversteg omgivelsernes temperatur med mere end 11 °C. Disse resultater er ikke overraskende, da der var tale om uisolerede beholdere, som fyldtes gradvis med fæcesmateriale. Varmeafgivelsen til omgivelserne må formodes at være stor, samtidig med at materialets varierende alder resulterede i en lavere varmeproduktion fra materialet end fra en batch af samme størrelse bestående udelukkende af friskt materiale. Disse forhold, samt den ringe mulighed for beluftning af materialet, er forklaringen på fraværet af egentlige termofile komposteringsprocesser i de undersøgte komposteringsenheder.

Vinnerås et al. (2002) understreger nødvendigheden af at isolere kompostbeholdere med tilstrækkeligt tykt lag isoleringsmateriale for at opnå høje temperaturer i fæcesmateriale igennem længere perioder. Der blev dog i deres forsøg benyttet letomsætteligt tilslagsmateriale i form af husholdningsaffald. Ligeledes var fæcesmaterialet forholdsvis friskt, da komposteringen blev udført "on-site" på en sommerlejr, hvor materialet må formodes højst at være nogle få måneder gammelt. Dette er i modsætning til kompostenhederne, der blev undersøgt i nærværende rapport, hvor materialet var mindst tre måneder gammelt og ofte havde ligget i kompostbeholderen i op til 6 måneder.

For at kunne dokumentere eventuelle termofile temperaturforløb i materialet blev en række kompostbeholdere i Hjortshøj udstyret med temperaturdataloggere, og temperaturen blev målt over en periode strækkende sig fra juli 2002 til februar 2003. På fig. 3.9 til 3.11 ses et repræsentativt udvalg af temperaturforløb fra hhv. en 140 l beholder, en 220 l beholder og en fælleskompostbeholder. Resultaterne adskiller sig fra de resultater, der blev opnået ved de enkeltstående målinger beskrevet ovenfor, ved opnåelse af en højere maksimumstemperatur. Maksimumtemperaturen i beholderne oversteg dog på intet tidspunkt 45 °C, og der var ikke mere end højst 15 °C forskel på komposttemperaturen og omgivelsernes temperatur. Disse resultater bekræfter således, at der på intet tidspunkt var egentlige termofile forhold i kompostbeholderne.

Litteraturodata omhandlende temperaturforhold i komposttoiletter, som er direkte sammenlignelige med komposttoiletterne i denne rapport, er få. Under subtropiske forhold (Redlinger et al., 2001) målt temperaturer i komposttoiletter, der relaterede sig på nogenlunde samme måde til omgivelsernes temperatur, som set i nærværende rapport. Der blev her heller ikke målt egentlige længerevarende termofile temperaturforløb i materialet. Til forskel for toiletterne i Hjortshøj, Dyssekilde og Sverige var disse toiletter udstyret med vinduer af plastik, hvilket medførte solopvarmning af fæcesmaterialet.

Den automatiske temperaturomvågning blev udført vha. én-kanals dataloggere placeret i 35 mm filmhylstre (Tinytalk II, Gemini Dataloggers,

UK). Termoføleren – en 10k NTC termistor der måler fra -40 til +85 °C – er anbragt på printkortet. Dataloggeren har således ikke nogen ekstern temperaturføler, og selve dataloggeren anbringes derfor direkte i materialet. Dataloggeren har plads til 1800 temperaturmålinger. For at sikre mod indtrængen af fugt blev dataloggerne anbragt i poser af lamineret plast (P-B Miljø A/S, Bjerringbro) med høj beskyttelse mod væske- og dampindtrængning. Dette system viste sig meget velegnet til at monitorere temperaturforløb i kompostbeholdere: Efter 8 måneders ophold i div. kompostbeholdere kunne data succesfuldt hentes fra samtlige 23 dataloggere, som benyttedes i projektet. Det var samtidig en fordel ved den omtalte type datalogger, at der ikke skal installeres en ekstern temperaturprobe. På den måde kunne forsøgsværterne fortsætte med at benytte beholderne uden at risikere at forstyrre temperaturmålingerne.

8.2 OVERLEVELSE AF INDIKATORORGANISMER I FÆCES LOKALKOMPOSTERET UNDER KONTROLLERED E KOMPOSTERINGSFORHOLD

8.2.1 Henfald af indikatorbakterier og bakteriofag

Maksimumtemperaturer i midten af kompostmaterialet var 43 °C og 49 °C i kompostbeholdere placeret henholdsvis indendørs og udendørs. Disse temperaturer blev opnået i sommermånederne, hvorimod temperaturen i beholderne i efterår og vintermånederne nøje fulgte omgivelsernes. Trods den begrænsede temperaturudvikling blev antal suspekterede termotolerante coliforme bakterier og *S. senftenberg* reduceret kraftigt (> log 4 reduktion) fra initialt 10^{8-9} cfu/g til 10-1.000 cfu/g, med størst reduktion i midten af beholderne. Disse resultater stemmer udmærket overens med resultaterne fra undersøgelserne i Hjortshøj, Dyssekilde og Sverige, hvor der ikke kunne påvises *Salmonella* spp. selv ved lave temperaturer.

Undersøgelsen viste en begrænset (midt i beholder) eller slet ingen reduktion af antal enterokokker, bakteriefag og kimtal ved 37 °C. Som ved undersøgelserne i Hjortshøj, Dyssekilde og Sverige viste antal enterokokker og kimtal ved 37 °C en tilsyneladende stigning ved gentagne målinger. Generelt fandtes store variationer i kimtal, især i antal fager.

S. typhimurium bakteriofag 28B og *S. senftenberg* 775W blev anvendt som indikatorer på henholdsvis bakterielle og virale smitstoffer. Erfaringerne med opformering, prøvebehandling, mikrobiologisk analyse og resultatvurdering ved anvendelsen af de to mikroorganismer var positive. Det skal dog bemærkes, at *S. senftenberg* 775W udviste ringe overlevelse selv ved lave temperaturer. Dette forhold var noget uventet, da *S. senftenberg* 775W sammenlignet med en række andre *Salmonella* serotyper er yderst varmeresistent (Henry et al., 1969).

En mulig forklaring på den hurtige reduktion af antallet af *S. senftenberg* 775W er, at bakterieceller i logaritisk vækstfase er mere varmesensitive sammenlignet med celler i stationær vækstfase. Bakteriecellerne anvendt i projektets forsøg var alle i den sidste del af vækstfasen. Henry et al. (1969) fandt endvidere, at celler dyrket ved 44 °C udviste øget varmeresistens sammenlignet med celler dyrket ved 35 eller 15 °C. Bakteriers vækstfase, dyrkningstemperatur og en række andre faktorer, herunder tilstedeværelse af næringsstoffer ved dyrkning, har stor betydning for cellernes efterfølgende evne til overlevelse, eksempelvis i kompostforsøg.

Anvendelsen af semi-permeable kapsler til tilførsel af *S. typhimurium* bakteriofag 28B og *S. senftenberg* 775W fungerede udmærket. Kapslerne muliggør tilførsel af forskellige mikroorganismer, herunder bakterier, virus og parasitter, i kendte koncentrationer. Kapslerne kan endvidere placeres i flere niveauer og indholdet eksponeres for forskellige temperaturpåvirkninger. I projektet var det ikke nødvendigt at tilsætte termotolerante coliforme bakterier og enterokokker, da disse forekom i tilstrækkelige høje antal i det anvendte fækale materiale. Inden tilsætning af fækalt materiale til kapslerne blev materialet homogeniseret. Det er uvist, om denne homogenisering eventuel kan medfører ændrede temperaturudvikling i kapslerne. Betydning af eventuel ændrede temperaturudvikling i kapslerne er nok minimal, da temperaturerne i kapslerne pga. af disses ringe størrelse kan forventes at være yderst påvirkelig af temperaturen i kapslernes omgivelser (fækalt materiale).

Analyserne for enterokokker bekræftede resultaterne fra Hjortshøj, Dyssekilde og Sverige, idet der blev fundet øget overlevelse og eventuel eftervækst af enterokokker i det indsamlede prøvemateriale. En eventuel eftervækst af enterokokker i fækalt materiale kan påvirke resultaterne på flere måder. Eksempelvis kan der eventuelt forekomme vækst af enterokokker hvis prøvematerialet opbevares for længe og for varmt inden igangsætning af analyse.

8.3 OVERLEVELSE AF INDIKATORORGANISMER I FÆCES LOKALKOMPOSTERET UNDER OPTIMEREDE KOMPOSTERINGSFORHOLD

8.3.1 Vurdering af tiltag for at optimere komposteringsprocessen

Det lykkedes ikke at optimere komposteringsprocessen i 220 l komposteringsbeholdere i så høj grad, at "Slambekendtgørelsens" (Miljøstyrelsen, 2000) krav om temperatur og behandlingstid for at opnå et hygiejniseret slutprodukt kunne opfyldes.

Der blev opnået en maksimumstemperatur på 58,6 °C i midten af kompostmaterialet. I toppen og i bunden af materialet var maksimumstemperaturerne hhv. 42 og 45 °C. De termofile forhold i midten af komposteringsbeholderen var dog af temmelig lang udstrækning, idet temperaturen på dette sted lå over 55 °C i mere end to døgn i træk.

At det ikke lykkedes at nå højere temperaturer i fæcesmaterialet skyldes flere forhold, som er relateret til de betingelser, der blev fastlagt forud for forsøgets start. Det var hensigten at optimere komposteringsprocessen med tiltag, som ikke krævede omfattende modificering af kompostbeholderne, ikke krævede indkøb af vanskeligt tilgængelige eller dyre materialer og som ikke gav ophav til gener i form af fluer, lugt etc. På denne måde vil det være muligt at implementere disse tiltag i allerede eksisterende systemer som f.eks. i Hjortshøj.

