

Kompostering og efterkompostering af humane restprodukter indeholdt i afvandet "sort" spildevand

Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning

Nr. 39 2003

Kompostering og efterkompostering af humane restprodukter indeholdt i afvandet "sort" spildevand

Annette Holtze og Arne Backlund
Storstrøms Amt

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

INDHOLD	3
FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	13
1 INDLEDNING	19
1.1 BAGGRUND	19
1.2 FORMÅL	19
1.3 KOMPOSTTOILETSYSTEMER I HISTORISK PERSPEKTIV	20
1.4 AFGRÆNSNING	21
1.5 PROJEKTFORLØB	21
1.6 SPILDEVANDSRELEVANTE FORHOLD PÅ LOKALITETERNE	22
2 UNDERSØGELSE- OG MÅLEPROGRAM	23
2.1 ERFARINGER FRA INSTALLATION OG DRIFT AF DET KILDESORTERENDE TOILETSYSTEM PÅ PRIVAT EJENDOM	23
2.2 UNDERSØGELSER AF INDHOLDSSTOFFER I DET KOMPOSTEREDE MATERIALE OPSAMLET I "KAGGEN"	23
3 HUMAN URIN OG HUMANE FÆKALIER	27
4 KOMPOSTERING OG KOMPOSTTOILETSYSTEMER	31
4.1 KOMPOSTERING	31
4.2 KOMPOSTTOILETSYSTEMER	33
4.3 SYSTEMKOMPONENTER	34
4.4 BATCH KOMPOSTERINGSSYSTEM	35
4.5 KONTINUERLIGT SYSTEM	36
5 BESKRIVELSE AF SPILDEVANDSSYSTEMERNE	39
5.1 DET KILDESORTERENDE KOMPOSTTOILETSYSTEM	39
5.1.1 <i>Kildesorterende toilet</i>	39
5.1.2 <i>Rørsystem</i>	41
5.1.3 <i>Afvandings- og kompostenheder</i>	42
5.2 DET KILDESAMLLENDE KOMPOSTTOILETSYSTEM	45
6 LOVGIVNING	47
6.1 LOVGIVNING FOR INSTALLATIONERNE	47
6.1.1 <i>Det kildesorterende system</i>	47
6.1.2 <i>Det kildesamlende system ved Skelsnæs Pavillionen</i>	49
6.2 LOVGIVNING VEDRØRENDE ANVENDELSE AF KOMPOST.	49
6.3 BESTEMMELSER OG PRAKSIS ANDRE STEDER	51
7 ERFARINGER MED INSTALLATIONER OG DRIFT	53
7.1 ERFARINGER MED ETABLERING AF KOMPOSTTOILETSYSTEMET VED STUBBEKØBING	53

7.2	ERFARINGER MED DRIFTEN AF KOMPOSTTOILETSYSTEMET VED STUBBEKØBING-TOILETTERNE	53
7.2.1	<i>Toiletterne</i>	53
7.2.2	<i>Kaggen</i>	54
7.2.3	<i>DT Hurtig komposteren til efterkompostering</i>	57
7.2.4	<i>Volumenreduktion i "Kaggen 1" samt i "DT Hurtig komposteren"</i>	57
7.2.5	<i>Brugereerfaringer</i>	58
7.3	ERFARINGER MED DRIFT AF KOMPOSTTOILETSYSTEMET VED SKELSNÆS PAVILLIONEN	58
7.3.1	<i>Driftspersonalets erfaringer og erfaringer fra tilsyn</i>	58
7.3.2	<i>Spørgeskemaundersøgelse blandt brugerne</i>	59
8	MÅLERESULTATER OG SAMMENLIGNING MED ANDRE KOMPOSTER OG GØDNINGSMIDLER	61
8.1	INDHOLD AF NÆRINGSSTOFFER, KULSTOF SAMT LEDNINGSEVNE	61
8.2	INDHOLDET AF NÆRINGSSTOFFER SAMMENLIGNET MED INDHOLDET I ANDRE KOMPOSTMASSER	63
8.3	INDHOLDET AF NÆRINGSSTOFFER I SLAM FRA HUSTANKE	65
8.4	INDHOLDET AF NÆRINGSSTOFFER I DEN SEPAREREDE FÆKALIEFRAKTION EFTER AQUATRON	66
8.5	TEMPERATURER MÅLT I KAGGEN	66
8.6	TEMPERATURUDVIKLING I KOMPOSTMATERIALET I ANDRE KOMPOSTTOILETSYSTEMER	67
8.7	RESULTATER AF MIKROBIOLOGISKE UNDERSØGELSER	68
8.8	INDHOLD AF UDVALGTE MIKROORGANISMER I ANDRE KOMPOSTER	70
9	ERFARINGER MED KAGGEN OG SKELSNÆS-SYSTEMET ANDRE STEDER	73
9.1	ERFARINGER MED BRUG AF KAGGEN	73
9.2	ERFARINGER MED BRUG AF SKELSNÆS-SYSTEMET	74
10	DISKUSSION	75
11	LITTERATURLISTE	85