For at opfylde disse krav blev der udviklet et system, hvor 220 l komposteringsbeholdere blev udstyret med passiv ventilation vha. af drænrør, isoleret med vintermætter, hvorefter fæcesmaterialet blev iblandet tilslagsmaterialer af græs, en opløsning af husholdningssukker samt NPK-gødning.

Som beskrevet i kapitel 5 resulterede tilsætning af græs, sukkeropløsning og NPK-gødning i stor varmeudvikling i materialet. Der er blandt personer som

hjemmekomposterer en udbredt opfattelse af, at man ikke med fordel kan kompostere græs (Razvi and Kramer, 1996). At dette er en myte, blevet demonstreret af bl.a. Nakasaki et al. (1994) og Nakasaki et al. (1998), som opnåede både høje temperaturer og høj proceshastighed ved kompostering af friskt græs. Shaw et al. (1999) rekommanderer dog, for at undgå anaerobe forhold som resultat af for højt vandindhold, at græs ikke overskrider 30 % af den totale mængde komposteringsmateriale.

I et komposteringsforsøg med en blanding af frisk fæces og husholdningsaffald (Vinnerås et al., 2002) blev der opnået en maksimumstemperatur på 65 °C i en 90 l komposteringsbeholder. Beholderen var udstyret med 20 cm isoleringsmateriale og blev passivt beluftet vha. et ventilationshul i siden nær bunden af beholderen. Maksimumstemperaturen blev dog først opnået efter omstikning af materialet efter 10 døgn kompostering ved en komposteringstemperatur der ikke oversteg 45 °C.

Resultaterne af optimeringsforsøgene viste, at der var større forskel på maksimumstemperaturerne i materialet i det vertikale plan end i det horisontale plan. I det vertikale plan var temperaturen højest i midten af materialet, mens temperaturerne i hhv. top og bund var mere end 10 °C lavere. Dette skyldes sandsynligvis to forskellige forhold: I toppen af beholderen var materialet, for at tillade aerobe forhold, i kontakt med den omgivende luft som ved forsøgstidspunkter var meget kold, mellem 0 og -10 °C. Materialet i bunden var derimod tilstrækkeligt isoleret, men forholdene har muligvis ikke været fuldt aerobe, hvilket har begrænset materialets varmeudvikling.

For at opnå højere komposteringstemperaturer vil det således være nødvendigt at forbedre komposteringsforholdene ved ekstra isolering af toppen af beholderen samt ved at forbedre ventilationsforholdene f.eks. ved at bore et antal huller i beholdernes side nær bunden. Som nævnt af Vinnerås et al. (2002) vil temperaturen nær ventilationsåbninger være lavere end i resten af materialet. Dette ville kunne afhjælpes ved omstikning af materialet, således at alt materialet opnår en tilstrækkeligt høj temperatur, men risikoen ved en yderligere håndtering må tages i betragtning ved en vurdering i det hensigtsmæssige ved denne strategi.

8.3.2 Overlevelse og infektivitet af parasitæg og andre indikatorer ved optimeret lokalkompostering af fæces

Ascaris suum ægs overlevelsessevne i fækalier og slam nedsættes primært ved forhøjet temperatur, men også ved lagring, udtørring og forhøjet pH. I litteraturen findes der primært studier af *A. suum* ægs overlevelse, men da *A. galli* ægs overlevelsessevne anses for at være sammenlignelig med førstnævnte, diskuteres dette projekts resultater i henhold til litteratur vedrørende *A. suum*.

Ved en termofil kompostering inaktiveres *A. suum* æg ved temperaturer på 50 °C eller højere i løbet af 24 timer og ved temperaturer på 56 °C i løbet af 2-3 timer (Feachem et al., 1983). Sammenholdes disse værdier med de målte temperaturer i de to beholdere i forsøgene med at optimere komposteringen (tabel 5.3), ses det at en maksimal temperatur på ca. 56 °C blev opnået i midten af begge beholdere. Der overlevede dog ganske få æg i materiale fra midten af beholder 2. Dette kan skyldes, at temperaturproben og nylonposerne med parasitæg ikke var placeret på nøjagtigt samme sted, og at

temperaturen derfor kan have varieret lidt, f.eks. været lavere hvor nylonposerne befandt sig.

Det skal bemærkes, at alle undersøgte *A. galli* æg også blev inaktiveret efter 1 døgn eksponering til kun 36 °C i toppen af begge beholdere. Dette kan skyldes en relativ udtørring af materialet i toppen. Temperaturen i materiale placeret i bunden af beholder 2 var ca. 10 °C lavere end i materiale fra samme placering i beholder 1. Dette kan eventuelt forklare, hvorfor *A. galli* æg kunne udvikle sig til infektiøse larver efter placering i bunden af beholder 2, men ikke efter placering i bunden af beholder 1. Det forhold, at ikke alle æg bevarede udviklingssevnen i bunden af beholder 2, kan muligvis skyldes en relativ iltmangel, da fugtighedsgraden i materialet var relativt høj i bunden af beholderne (se også nedenfor).

A. suum æg kan overleve mange måneders lagring, specielt i et køligt og fugtigt klima. *A. suum* æg har eksempelvis vist sig at overleve i over et år ved temperaturer på op til 42 °C. Ved denne temperatur eller lavere er det fordelagtigt at have en blanding af fækalier og urin, idet urin i sig selv kan dræbe parasitæg (Feachem et al., 1983). Effekten af lagring har således været yderst minimal i dette forsøg, da dette kun strakte sig over 21 dage.

Der blev ikke målt for tørstofindholdet i det fækale materiale i dette forsøg, men i slam er effekt af tørstofindholdet generelt minimal, da der i praksis ikke opnås højere tørstofindhold end 25% (Feachem et al., 1983). Derimod kan der i komposttoiletter findes et noget højere tørstofindhold. Eksempelvis blev der i de forskellige toiletsystemer i kapitel 3 målt tørstofindhold på op til 48-49%. Ved forsøget blev der tilsat en sukkeropløsning samt friskt grønt græs, og denne tilsætning kan have medført en unaturlig høj fugtighedsgrad i bunden af beholderne (lavt tørstofindhold), medens der kan have været en relativ udtørring i de øvre lag af kompostmaterialet.

En negativ effekt på *A. suum* ægs overlevelse ved et øget pH (opnået ved tilsætning af kalk til en 10% koncentration eller mere) har været påvist i slam i enkelte studier (Eriksen et al., 1995 og Gaspard et al., 1997). Resultaterne er dog ikke entydige, da det i praksis har vist sig at være svært at opretholde det krævede pH på >12 i mindst 3 måneder. I det fækale materiale brugt i dette projekts forsøg blev der initialt (efter tilsætning af sukkervand og grønt græs) målt et pH på ca. 8. Denne pH-værdi formodes ikke at have haft nogen signifikant effekt på *A. galli* æggenes overlevelsessevne, idet den sandsynligvis ikke er steget i løbet af den korte lagringsperiode på 21 dage.

Der blev ved undersøgelserne benyttet et ægbryneringsassay (ægudviklingsassay) som indikator for om *A. galli* æggene var i stand til at udvikle sig til det infektiøse stadium (æg indeholdende en infektiøs larve). I assayet måles indirekte effekten af fysisk-kemiske og andre miljøpåvirkninger på æggene udviklingssevne. Materialet er således blevet hygiejniseret i lavere eller højere grad, hvis det er påvist at færre eller ingen æg (i forhold til et kontrolassay) kan udvikles. Embryoneringsassayet er almindeligt brugt verden over ved undersøgelser for spolormeæggs udviklingssevne og overlevelse i komposteringsystemer.

Man kunne i forlængelse af embryoneringsassayet have undersøgt æggenes infektivitet i et podningsforsøg i høns, idet et embryonerings-assay alene kun siger noget om æggenes evne til at udvikles, men ikke undersøger, hvor stor en del af de udviklede æg, der rent faktisk er i stand til at inficere et værtsdyr (for

A. galli en høne). Der var i dette projekt ikke den fornødne tid eller økonomiske midler til at gennemføre sådanne podningsforsøg i høns. Det skal understreges, at æg som ikke kan udvikles i et ægudviklingsassay ikke er infektiøse.

De meget store temperaturvariationer i beholderne var generelt ledsaget af store variationer i reduktionen af kimtal. I midten af kompostbeholderen, hvor temperaturen var højest, blev *S. senftenberg* og *S. typhimurium* fag 28B ikke reduceret så hurtigt og kraftigt som forventet. Manglende ensartede temperaturer i materialet i midten af kompostbeholderen var sandsynligvis medvirkende til dette. Derimod blev *S. typhimurium* fag 28B kraftigere reduceret i toppen end i midten af kompostmaterialet, hvilket kan skyldes en effekt af udtørring, idet virus er følsomme over for udtørring.

Som ved de andre undersøgelser blev antal enterokokker ikke reduceret nævneværdigt. Der fandtes tilmed en stigning i antal enterokokker i materiale fra bunden af kompostbeholderen, hvilket indikerer en mulig eftervækst.

8.4 OVERLEVELSE AF INDIKATORORGANISMER I FÆCES I MODELFORSG, SOM SIMULEREDE CENTRALKOMPOSTERINGSFORHOLD

8.4.1 Temperaturudvikling og kimtalsreduktion ved kompostering af fækal materiale iblandet tilslagsmaterialer

Der blev udført laboratorieforsøg for at undersøge indflydelsen på kompostering af fæces ved brug af forskellige tilslagsmaterialer. Fæcesmateriale fra én affaldsbeholder i Dyssekilde, hvor brugerne i forvejen havde anvendt høvlspåner som tilslagsmateriale, blev tilsat forkomposteret husholdningsaffald (fra AFAV komposteringsanlæg i Frederikssund) eller et celluloseholdigt produkt, som hyppigt anvendes i Sverige til komposttoiletter (handelsnavn "Mor Mylla"). Fæcesmateriale samt tilslagsmaterialer blev derefter komposteret i reaktorsystemet i ca. 40 dage.

Virkningen af tilslagsmaterialerne på komposteringstemperaturen var ikke entydig: den højeste temperatur på 54 °C blev målt i en reaktor, som var tilsat cellulosemateriale, mens den maksimale temperatur i en parallel reaktor, tilsat det samme materiale, kun var 43 °C. Der blev målt 39 °C i en kontrolreaktor, hvor der ikke blev tilsat materialer ud over, hvad brugerne allerede havde benyttet. Derimod var maksimumstemperaturen i den anden kontrolreaktor 49 °C. Selvom den højeste temperatur blev opnået ved tilsætning af celluloseproduktet, kan det, pga. afvigende resultater i parallelle reaktorer, ikke med sikkerhed konkluderes, at dette tilslagsmateriale var bedst. Andre har dog fundet, at anvendelse af husholdningsaffald som tilslagsmateriale var optimalt (Vinneås et al., 2003).

I løbet af disse forsøg blev temperaturen kortvarigt hævet til ca. 55 °C og derefter til ca. 60 °C efter hhv. 15 og 37 døgn. Dette blev gjort for at undersøge effekten på overlevelse af indikatorerne termotolerante coliforme bakterier og enterokokker. Efter syv timers kompostering ved ca. 55 °C efterfulgt af yderligere syv timers eksponering af materialet til ca. 60 °C, kunne termotolerante coliforme bakterier ikke længere påvises, mens antallet af enterokokker var reduceret til < 1000 cfu/g.

Efter 19 timers kompostering ved ca. 55 °C blev antallet af termotolerante coliforme bakterier reduceret til under påvisningsgrænsen, mens antallet enterokokker blev reduceret til ca. 1000 cfu/g. Yderligere forhøjelse af temperaturen til ca. 60 °C i 16 timer reducerede i ét tilfælde antallet af enterokokker til under detektionsgrænsen. Der skete dog tilsyneladende en eftervækst i én reaktor, idet der her blev målt mere end 10.000 enterokokker/g ved forsøgets slutning. Det lykkedes således ikke at hygiejniser materialet fuldstændigt, selv ved udsættelse af materialet for temperaturer på 60 °C. Især enterokokkernes forholdsvis høje overlevelsessevne var overraskende, jvf. diskussionen i afsnit 8.4.2.

8.4.2 Overlevelse af indikatororganismer ved konstante termofile komposteringstemperaturer mellem 50 og 65 °C

Kimtalsreduktioner i komposteringsreaktoren ved temperaturer mellem 50-65 °C viste som forventet generelt øget reduktion ved høje temperaturer.

Antal af suspekter termotolerante coliforme bakterier og *Salmonella senftenberg* blev reduceret til under detektionsgrænsen på 10 cfu/g ved alle temperaturer på mindre end 24 timer. Højest overraskende tog det 5-6 døgn ved 55 °C og 10 døgn ved 50 °C at reducere antal enterokokker til under detektionsgrænsen (10 cfu/g). Det var ikke muligt at forklare denne øgede overlevelse for enterokokker ved relativt høje temperaturer. Prøvematerialet blev indsamlet, transporteret og analyseret indenfor 4-8 timer efter prøveudtagning. Det er derfor ikke særligt sandsynligt, at der skete en eftervækst efter prøveudtagning, og inden analysen blev påbegyndt. En anden mulighed er, at temperaturen i kompostreaktorerne var lavere end antaget under forsøgets gang. Dette kan muligvis have været tilfældet i forbindelse med forsøget, som blev udført ved 65 °C, hvor det viste sig vanskeligt at fastholde temperaturen præcist, men ved de lavere temperaturer udgjorde dette ikke noget problem, og det kan således ikke forklare de opnåede resultater ved 50 til 60 °C.

Regressionslinierne i fig. 6.10 til 6.13 viser overlevelse af testorganismene ved de forskellige temperaturer. Der er for hver testorganisme beregnet såkaldte "goodness of fit", R^2 værdier for kimtalsreduktionerne ved de enkelte temperaturer. Ved R^2 værdier større end 0,9 er der kun lille variation og forskel mellem de målte værdier og regressionslinierne. I fig. 6.10 og 6.11 var R^2 værdierne mindre end 0,7 ved 50 °C for henfald af suspekter termotolerante coliforme bakterier og *Salmonella senftenberg*. I fig. 6.10 og 6.11 er de sidste måleværdier ved 50 °C medvirkende til relative langsomme reduktioner af kimtal. R^2 værdierne for enterokokker varierede mellem 0,4-0,8 og var generelt lavere end for de andre parametre. Dette forhold kan dog kun delvist forklare den øgede overlevelse af enterokokker.

Der var generelt meget gode erfaringer, som beskrevet i afsnit 8.2.1, med tilsætning af testorganismene *Salmonella senftenberg* 775W og fagen *Salmonella typhimurium* 28B i semi-permeable kapsler. Disse mikroorganismer har så vidt vides ikke tidligere været anvendt i danske undersøgelser. Analysemetoderne var lette at udføre og resultaterne var entydige. Anvendelse og tilsætning af disse testorganismer kan således anbefales til fremtidige studier af hygiejnisering af forskellige organiske affaldsprodukter.

8.4.3 Muligheder og begrænsninger ved at benytte modelforsøg til at forudsige reduktion af patogener i fuldskala komposteringsanlæg

Hovedformålet med forsøgene beskrevet i kap. 6 var at undersøge overlevelse af indikatororganismer ved centralkompostering af fæces. Da der ikke var anlæg tilgængelige, som komposterede fæces i fuld skala i Danmark, var det nødvendigt at udføre forsøgene i mindre skala. Dette blev gjort ved at kompostere fæcesmateriale fra komposttoiletter i et laboratoriesystem bestående af 6 reaktorer med et volumen hver på 9 l. Det er klart at nedskalering fra fuldskalaanlæg, som typisk behandler mange tons affald af gangen, til et laboratorieanlæg, som kun kan indeholde nogle få kilo materiale pr. reaktor, må have indflydelse på tolkningen af resultaterne.

Hogan et al. (1989) benyttede et laboratoriesystem til simulering af kompostering af organisk affald i fuld skala, og definerede i den forbindelse deres reaktor som repræsenterende idealiserede procesbetingelser i midten af en kompostmile. Andre (Palmisano et al., 1993) har med succes benyttet småskala bioreaktorer – med volumen på 19 l – til at simulere kompostering af husholdningsaffald.

Styrken ved laboratoriesystemer, som det der blev benyttet i nærværende undersøgelse, er muligheden for at udøve en høj grad af proceskontrol. Det er således muligt at fastholde materialet på samme temperatur og med samme iltstatus i længere perioder, og på den måde undersøge disse forholds indflydelse på kompostkvalitet, overlevelse af mikroorganismer etc. På den anden side kan høj procestemperatur ikke altid opretholdes ved naturlig varmeproduktion fra kompostmaterialet (som i fuldskalaanlæg), men kan kræve aktiv opvarmning af reaktorerne. Dette skyldes, at overflade/volumenforholdet er meget større i et system af små reaktorer end i et fuldskalaanlæg og derfor leder til et tilsvarende større varmetab fra materialet.

Fuldskalaanlæg vil meget sjældent udvise samme jævne temperaturfordeling i kompostmaterialet som det er muligt at opnå i laboratoriesystemer. Christensen et al. (2002) undersøgte hygiejniserings effekter ved kompostering på fire forskellige fuldskalaanlæg. Anlægstyperne inkluderede bl.a. et simpelt milekomposteringsanlæg og et fuldt lukket tunnelkomposteringsanlæg med aktiv beluftning af materialet. I begge anlæg var temperaturforskelle i materialet store. I tunnelkomposteringsanlægget var der f.eks. mere end 13 °C forskel på gennemsnitstemperaturen i top og bund af komposteringsmaterialet. Det er således klar, at de udførte laboratorieforsøg kun repræsenterer procesbetingelser for en delmængde af materiale i et fuldskalaanlæg. Det er endda muligt, at intet af materiale i et fuldskalaanlæg i længer tid er udsat for en temperatur på f.eks. 50 °C ± 2 °C flere uger i træk med optimale iltforhold, som det var tilfældet i laboratorieforsøgene.

Når resultater af laboratorieforsøg benyttes til at forudsige inaktivering af mikroorganismer i fuldskalaanlæg, er det derfor vigtigt at understrege at laboratorieforsøg repræsenterer et idealiseret komposteringsforløb med optimale temperatur- og beluftningsforhold, som det ikke nødvendigvis er muligt at opretholde selv på de mest avancerede lukkede fuldskalaanlæg.

8.5 BRUGERUNDERSØGELSE

8.5.1 Brugertilfredshed

Brugerne var generelt tilfredse med de valgte komposttoiletmodeller, der alle var teknisk enkle systemer. Fælles for 12 ud af 13 brugere i de to danske økosamfund og de seks svenske enkelthusstande var, at de selv havde taget beslutning, eller taget del i beslutningsprocesser, om at etablere komposttoiletsystemer, udvælge modeller og placere systemkomponenter. Selv i tre husstande, hvor placeringen af opsamlings- eller kompostbeholder objektivt set var meget uhensigtsmæssig for tilsyn og tømning, var brugerne tilfredse med systemerne. Det må formodes at have haft betydning, at brugerne var med i beslutningsprocessen og derfor accepterede placeringen.