Forord

Storstrøms Amt har i forbindelse med "Aktionsplanen for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning" iværksat projektet "Kompostering og efterkompostering af humane restprodukter indeholdt i afvandet "sort" spildevand.

Projektet er iværksat under Miljøstyrelsens "Aktionsplan til fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning, Tema 3, "Næringsstoffer fra by til land". I projektet er der indsamlet erfaringer fra to komposteringsystemer, et kildesamlende- og et kildesortende system. Sidstnævnte er installeret i slutningen af 1998 som et led i projektet. Projektet er afrapporteret i 2002.

Arne Backlund, A&B Backlund ApS har været konsulent på projektet og har medvirket til udarbejdelse af rapporten.

Projektet har haft en styregruppe bestående af:

Linda Bagge, Miljøstyrelsen

Line Wilchen Hollesen, Miljøstyrelsen

Jakob Magid, Den Kongelige Veterinære Landbohøjskole, Institut for jordbrugsvidenskab

Søren Meilvang, Stubbekøbing Kommune

Mette O. Jepsen, Nakskov Kommune (ved projektets start ansat i Rudbjerg Kommune)

Bent Rasmussen, Vandmiljøkontoret, Storstrøms Amt

Storstrøms Amt vil gerne takke styregruppens medlemmer for konstruktive kommentarer og forslag i både den praktiske projektperiode og i rapportfasen.

Familien Kjær, for tålmodighed, hjælpsomhed og husly gennem projektperioden. Dette gælder ikke mindst i de perioder, hvor der har været driftsproblemer og hvor der er blevet løst mange praktiske problemer.

Sammenfatning og konklusioner

Storstrøms Amt har i efteråret 1998 iværksat projektet "Kompostering og efterkompostering af humane restprodukter indeholdt i afvandet "sort" spildevand.

Kapitel 1: Indledning

Med henblik på at få belyst hvorledes humane restprodukter, via kompostering, kan recirkuleres i Danmark, har Storstrøms Amt iværksat projektet med støtte fra Miljøstyrelsens aktionsplan for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning. Initiativtagere til projektet er familien Kjær i Stubbekøbing Kommune, A&B Backlund ApS og Storstrøms Amt, som sammen har udviklet og planlagt projektet.

Et af formålene med projektet er at indsamle erfaringer med installering og brug af et kildesortende komposttoiletsystem i et enfamiliehus. Et andet formål er at indsamle erfaringer med brugen af et kildesamlende komposttoiletsystem med mange brugere, erfaringer fra både driftspersonale og brugerne. Hensigten er desuden at følge komposteringsprocessen i de to komposttoiletsystemer, bl.a. med henblik på at kunne vurdere kvaliteten af det komposterede materiale.

I Stubbekøbing er der etableret et nyt spildevandssystem i efteråret 1998. Systemet er opbygget af systemkomponenter, som er kommercielt tilgængelige i Danmark, men som ikke er afprøvet her i landet. Undersøgelserne af systemet er foretaget i perioden fra november 1998 til oktober 2001.

Det kildesamlende toilet ved Skelsnæs Pavillonen er etableret før projektets start i 1998. Undersøgelserne af systemet er udført i 1999 og 2000. En spørgeskemaundersøgelse er gennemført blandt brugerne i sommersæsonen 2000.