Andre undersøgelser viser ligeledes, at brugertilfredsheden med teknisk enkle systemer kan være høj. I en undersøgelse af komposttoiletter (sammenlignelige med de svenske toiletsystemer som indgik i nærværende undersøgelse) i Tanum kommune i Sverige svarede 23 ud af 26 brugere, at de var tilfredse, to var delvis tilfredse/utilfredse, mens kun én var direkte utilfreds (Tanums kommun, 1995). Deltagelse i og medansvar for beslutningsprocesserne synes, som i nærværende undersøgelse, at have haft betydning for såvel en velfungerende drift som brugertilfredsheden. Brugere af 81 små enkle kildesortierende batchsystemer i danske kolonihaver var tilfredse eller endog meget tilfredse. De havde selv ønsket systemet og havde individuelt udvalgt en model blandt flere (Backlund et al., 2003).

Fittschen and Niemczynowicz (1997) fandt et mere negativt billede i det økologiske landsbysamfund Toarp i Sverige, hvor et boligselskab og ikke de kommende beboere var ansvarlige for valg af komposttoiletter som sanitært system samt for udvælgelse af modeller og placering. Brugere med en uhensigtsmæssig placering af beholdere var negativt indstillede. Mange brugere havde desuden problemer med fluer, lugt, vådt materiale og overløb ved brug af toiletstole uden kildesortering.

8.5.2 Driftsproblemer og muligheder for at afhjælpe dem

Brugerundersøgelsen viste en del tilbagevendende problemer ved drift af komposttoiletsystemerne. De vigtigste var lejlighedsvis lugtgener, forekomst af fluer og stop i urinslangerne fra de kildesortierende toiletstole.

Problemer med lugt og fluer er størst i kildesamlende komposttoiletter som demonstreret i to undersøgelser foretaget i Tyskland (Kalkoffen et. al., 1996; Fittschen, 1999). Toiletsystemer i nærværende undersøgelse var næsten alle kildesortierende, og de rapporterede problemer derfor ikke af samme størrelsesorden. Således havde én bruger, som tidligere havde kildesamlende toiletstol, efter udskiftning til en kildesortierende model ikke haft væsentlige problemer.

For at undgå lugtproblemer er det ligeledes vigtigt, at toiletsystemet er udstyret med en velfungerende ventilationsenhed. Korrekt etablerede ventilationssystemer med selvtræk behøver ikke at give lugtproblemer (Holtze og Backlund, 2003A), men det er langt nemmere at undgå ved hjælp af en el-ventilator. De fleste systemer i undersøgelsen var forsynet med aktive ventilationssystemer i form af el-ventilatorer på 20-40 W. Dette giver et temmelig stort strømforbrug, idet det er mest hensigtsmæssigt, at ventilatoren kører uafbrudt. Det er dog vist, at ventilatorer helt ned til 1 W kan give fuldt

tilfredsstillende drift af små systemer (Backlund et al., 2003). Dette medfører et årligt strømforbrug på ca. 9 kWh ved kontinuerlig drift af ventilatoren.

Et stort antal af brugerne rapporterede om tilbagevendende flueproblemer, der dog var begrænset til at forekomme nogle få gange hvert år eller med endnu større mellemrum. Fluer kan forekomme uanset sammensætning af systemkomponenter, men i kildesorterende toiletsystemer kan brug af fluenet sammen med en velfungerende el-ventilator nedsætte hyppigheden og omfanget af problemet (Fittschen, 1999; Backlund et al., 2003).

En del af brugerne oplevede jævnligt stop i urinslangen fra toiletstolen. Der er også andre rapporter om stop i kildesorterende toiletstoles urinslangevandlås (Ø22 mm), hvor der ikke løbende blev forebygget ved brug af rensewire, eddikesyre eller kaustisk soda (Backlund, 2003). På Møns Museumsgård var der ikke stop ved regelmæssig forebyggelse (Holtze og Backlund, 2003B). I tre "WM-ES" med Ø22 mm urinslange og en række andre toiletstole med Ø32 mm urinslanger, alle uden vandlås, blev der ikke konstateret stop (Backlund et al., 2003).

Mere komplicerede komposttoiletter kan muliggøre en bedre komposteringsproces, men også resultere i en række tekniske problemer, som f.eks. kan give anledning til direkte kontakt til frisk materiale ved driftsstop. Boisen (1995) konstaterede således, at der var store problemer af denne art i komposttoiletter med mekanisk omrøring, forflytning af materiale samt opvarmning. Ved sammenligning med sådanne systemer kan det dog konkluderes, at brugerne generelt oplevede færre problemer med driften af deres i teknisk henseende enklere komposttoiletsystemer.

9 Samlet konklusion

Med udgangspunkt i resultaterne fra projektets forskellige undersøgelser kan der drages følgende hovedkonklusioner om opsamlede og komposterede fækaler fra mennesker:

Hovedkonklusionerne fra undersøgelsen af komposttoiletssystemerne var:

- Der blev ikke dokumenteret egentlige termofile temperaturstigninger i opsamlet fæcesmaterialet i komposttoiletenheder i Hjortshøj, Dyssekilde og Sverige ved såvel enkeltstående som kontinuerlige målinger over en 8 måneders periode.
- Da de anvendte plastbeholdere i Hjortshøj og Dyssekilde er lukkede og kun giver ringe mulighed for tilførsel af luft, vil en egentlig termofil kompostering, selv ved tilførsel af egnede tilslagsmaterialer, være usandsynlig. Fækaler fra de undersøgte typer af beholdere bør således ikke anvendes til jordbrugsformål uden viderebehandling, da dette skønnes at være behæftet med hygiejne- og sundhedsrisici.
- De undersøgte kontinuerlige systemer i Sverige indeholdt markant lavere antal indikatororganismer. Resultaterne indikerer en relativ bedre reduktion af disse parametre i denne type systemer, hvor det fækale materiale bevæger sig ned over en skrå bund. Dette kan skyldes længere opbevaringstid, samt at fækalerne her får en større lufteksponering og dermed en forventet større mikrobiel aktivitet. Øget udtørring og lavt vandindhold vil også medføre en hurtigere kimtalsreduktion.
- Der blev ikke påvist egentlige bakterielle smitstoffer (*Salmonella*, *Campylobacter* og *Listeria*) i noget prøvemateriale, herunder materiale fra danske og svenske fækalieopsamlingsbeholdere. Dette indikerer, at de undersøgte smitstoffer udviser ringe overlevelsessevner i opsamlet fækalt materiale og/eller at smitstofferne kun blev tilført med lav frekvens. Det bør således overvejes, hvorvidt undersøgelser for bakterielle smitstoffer fra brugerne skal indgå som standardparametre ved en vurdering af den hygiejniske kvalitet af fækaler. Det bør derfor i stedet overvejes at anvende *E coli* samt eventuelt tilsatte smitstofsindikatorer f.eks. *S. senftenberg*, til fastlæggelse af hygiejnisk kvalitet
- Der kunne ikke påvises spolormeæg (*Ascaris* spp.), piskeormeæg (*Trichuris* spp.) og bændelormeæg (*Taenia* spp.) i fækalieprøver fra beholdere i Hjortshøj. Der blev derimod påvist få bændelormeæg i en enkelt prøve fra Sverige. Da arten ikke kunne bestemmes var det uvist om de fundne æg stammer fra mennesker (*T. saginata*)
- De fækale indikatorbakteriers antal varierede voldsomt i de fleste undersøgelser, og der var ingen entydig tendens til lavere kimtal ved lange lagringstider af de opsamlede fækaler. Der kan derfor stilles spørgsmål ved, om de traditionelle fækale indikatorbakterier

(enterokokker og termotolerante coliforme) er velegnede hygiejneindikatorer for opsamlede og behandlede fækalier. En række undersøgelser viste en tilsyneladende stigning i antallet af enterokokker. Der er derfor behov for yderligere undersøgelser af eventuel eftervækst af enterokokker, herunder art og slægtsbestemmelse. E. coli kunne være en bedre indikator for hygiejnisk kvalitet af fækalier.

- Ved lokal kompostering under kontrollerede forhold om sommeren blev der opnået maksimumtemperaturer i midten af kompostmaterialet på 43 °C og 49 °C i kompostbeholdere placeret henholdsvis indendørs og udendørs. Derimod fulgte temperaturen i beholderne i efterår og vintermånederne nøje omgivelsernes. Der kunne således ikke registreres en egentlig termofil komposteringsproces.
- Anvendelsen af semi-permeable kapsler til tilførsel af S. typhimurium bakteriofag 28B og S. senftenberg 775W fungerede udmærket. Kapslerne muliggør tilførsel af forskellige mikroorganismer, herunder bakterier, virus og parasitter, i kendte koncentrationer. Kapslerne kan endvidere placeres i flere niveauer i materialet og indholdet eksponeres for forskellige temperaturer.
- Ved de optimerede lokalkomposteringsforsøg med tilsætning af græs og sukkervand lykkedes det ikke at optimere komposteringsprocessen i de anvendte 220 l komposteringsbeholdere, således at slutproduktet levede op til "Slambekendtgørelsens" krav til temperatur/behandlingsstid (70 °C i mindst én time) som sikrer en effektiv og sikker hygiejnisering. Det lykkedes dog at opnå temperaturer over 55 °C i mere end 2 døgn i midten af komposteringsbeholderen.
- Overlevelse af parasitæg af hønens spolorm A. galli blev anvendt som indikator for mennesket spolorm. Æg af A. galli kunne ikke udvikles til det infektiøse stadium efter lagring i midten af 220 l kompostbeholdere, hvor en temperatur på over 55 °C blev opnået i mere end 2 døgn. Parasitæg kunne heller ikke udvikles til det infektiøse stadium efter lagring i toppen af beholderne pga. udtørring af det fækale materiale. Desuden var æggenes udviklingsevne efter lagring i bunden af beholderne reduceret på grund af relativ iltmangel.
- Metoden at anvende A. galli som indikator for parasitmitstoffers overlevelse blev fundet velegnet. Da parasitæg sammen med virus udviser høj varmeresistens, bør det derfor overvejes at anvende overlevelse af tilsatte parasitæg som indikator for hygiejniseringsgrad.

Hovedkonklusionerne fra undersøgelsen, som skulle simulere kompostering af fæces under centralkomposteringsforhold, var:

- Ved simulering af centralkomposteringsforhold i modelforsøgene blev reduktionen af antal mikroorganismer undersøgt ved 50 °C, 55 °C, 60 °C og 65 °C. De fundne kintalsreduktioner var generelt i overensstemmelse med litteraturen. Eksponeringstider til opnåelse af 1-log reduktion (T_{90}) og 4-log reduktion i antallet af S. senftenberg

775W, termotolerante coliforme bakterier og bakteriofagen blev beregnet.

- Mod forventning blev antal enterokokker reduceret markant langsommere end de andre parametre i modelforsøgene, inklusiv bakteriofagen. Fundene for enterokokker er højst overraskende og er ikke i overensstemmelse med litteraturen. Det var ikke muligt at forklare den tilsyneladende øgede overlevelse af enterokokker.
- Når resultater af laboratorieforsøg benyttes til at forudsige inaktivering af mikroorganismer i fuldskalaanlæg, er det vigtigt at understrege at laboratorieforsøg repræsenterer et idealiseret komposteringsforløb med optimale temperatur- og beluftningsforhold, som det ikke nødvendigvis er muligt at opretholde selv på de mest avancerede lukkede fuldskalaanlæg.

Hovedkonklusionerne fra brugerundersøgelsen var:

- Brugere af komposttoiletterne var generelt tilfreds med deres systemer, sandsynligvis i høj grad påvirket af, at alle havde haft indflydelse på beslutningsprocessen mht. valg af systemtype, installering etc. Af tilbagevendende problemer var lugt, fluer og tilstopning af urinslangerne fra toiletstolen de væsentligste

Referenceliste

Adams, M.H. 1959. Bacteriophages. Interscience Publishers, Inc., New York.

Anonymous. 2002. Annual Report on Zoonoses in Denmark. Ministry of Food, Agriculture and Fisheries.

Armon, R., and Y. Kott. 1995. Distribution comparison between coliphages and phages and anaerobic bacteria (*Bacteroides fragilis*) in water sources, and their reliability as fecal pollution indicators in drinking water. *Water Science and Technology* 51(5-6): 215-222.

Backlund, A. 2003. Udvidelse af videngrundlaget inden for tekniske delområder vedrørende separat opsamling af urin og fækalier. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning nr. xx. Miljøstyrelsen (i trykken).

Backlund, A., Eilersen, A.M. og I. Larsen. 2003. Økologisk håndtering af urin og fækalier i kolonihaver ved hjælp af kildesortierende toiletter. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning nr. xx. Miljøstyrelsen (i trykken).

Barrington, S., Choinière, D., Trigui, M., and W. Knight. 2002. Effect of Carbon Source on Compost Nitrogen and Carbon Losses. *Bioresource Technology* 83(3): 189-194.

Bendixen, H.J. (Ed.), Bennetzen, O., Boisen, F., Espensen, B., Holfort, M., Jørgensen, J. C., Mikkelsen, U.S., Tribler, E., Thisgaard, M., Eskildsen, M., Have, P., Jensen, V.F., Ahring, B., Lund B og G. Jungersen. 1995. Smitstoffreduktion i biomasse. Rapport vedrørende det veterinære forsøgsprogram i biogasfællesanlæg. Bind 1+2. Veterinærdirektoratet, Landbrugs- og Fiskeriministeriet.

Boisen, T. 1995. Alternativ håndtering af spildevand og humant affald. Ph.d.-projekt. Energigruppen. Fysisk Institut. DTU.

Carlander, A., and T. Westrell. 1999. A microbial and sociological evaluation of urine-diverting double-vault latrines in Cam Duc, Vietnam. *Minor Field Studies* No. 91, ISSN 1402-3237. International Office, Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden.

Carlander, A., Aronsson, P., Allestam, G., Stenström, T.A., and K. Perttu. 2000. Transport and retention of bacteriophages in two types of willow-cropped lysimeters. *J. Environ. Sci. Health A* 35(8): 1477-1492.

Christensen, K.K., Carlsbæk, M., Norgaard, E., Warberg, K.H., Venelampi, O., and M. Brøgger. 2002. Supervision of the sanitary quality of composting in the Nordic countries – evaluation of 16 full-scale facilities. *TemaNord* 2002: 567.

Christensen, K.K., Carlsbæk, M., and E. Kron. 2002. Strategies for Evaluating the Sanitary Quality of Composting. *Journal of Applied Microbiology* 92: 1143-1158.

Del Porto, D., and C. Steinfeld. 2000. *The Composting Toilet System Book*. Massachusetts, USA.

- DS 2256/1. 1983. Vandundersøgelse – Bestemmelse af Clostridium perfringens. Dansk Standardiseringsråd.
- DS 2401. 1999. Miljøundersøgelse – Bestemmelse af enterokokker – Kolonitælling på fast substrat – Overfladeudsæd. Dansk Standardiseringsråd.
- DS 266/R.1. 1999. Vandundersøgelse: Kvalitativ og kvantitativ bestemmelse af Salmonella i vand, slam, sediment og jord. Dansk Standardiseringsråd.
- DS/EN ISO 6222. 2000. Vandundersøgelse – Bestemmelse af antal mikroorganismer i gærekstraktagar ved 22 °C og 36 °C – Dybdeudsæd. Dansk Standardiseringsråd.
- Eller, G. 1995. Liquid composting of raw wastewater, mixed with biodegradable waste. Persistence of selected pathogens and indicator organisms. Dissertation submitted for diploma in Biotechnology at the Institute for Sanitary Engineering, Technical University of Brunswick, Germany.
- Eriksen, L., Andreasen, P., and B. Ilsøe. 1995. Inactivation of Ascaris suum eggs during storage in lime treated sewage sludge. *Water Research* 30 (4): 1026-1029.
- Fayer, R., Morgan, U., and S.J. Upton. 2000. Epidemiology of Cryptosporidium: transmission, detection and identification. *International Journal for Parasitology* 30: 1305-1322.
- Feachem, R.G., Bradley, D.J., Garelick, H., and D.D. Mara. 1983. *Sanitation and Disease: Health Aspects of Excreta and Wastewater Management*. John Wiley & Sons, Chichester, UK.
- Fittschen, I. 1999. Entsorgungsverfahren in Kleigartenanlagen mit Schwerpunkt Trockentoiletten. *Schriftenreihe des Bundesverbandes Deutscher Gartenfreunde e. V.*
- Fittschen, I., and J. Niemczynowicz. 1997. Experiences with Dry Sanitation and Greywater Treatment in the Ecovillage Toarp, Sweden. *Water Science and Technology* 35(9): 161-170.
- Gaspard, P., Wiart, J., and J. Schwartzbrod. 1997. Parasitological contamination of urban sludge used for agricultural purposes. *Waste Management & Research* 15: 429-436.
- Guardabassi, L., Sobsey, M. and A. Dalsgaard. 2003. Occurrence and survival of viruses in composted human faeces. *Sustainable Urban Renewal and Wastewater Treatment No. 32*. Miljøstyrelsen.
- Henry, N.G., Bayne, H.G., and J.A. Garibaldi. 1969. Heat resistance of Salmonella: the uniqueness of Salmonella senftenberg 775W. *Applied Microbiology* 17: 78-82.
- Hogan, J.A., Miller, F.C., and M. S. Finstein. 1989. Physical Modeling of the Composting Ecosystem. *Applied and Environmental Microbiology* 55 (5): 1082-1092.

- Holtze, A. og A. Backlund. 2003A. Kompostering og efterkompostering af humane restprodukter indeholdt i afvandet "sort" spildevand. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning nr. xx. Miljøstyrelsen (i trykken).
- Holtze, A. og A. Backlund. 2003B. Opsamling, opbevaring og udnyttelse af urin fra Museumsgården på Møn. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning nr. xx. Miljøstyrelsen (i trykken).
- Hurst, C. J., Knudsen, G.R., McInerney, M.J., Stetzenbach, L.D., and M.V. Walter. 1997. Manual of Environmental Microbiology. American Society for Microbiology, Washington DC.
- Jansen, J. la Cour og T. Boisen. 2000. Smitterisici ved håndtering af urin, fæces og spildevand. Økologisk Byfornyelse og Spildevandsrensning nr. 1. Miljøstyrelsen.
- Johansson, P.O., Espeby, B., Nilsson, B., and G. Allestam. 1998. Artificial groundwater recharge in Stockholm – II Column test design and tracer tests. In: Peters, J.H. et al. (Eds.) Artificial Recharge of Groundwater, pp. 383-385. Balkema AA., Rotterdam.
- Kalkoffen, J., Fiedler, D. und R. Kludt. 1995. Komposttoiletten-verschiedene Bauarten-Analyse und Bewertungen der Kompostqualität. Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft. Technische Universität Berlin.
- Lewis G.D. 1995. F-specific bacteriophage as an indicator of human viruses in natural waters and sewage effluents in Northern New Zealand. Water Science and Technology 31 (5-6): 231-234.
- Lilleengen, K. 1948. Typing of Salmonella typhimurium by means of a bacteriophage. Ph.D. thesis. The Bacteriological and Hygienical Department of the Royal Veterinary College, Stockholm, Sweden.
- Miljøstyrelsen. 2000. Bekendtgørelse nr 49 af 20. januar 2000 om brug af affaldsprodukter til jordbrugsformål. Miljø- og Energiministeriet.
- Modificeret ISO/DIS 9308/1, MST98. 1998. Vandundersøgelse. Bestemmelse af coliforme bakterier og Escherichia coli i badevand. Membranfiltreringsmetode. Miljøstyrelsen.
- Møller, J., and U. Reeh. 2002. Degradation of Nonylphenol Ethoxylates (NPE) in Sewage Sludge and Source Separated Municipal Solid Waste under Bench-Scale Composting Conditions. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 70: 248-254.
- Møller, J., and U. Reeh. Degradation of DEHP, PAHs and LAS in Source separated Municipal Solid Waste and Sewage Sludge under Bench-Scale composting Conditions. Compost Science & Utilization (in press).
- Nakasaki, K., Aoki, N., and H. Kubota. 1994. Accelerated Composting of Grass Clippings by Controlling Moisture Level. Waste Management & Research 12(1): 13-20.