Kapitel 2: Undersøgelserprogram

I dette kapitel beskrives undersøgelsesprogrammet for de to lokaliteter. Undersøgelserne omfatter indsamling af erfaringer med installation og drift af det kildesortende toiletsystem og med driften af det kildesamlende toiletsystem baseret på tilsyn og interviews. Derudover bearbejdes analyseresultater fra det måleprogram, som er udført på komposten fra det kildesortende system.

I undersøgelserne er hovedvægten lagt på at undersøge systemernes funktionsdygtighed og driftsstabilitet samt på målinger af kompostmaterialets indhold af næringsstoffer og udvalgte mikroorganismer. Sidstnævnte analyser er kun foretaget på materiale opsamlet i det kildesortende system, da komposteringsprocessen i det kildesamlende system ved Skelsnæs Pavillonen afbrydes så tidligt i processen, at materialet må karakteriseres som latrin.

Der er ikke analyseret for tungmetaller og miljøfremmede stoffer i forventning om, at dette blev undersøgt under Miljøstyrelsens koordinerede måleprogram for udvalgte tema 3-projekter.

Kapitel 3: Human urin og humane fækalier

I dette kapitel gives en karakteristik af urin og fækalier ud fra indholdstofferne. Selvom urin og fækalier normalt kun udgør ca. 1–1,5% af husspildevandet leverer de tilsammen 91% af udledningen af N, 83% af P og 60% af K. Urin alene står for ca. 80% af N, 55% af P og 44% af K i husspildevandet (Sundberg 1995, Vinnerås 2001).

Standardmængder for urinproduktion angives som 365 kg–550 kg pr. person pr. år alt efter kilde. Variationen i standardmængder for fækaliereproduktionen er endnu større fra 33 kg pr. person pr. år i Vinnerås (2001) til 110 kg pr. person pr. år i Del Porto et al. (2000). Indholdet og sammensætningen af næringsstoffer i fækalierne gør dem egnede som gødningsmidler, selvom indholdet af N er noget lavt i forhold til behovet. Det er dog ikke udgangsværdierne for fækalierne, der er afgørende for gødningsværdien, men næringsindholdet i slutproduktet.

Komposterede fækalier kan også være et nyttigt jordforbedringsmateriale. Det kan have stor effekt på især dårlige jorder, hvor indholdet af enten ler eller sand er meget højt. Tilførslen øger jordens indhold af kulstofholdigt organisk materiale, som igen øger den vandholdende kapacitet og øger tilgængeligheden af næringsstoffer. Humus dannet i komposteringsprocessen bidrager desuden til at sikre en sund bestand af organismer i jorden som beskytter planterne imod jordbårne sygdomme, (Kalkoffen et al. 1995, Esrey et al. 1998).

Humane fækalier indeholder et meget højt antal bakterier, men dette behøver ikke at betyde, at der er et stort indhold af smitstoffer. Smittede personer udsender imidlertid store mængder smitstoffer med fækalierne. Ved kompostering af fækalier er det derfor vigtigt, at antallet af indikatorbakterier og egentlige smitstoffer reduceres til et acceptabelt/defineret niveau.

Kapitel 4: Kompostering og komposttoiletsystemer

Kapitlet indeholder en kort beskrivelse af kompostering, komposteringsprocesser samt komposttoiletsystemer. Der er kun tale om en overordnet præsentation af stoffet, men de angivne referencer vil kunne give en oversigt over konkrete modeller og erfaringer fra driften.

Kompostering er en proces, hvor materialet omsættes under tilstedeværelse af ilt. Den organiske del af de fugtige restprodukter/affaldsprodukter bliver mineraliseret eller lavet om til stabile humusstoffer ved hjælp af iltforbrugende mikroorganismer, der i processen frigiver CO₂ og vand. Processen har ideelle betingelser ved en fugtighedsprocent i kompostmassen på 45–70% (Del Porto et al. 2000). Komposteringsprocessen kan deles op i tre faser: Nedbrydning, ombygning og opbygning. Massen reduceres markant i løbet af processen, som i bedste fald resulterer i en kompost med en karakteristisk mørk farve og lugt af jord. Mikroorganismene udnytter mere end en tredjedel af energiindholdet i materialet, mens den store restmængde bliver frigivet som varme.

I kapitlet beskrives de systemkomponenter, som indgår i kompostsystemerne, toiletstol, filter/separator, opsamlings/kompostenheden. Komponenterne kan være samlet i batch-komposteringssystemer eller kontinuerlige komposterings-systemer. Et batch-komposteringssystem består af to eller flere beholdere eller kamre. En beholder eller et kammer ad gangen fyldes ved brug af toilettet.