- Nakasaki, K., Hiraoka, S., and H. Nagata. 1998. A New Operation for Producing Disease-suppressive Compost from Grass Clippings. *Applied and Environmental Microbiology* 64(10): 4015-4020.
- NMKL No. 119, 2nd ed. 1990. Nordic committee on food analysis. *Campylobacter jejuni/coli* detection in foods. UDC 579.84:579.67.
- NMKL No. 125, 3rd ed. 1996. Nordic committee on food analysis. Thermotolerant coliforme bacteria. Enumeration in foods. UDC 579.66:57.083.
- NMKL No. 136 2nd ed. 1999. Nordic committee on food analysis. *Listeria monocytogenes* detection in foods.
- NMKL No. 68, 2nd ed. 1992. Nordic committee on food analysis. *Enterococcus*. Determination in foods. UDC 576.851.21.
- Norin, E., Stenström, T.A. och A. Albihn. 1996. Stabilisering och hygienisering av svartvatten och organiskt avfall genom vätkompostering. *Vatten* 52(3): 165-176.
- Palmisano, A.C., Maruscik, D.A., Ritchie, C.J., Schwab, B.S., Harper, S.R., and R.A. Rapaport. 1993. A Novel Bioreactor Simulating Composting of Municipal Solid Waste. *Journal of Microbiological Methods* 18: 99-112.
- Permin, A. 1997. Helminths and helminthosis in poultry with special emphasis on *Ascaridia galli* in chickens. Ph.D. thesis, The Royal Veterinary and Agricultural University, Copenhagen, Denmark.
- Razvi, A.S., and D.W. Kramer. 1996. Evaluation of Compost Activators for Composting Grass Clippings. *Compost Science & Utilization* 4(4):72-80.
- Redlinger, T., Graham, J., Corella-Barud, V., and R. Avitia. 2001. Survival of fecal coliforms in dry-composting toilets. *Applied and Environmental Microbiology* 67(9): 4036-4040.
- Sahlström, L. 2003. A review of survival of pathogenic bacteria in organic waste used in biogas plants. *Bioresource Technology* 87: 161-166.
- Shaw, K., Day, M., Krzymien, M., Mohmad, R., and S. Sheehan. 1999. The Role of Feed Composition on the Composting Process. I. Effect on Composting Activity. *Journal of Environmental Science and Health Part A - Toxic/Hazardous Substances & Environmental Engineering* 34(6): 1341-1367.
- Slifko, T.R., Smith, H.V., and J.B. Rose. 2000. Emerging parasite zoonoses associated with water and food. *International Journal for Parasitology* 30: 1379-1393.
- Stenström, T.A. 1996. Tracing bacteria from the latrine to groundwater in dug wells. In: Drangert, J.O., Swiderski, R., and M. Woodhouse (Eds.). *Proceedings from Conference on Safe Water Environments, Kenya* 21-23 August, 1995. Report 24, pp. 73-78. 1996. *Water and Environmental Studies*, Linköping University, Sweden.

Stott, R., Ayres, R., Lee, D., and D. Mara. 1994. An experimental evaluation of potential risks to human health from parasitic nematodes in wastewaters treated in waste stabilization ponds and used for crop irrigation. Research Monograph No. 6. Series Editor: Professor D. D. Mara, University of Leeds, UK.

Tanums Kommun. 1995. Preliminära resultat från enkäten till användare av stora biologiska toaletter. Rapport 1995-02-22. Miljö- och räddningsnämnden. Miljö- och hälsoskyddsinspektör Magnus Anderson. Tanums Kommun. Sverige.

Teknologisk institut, Rørcentret. 2001. Økologisk håndtering af spildevand. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning nr. 6. Miljøstyrelsen.

Tree, J.A., Adams, M.R., and D.N. Lees. 1997. Virus inactivation during disinfection of wastewater by chlorination and UV irradiation and the efficacy of F+ bacteriophage as a 'viral indicator'. *Water Science and Technology* 35 (11-12): 227-23.

U.S. Environmental Protection Agency. 2000. Pathogens, p. 99-103. In U.S.EPA (ed.), *Guide to field storage of biosolids*. Office of Wastewater Management, Washington DC (<http://www.epa.gov/>).

VFDCK. 6.3.10. Veterinær- og Fødevarerdirektoratets cirkulære af 3/12 1997. Mikrobiologiske undersøgelser af levnedsmidler. Hæmolytiske bakterier. Veterinær- og Fødevarerdirektoratet.

Vinnerås, B., Björklund, A., and H. Jönsson. 2002. Thermal Composting of Faecal Matter as Treatment and Possible Disinfection Method - Laboratory-scale and Pilot-scale Studies. *Bioresource Technology* 88: 47-54.

Warman, P. R., and W. C. Termeer. 2002. Composting and Evaluation of Racetrack Manure, Grass Clippings and Sewage Sludge. *Bioresource Technology* 55 (2): 95-101.

TEMPERATURFORLØB I KOMPOSTBEHOLDERE SOM IKKE ER VIST I KAP. 3.

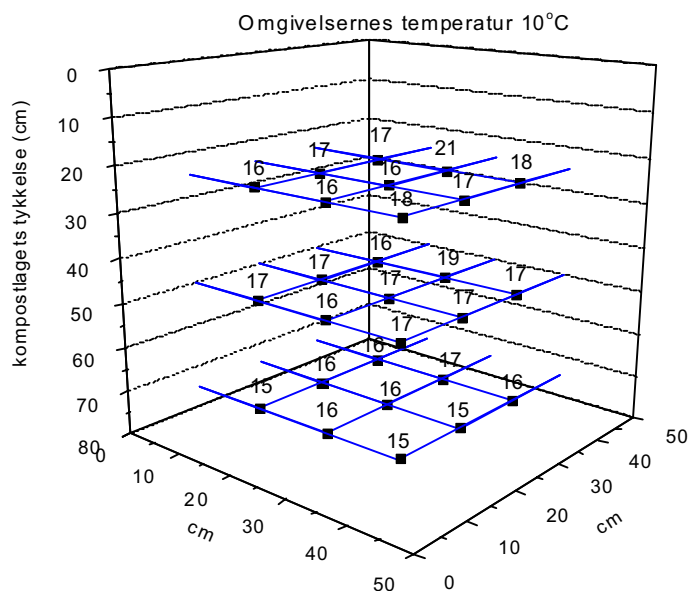


FIG. 1. TEMPERATURER I 180 L AFFALDSBEHOLDER I TEKNIKRUM (ANLÆG 1)

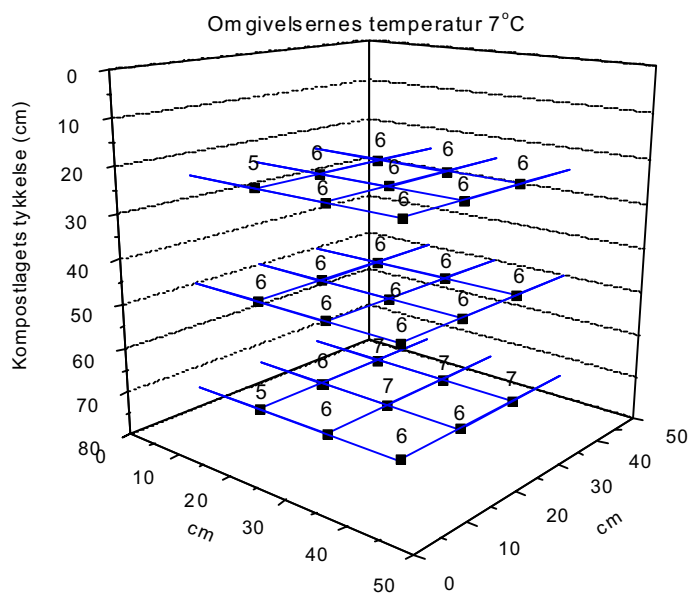


FIG. 2. TEMPERATURER I 220 L AFFALDSBEHOLDER I TEKNIKRUM (ANLÆG 3)

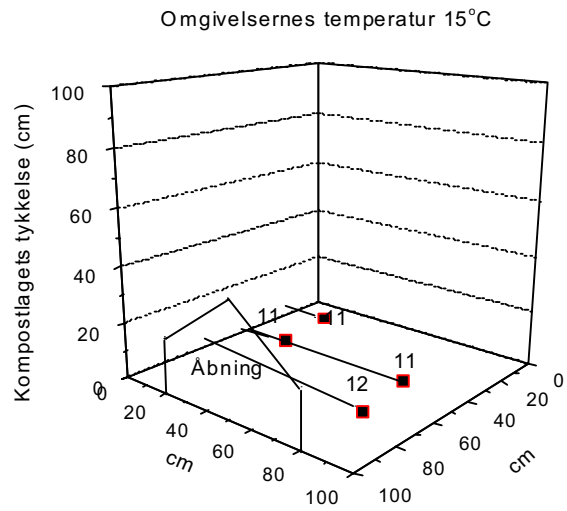


FIG. 3. TEMPERATURER I ØKO-KOMPEREN PLACERET I KÆLDER MED ADGANG FRA KØKKEN (ANLÆG 7).

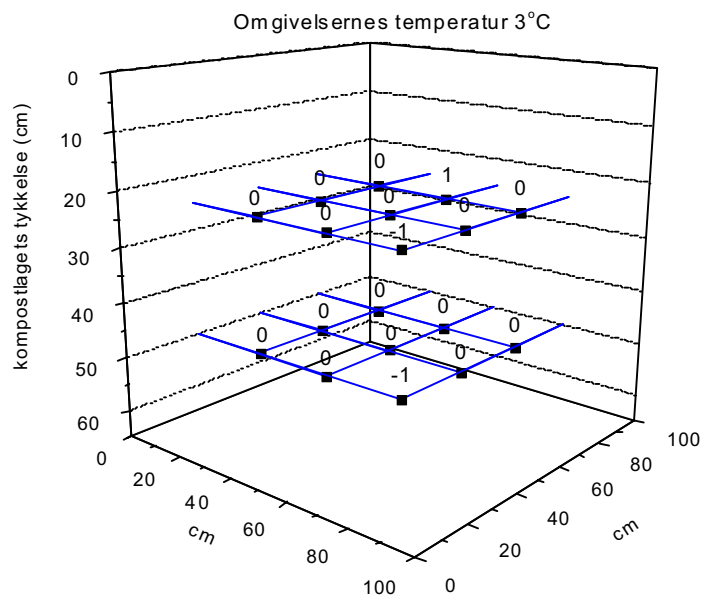
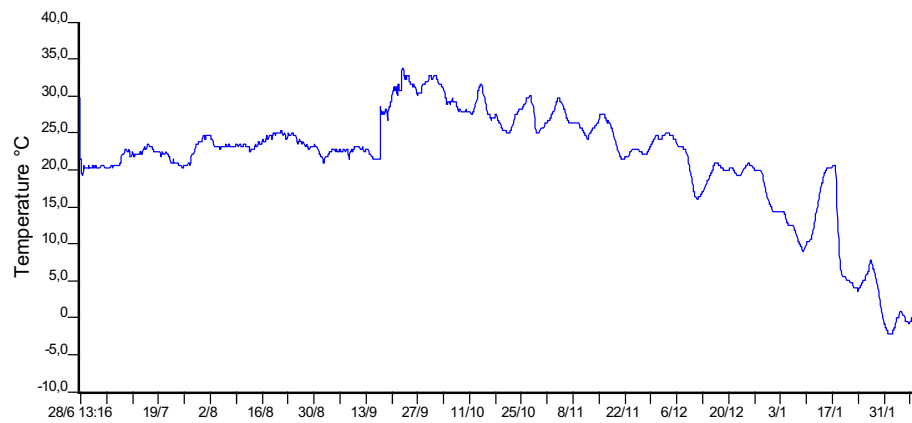


FIG. 4. TEMPERATURER I 1000 L FÆLLESBEHOLDER PÅ EFTERKOMPOSTERINGSPLADSEN I DYSSEKILDE (ANLÆG 15).



S/N 206233

Time (starting 28/06/2002 13:16:32)

FIG. 5. TEMPERATURFORLØB I 220 L KOMPOSTERINGSBEHOLDER (ANLÆG 1). TEMPERATUREN MÅLTES CENTRALT I BEHOLDEREN CA. 30 CM OVER BUND. 19/1 2003 PLACEREDES BEHOLDEREN UDENDØRS.



S/N 206110

Time (starting 28/06/2002 13:09:59)

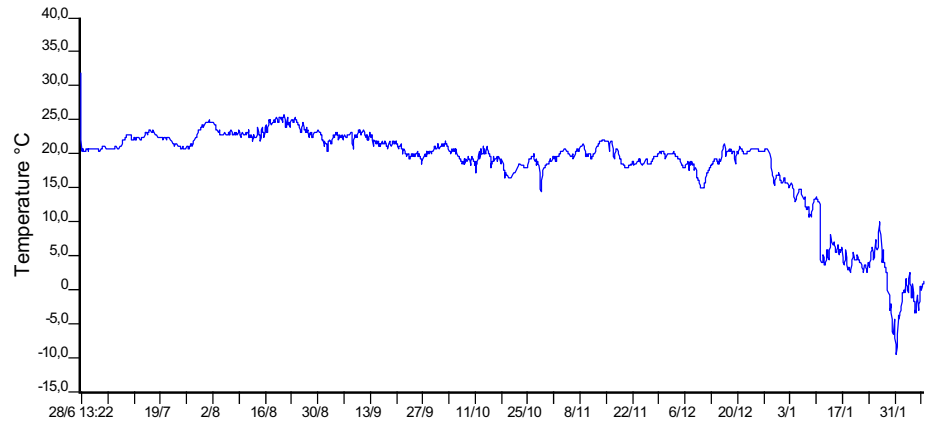
FIG. 6. TEMPERATURFORLØB I 220 L KOMPOSTERINGSBEHOLDER (ANLÆG 1). SAMME BEHOLDER SOM I FIG. 5 OVENFOR, MEN TEMPERATUREN MÅLTES NÆR SIDE AF BEHOLDEREN CA. 30 CM OVER BUND. 19/1 2003 PLACEREDES BEHOLDEREN UDENDØRS.



S/N 206248

Time (starting 28/06/2002 13:19:32)

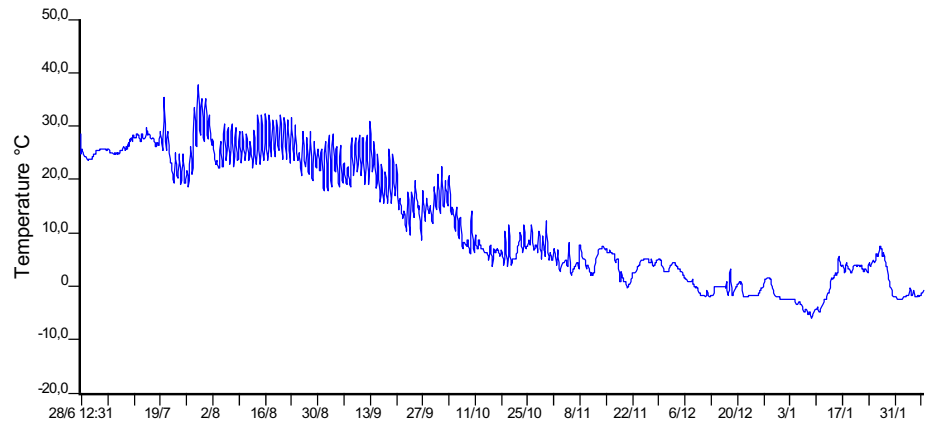
FIG. 7. TEMPERATURFORLØB I 220 L KOMPOSTERINGSBEHOLDER (ANLÆG 2). TEMPERATUREN MÅLTES CENTRALT I BEHOLDEREN CA. 30 CM OVER BUND. 11/1 2003 PLACEREDES BEHOLDEREN UDENDØRS.



S/N 206260

Time (starting 28/06/2002 13:22:35)

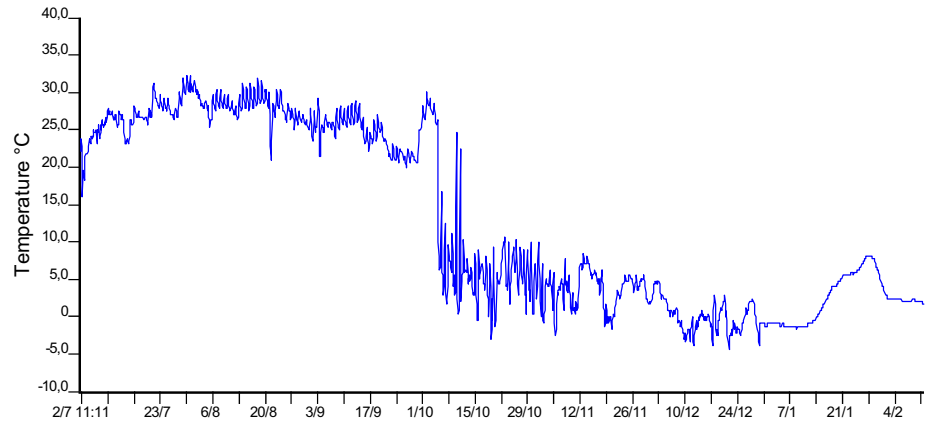
FIG. 8. TEMPERATURFORLØB I 220 L KOMPOSTERINGSBEHOLDER (ANLÆG 2). SAMME BEHOLDER SOM I FIG. 7 OVENFOR, MEN TEMPERATUREN MÅLTES NÆR SIDE AF BEHOLDEREN CA. 30 CM OVER BUND. 11/1 2003 PLACEREDES BEHOLDEREN UDENDØRS.



S/N206131

Time (starting 28/06/2002 12:31:20)

FIG. 9. TEMPERATURFORLØB I 220 L KOMPOSTERINGSBEHOLDER (ANLÆG 3). SAMME BEHOLDER SOM I FIG. 3.10 I KAPITEL 3., MEN TEMPERATUREN MÅLTES CENTRALT I BEHOLDEREN CA. 40 CM UNDER MATERIALETS OVERFLADE.