Materialet i den fyldte enhed komposteres/efterkomposteres derefter uden tilførsel af yderligere frisk fækalt materiale. Kompostsystemerne som undersøges i dette projekt er batch-systemer. Kontinuerlige systemer kan bestå af store ét-kammer-systemer med en flad eller skrå bund. Frisk materiale tilføres kontinuerligt i toppen af kompostbeholderen. Mængden er bestemt af toiletbrug samt evt. af tilførsel af organiske husholdningsrester og tilslagsstoffer. En mindre mængde komposteret materiale tages typisk ud fra bunden, første gang efter 2–4 år og derefter årligt.

Kapitel 5: Beskrivelse af spildevandssystemerne i projektet

Her beskrives de komponenter, som indgår i de 2 kompostsystemer, der undersøges i projektet. Det ene er et kildesortierende batch-komposttoiletsystem med vandskyl, som er installeret ved en enkelt husstand. Det består af et toilet med meget lille vandskyl (1-2 dl til urin og 0,5-1 liter til fækalier) og af 2 ”Kaggen”-beholdere med filtre, som anvendes til henholdsvis afvanding og kompostering. Dertil kommer en kompostbeholder, ”Hurtig komposterer”, der bruges til efterkompostering. Det andet kompostsystem er det offentlige kildesamlende batch-komposttoiletsystem uden vandskyl ved Skelsnæs Pavillonen. Her er to kildesamlende ”das” anbragt i hver sit rum i en toiletbygning. Ved benyttelse af toilettet sidder man på en bæk på en udskåret træplade. I rummet står en spand med spåner, der benyttes som tilslagsstof (strøelse) efter brug af toilettet. Fækalier m.m. falder ved simpel gravitation ned i det underliggende kammer. Systemet er beregnet til alternerende batch-drift med anvendelse og fyldning af et kammer ad gangen. Efter fyldning af et kammer kan dette derefter gå over i kompostfasen uden tilførsel af yderligere fækalier og urin.

Kapitel 6: Lovgivning

Kapitlet giver en kort gennemgang af den lovgivning, som er relevant i forbindelse med etablering af et komposttoilet samt lovgivningen vedrørende anvendelse af komposten som gødning. Endelig gøres der kort rede for lovgivningen i andre lande på dette område.

Spildevandssystemer er omfattet af både miljøbeskyttelsesloven og byggeloven. Afløbsinstallationerne skal udføres i overensstemmelse med normen for afløbsinstallationer, DS 432, 2000. Humane affaldsprodukter (urin og fækalier) kan anvendes til jordbrugsformål i henhold til slambekendtgørelsen (bek. nr. 49 af 20. januar 2000 om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål). Anvendelsesmulighederne for urin og andre humane affaldsprodukter afhænger af, hvorledes de er behandlet, (jfr. Miljøstyrelsens vejledning nr. 5 af 1999 til bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v., kapitel 13.2.2).

Kapitel 7: Erfaringer med installationer og drift

Der gøres kort rede for erfaringerne med installation og drift af komposttoilet i enfamiliehuset i Stubbekøbing og for erfaringerne med driften af det offentlige komposttoilet ved Skelsnæs Pavillonen. Her er brugernes mening om systemet desuden belyst ud fra besvarelser af et spørgeskema.

Erfaringer med driften af komposttoiletsystemet ved Stubbekøbing

Der har været flere problemer med vippemekanismen i ”Ecovip”-toilettet og dermed det fækale udskyl. Fjederens returtryk var ikke tilstrækkelig hårdt til at holde systemet tæt. Toilettet blev derfor udskiftet med et DS-toilet, der har et

større vandskyl (3-5 l for fækallier). Det materiale, som er opsamlet og komposteret i "Kaggen", og som der er udtaget prøver fra til diverse analyser, er opsamlet fra skyl med "Ecovip". Der har der ingen problemer været med "DS"-toilettet, bortset fra et enkelt stop, der kunne afhjælpes med en rensewire eller kaustisk soda. Familien synes, at rengøring af "Ecovip"-toilettes fækaliedel er væsentlig mere besværlig end rengøring af et normalt toilet. De er til gengæld meget tilfredse med "DS"-toilettet.

Filteret i den første "Kaggen" blev ikke bundet rigtigt op. Filterposen kom for langt ned i beholderen. Det ville være bedre, hvis der var flere fæstepunkter end de 4 i hjørnerne, og hvis en entydig befæstelse gav en rigtig placering af filteret. Trods dette var det alligevel muligt, at tilføre fækalt materiale fra de fire personer med høj hjemmefrekvens i næsten 13 måneder fra primo november 1998 til 26. november 1999. Det samlede batch, med et volumen på ca. 600 l, blev opbevaret ca. et år i filterposen uden omrøring, omstikning eller tilførsel af tilslagsstoffer. Der blev tilsat en skovlfuld kompost med orme i juni 2000.

I forbindelse med prøvetagningerne kunne man se, at kompostmassen virkede meget kompakt i en stor del af komposteringsperioden. Efter et års kompostering i "Kaggen" bliver materialet skovlet ud af filterposen og over i havekompostenheden "Hurtig komposter". De nederste 10-20 cm af materialet fra "Kaggen 1" virker stadig meget uomsat, men det vrirler med levende orme i kompostmaterialet. 10 måneder senere ser materialet ud til at være helt omsat. Det ligner plantemuld og er velduftende. Den samlede volumenreduktion i løbet af de to komposteringsfaser er på ca. 88%.

Erfaringer med driften af komposttoiletsystemet ved Skelsnæs Pavillonen

De to toiletter benyttes alternerende. Der skiftes typisk imellem dem en gang om måneden midt på sommeren, hvor der er flest besøgende, og lidt sjældnere uden for sommersæsonen. De hyppige skift skyldes, at opsamlingsrummene hurtigt fyldes op. I "hvileperioderne" falder materialet så lidt sammen og komposteringsprocessen går i gang. Det opsamlede materiale er dog primært spåner og papir. Andelen af fækallier er tilsyneladende lille. Opsamlingsrummene tømmes en gang om året, sidst på efteråret. Materialet fremstår ikke særlig omsat, men pga. det høje indhold af spåner virker det ikke uhumsk. Materialet nedgraves som latrin. Det horisontalt placerede ventilationsrør i opsamlingsrummet sidder uhensigtsmæssigt. Det fanger materialet, som falder ned fra toilettet og hæmmer dets videre transport. Det giver ekstra og ubehageligt arbejde for driftspersonalet. Erfaringer fra Nordjylland tyder på, at det horisontale ventilationsrør kan undværes.

I sommeren 2000 kunne brugerne af toilettet ved Skelsnæs Pavillonen give udtryk for deres mening om toilettet ved at udfylde et spørgeskema. Brugernes udtryk i alle besvarelser stor tilfredshed med systemet, som de finder har en tilfredsstillende standard, når det skal bruges som "skovtoilet".

Kapitel 8: Måleresultater og sammenligning med andre komposter og gødningsmidler

Der er udtaget prøver løbende igennem komposteringsperioden både fra "Kaggen" og fra "Hurtig komposter", TS-procenten stiger kun begrænset fra 18,2 til 23,0 i løbet af komposteringsperioden på knap 2 år. Fugtighedsprocenterne på 81,8-77,0 ligger langt fra de 60%, der anses for ideelle.

Det fremgår af analyseresultaterne, at der sker meget store reduktioner af såvel den samlede kompostmasse som af indholdsstofferne i massen. Den samlede reduktion af organisk materiale er på 88%. Måleresultaterne sammenholdt med skøn over volumen indikerer også en betydelig reduktion af indholdet af næringsstoffer. Det oprindelige indhold af N reduceres til 16%, P til 31% og K til 42% i løbet af komposterings- og efter-komposteringsperioden. Udgangsværdierne for indhold af N og P synes dog meget høje sammenlignet med standardtal for indhold i udsondrede fækalier.

Indholdet af næringsstoffer i komposten fra Stubbekøbing sammenlignes med indholdet i kompostmassen fra andre komposttoiletsystemer og med indholdet i slam fra hustranke (bundfældningstranke) og i den separerede fækaliefraction efter "Aquatron"-separatorer.