S/N206116

Time (starting 02/07/2002 11:11:35)

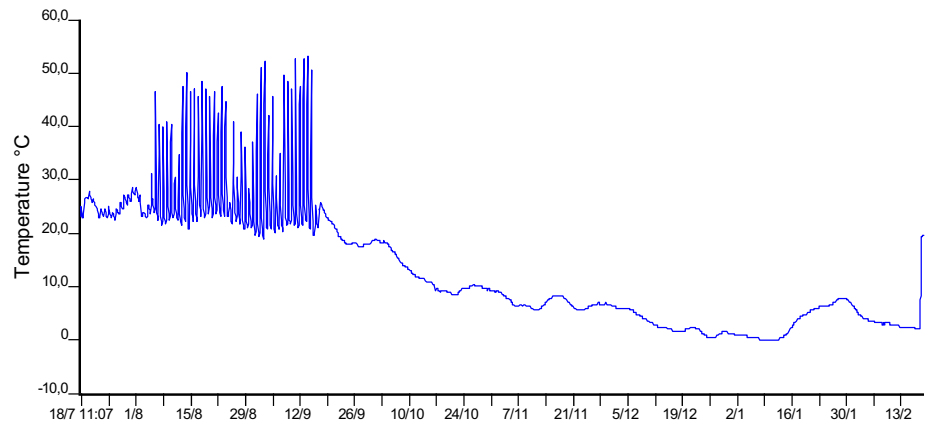
FIG. 10. TEMPERATURFORLØB I 140 L KOMPOSTBEHOLDER (ANLÆG 4). SAMME BEHOLDER SOM I FIG. 3.9. I KAPITEL 3, MEN TEMPERATUREN MÅLTES NÆR HJØRNE.



S/N206124

Time (starting 28/06/2002 13:35:27)

FIG. 11. TEMPERATURFORLØB I FÆLLESKOMPOSTBEHOLDER (ANLÆG 14). SAMME BEHOLDER SOM I FIG. 3.11 I KAPITEL 3, MEN TEMPERATUREN MÅLTES NÆR HJØRNE AF BEHOLDER CA. 30 CM UNDER MATERIALETS OVERFLADE.



S/N198069

Time (starting 18/07/2002 11:07:02)

FIG. 12. TEMPERATURFORLØB I FÆLLESKOMPOSTBEHOLDER (ANLÆG 14). SAMME BEHOLDER SOM I FIG. 3.11 I KAPITEL 3, MEN TEMPERATURPROBEN BLEV FØRST INSTALLERET OMKRING 12/9 2002. TEMPERATUREN MÅLTES CA. 30 CM UNDER MATERIALETS OVERFLADE.

BESKRIVELSE AF OPTIMERINGSFORSØG SOM IKKE ER AFRAPPORTERET I KAP. 5

Ventilation

I nedenstående forsøg benyttes til hver beholder to plasticdrænrør (ID 80 mm) af samme højde som kompostbeholderne til at sikre tilstrækkelig gennembluftning af materialet. Drænrørene blev placeret i beholderen på en tænkt diagonal linie fra hjørne til hjørne af beholderen.

Isolering.

Der blev benyttet standard Rockwool vintermætter med en længde på 3 meter og en tykkelse på 4 cm til at isolere kompostbeholderne. Beholderne blev placeret på 50 mm flamingoplader for at tage kulden fra gulvet. Derefter blev der viklet to af de ovennævnte måtter om siden af beholderne. Låget blev isoleret ved at lægge en måttet dobbelt hen over det. Lufttilførslen til beholderne blev sikret ved, at der blev sat en kile i låget, således at det stod på klem med en ca. 10 cm høj åbning i fronten.

Tilslagsmaterialer

Græsafklip: Da forsøgsrækken foregik i perioden september til februar var det forbundet med besvær at skaffe frisk græs til forsøgene. Det lykkedes dog at skaffe frisk materiale fra et firma som producerer rullegræs (Leopolds Rullegræs A/S, Sorø). Græsset blev opbevaret ved -10 °C indtil brug. Rullegræsset blev suppleret med afklippet græs fra Landbohøjskolens forsøgsgård Højbakkegård.

Sukkeropløsning og næringsstoffer: Mængden af sukker nødvendig for at opnå termofile temperaturforhold i beholderne blev søgt estimeret på basis af kalorieindholdet samt mængden og varmekapaciteten af det materiale som skulle opvarmes. Da kompostens varmekapacitet ikke var kendt benyttes varmekapaciteten for vand i stedet. Under disse antagelser ville mikrobiel nedbrydning af ca. 1 kg sukker kunne opvarme kompostmaterialet fra 10 til 70 °C. For at korrigere for varmetabet gennem beholderens sider blev der tilsat det dobbelte af den beregnede mængde sukker i det første forsøg. Mængden af vand, som blandingen blev opløst i, blev beregnet ud fra kompostens evne til at optage vand. Det viste sig dog, at der kom til at stå vand i bunden af beholderen, og det blev derfor besluttet efter første forsøg i stedet at opløse blandingen i så lidt vand som muligt. For at opnå et gunstigt forhold mellem letomsætteligt kulstof og næringsstoffer i tilslagsmaterialet, blev der tilsat kvælstof i form af ammoniumnitrat eller NPK-handelsgødning til sukkeropløsningen.

Bestemmelse af vandindhold: Vandindholdet i fæcesmateriale og græs blev bestemt ved tørring i oven i 24 timer ved 80 °C.

Der blev udført tre optimeringsforsøg med forskellige kombinationer af tilslagsmaterialer, ventilation og isolering af beholder, samt et indledende forforsøg uden disse tiltag. Forsøg 3 er afrapporteret i kap. 5.

Forforsøg:

Fæcesmateriale: To affaldsbeholderes indhold blev tømt ud, blandet sammen og de største klumper af materiale slået i stykker med en skovl. Materialet fordeltes derefter i de to beholdere som placeredes hhv. op ad en sydvendt mur og indendørs i et uopvarmet staldlokale.

Der blev ikke benyttet tilslagsmaterialer, ventilation eller isolering af beholdere i dette forsøg.

Forsøg 1:

Fæcesmateriale: 60 kg fæcesmateriale blev tømt ud af en beholder, homogeniseret med en skovl og hældt tilbage i beholderen.

Tilslagsmaterialer: ca. 10 kg frisk græsafklip. Desuden tilsattes en vandig opløsning (C/N-forhold 20:1) bestående af 1,174 kg glukose og 67 g ammoniumnitrat i 7 l vand.

Beluftning: Der blev med et spyd (diameter ca. 5 cm) anlagt 6 huller i kompostmaterialet strækkende sig fra top til beholderens bund

Isolering: Der var ingen isolering af beholderen i dette forsøg

Forsøg 2:

Fæcesmateriale: Som substitut for fæcesmateriale benyttedes i dette forsøg 11,5 kg dybstrøelse.

Tilslagsmaterialer: 31,5 kg græsafklip. Der blev tilsat sukkeropløsninger af to omgange: Opløsning 1: 1205,9 g glukose og 69,5 g ammoniumnitrat opløst i 5 l vand.

Opløsning 2: 1,7 kg husholdningssukker og 100 g ammoniumnitrat opløst i 2 l vand.

Beluftning: Der blev placeret to stk. plasticdrænrør (ID 80 mm) á ca. 80 cm længde lodret i materialet med ca. 20 cm afstand på diagonalen mellem beholderens hjørner.

Isolering: Beholderen blev isoleret med tre stk. Rockwool vintermætter (længde: 3 m, tykkelse 4 cm). desuden blev beholderen placeret på en 5 cm tyk Flamingoplade.

SPØRGESKEMA TIL FUNKTIONS- OG BRUGERUNDERSØGELSE VEDRØRENDE
UDVALGTE KOMPOSTTOILETSYSTEMER

Brugere:

Navn:

Adresse:

Tlf:

E-mail:

Antal personer i husstanden: Køn: Alder:

Type toiletstol:

Type opsamlings-/kompostenhed:

Urinsystem:

Ventilationssystem:

Dato for etablering:

Baggrund for og formål med etablering af komposttoiletsystemet

økologi

økonomi

andet

**Erfaringer fra etablering af toiletstol, kompostenhed, urin- og
ventilationssystem**

Toiletstol:

Kompostenhed:

Ventilationssystem:

Urinsystem:

Erfaringer med anvendelse af komposttoiletsystemet

Person dage (person x dage) husstanden bruger toiletsystemet:

Hjemmefrekvens (gennemsnitligt antal hjemmetimer):

Gæster:

Siddekomfort:

Funktion af kildesortering:

Brug af tilslagsstoffer:

Type:

Mængde:

Køkkenaffald:

Frekvens for beholderskift ved batchsystem eller udtagning af delmængde ved kontinuerligt system:

Hvem laver arbejdet:

Oplevelse af skift/udtagning/tømning:

Tilstopning af urinsystemet:

Afhjælpning:

Forebyggende indsats:

Lugtproblemer:
fra toiletstol

fra kompostenhed

fra ventilationsudgang

andet

Lyd fra ventilationssystem:
inde

ude

Fluer:

Andre driftsproblemer:

Rengøringen af komposttoiletsystemet:
toiletstol

nedfaldsrør

opsamlings-/kompostenhed

urinsystem

Rengøringsmidler:

Komponenternes driftssikkerhed og robusthed:

Samlet oplevelse af komposttoiletsystemet:

Supplerende spørgsmål:

Hvordan oplever du skiftet fra et vandskylende toilet til et komposttoilet?

Hvad var dit indtryk af komposttoiletter før du fik det? Og hvordan er din oplevelse af det i dag?