Temperaturer målt i "Kaggen"

Der er målt temperatur i "Kaggen" i komposteringsperioden, men ikke i tilførsels- og afvandingsperioden. Temperaturudviklingen synes mere bestemt af de ydre temperaturforhold end af temperaturstigninger på grund af varme-skabende biologisk aktivitet i kompostmassen. Den lavest registrerede temperatur er 3°C. Der har således været tale om perioder, hvor der kun har været ubetydelig mikrobiologisk aktivitet. Det vides ikke, om temperaturen kan have været lavere i perioden 16.01.00 – 30.04.00, hvor temperaturen ikke blev målt. Højeste temperatur er 21,4°C, registreret i juli 2000. De målte temperaturer sammenholdes med temperaturudviklingen i kompostmateriale i andre komposttoiletsystemer.

Resultater af mikrobiologiske undersøgelser

I løbet af komposterings- og efter-komposteringsperioderne er der udtaget 5 prøver, som er analyseret for indhold af mikroorganismer. Resultaterne viser, at antallet af termotolerante coliforme bakterier er reduceret til 10 cfu/g (colony forming units) knapt et år efter ophørt tilførsel af fækalit materiale. Materialet er på dette tidspunkt endnu i "Kaggen". Det er hverken blevet luftet, stukket om eller på anden måde behandlet. Ved næste analyse, 10 måneder efter at materialet er overført til kompostbeholderen, er indholdet under detektionsniveauet (<10 cfu/g). Analyser af præsumptive *E.coli* viser samme resultater. Antallet af enterokokker er på 12.000 cfu/g efter knapt et år og under detektionsniveauet (<100 cfu/g) ved næste måling 10 måneder senere. Der er ikke fundet *Salmonella* eller *Campylobacter* i nogen af prøverne. Alle prøver indeholder *Cryptosporidium parvum*, men antallet er for lille til kvantificering. Resultaterne sammenlignes med indholdet af udvalgte mikroorganismer i andre komposter, som viser en tilsvarende stor reduktion.

Kapitel 9: Erfaringer med tilsvarende kompostsystemer

I dette kapitel beskrives erfaringer med anvendelse af "Kaggen" til kompostering i Sverige. Desuden beskrives kort erfaringerne fra Nordjyllands Amt, hvor der er etableret ca. 20 komposttoiletter af samme type som toilettet ved Skelsnæs Pavillonen.

Kapitel 10: Diskussion

På baggrund af erfaringerne fra brugen af de 2 komposteringsystemer diskuteres mulighederne for at optimere såvel komponenterne som driften af systemerne. Desuden diskuteres kompostmaterialets kvalitet ud fra indhold af næringsstoffer og mikroorganismer.

Anvendelsesmulighederne for de 2 systemer vurderes. F.eks. anses det kildesamlende toilet fra Skelsnæs Pavillonen som meget anvendeligt på primitive lejrpladser, spejderlejre, ved rekreative udflugtsmål, dvs. steder, hvor der ikke stilles krav om høj komfort. Systemet er også meget velegnet, selvom man kun udnytter systemets volumenreduktion og nedgraver "komposten" som latrin.

Det kildesortierende "Kaggen"-system vurderes at være et glimrende alternativ til andre komposteringssystemer og andre lavteknologiske spildevandsanlæg, specielt i det åbne land, hvor interessen for at bruge komposten i havebrug også er størst. Der er imidlertid behov for analyser af indholdet af tungmetaller og miljøfremmede organiske stoffer samt for en risikovurdering af kompostproduktets anvendelse som gødning, både ud fra et eventuelt indhold af disse stoffer og udfra indholdet af mikroorganismer, herunder bakterielle smitstoffer.

Summary and conclusions

In the autumn of 1998 the County of Storstrøm initiated the project "Composting and maturing of human residual products contained in drained "black" wastewater".

Chapter 1: Introduction

In order to illustrate how human residual products can be recycled through composting in Denmark, Storstrøm County has initiated a project funded by the Danish Environmental Protection Agency programme on sustainable urban renewal and wastewater treatment. The project was originated by the Kjær family in the municipality of Stubbekøbing, by A & B Backlund ApS and by Storstrøm County, who jointly developed and planned the project.

One of the goals of the project is to collect experience on establishing and using a source diverting compost toilet system in a one-family house. Another goal is to collect experience on the use of a source collecting compost toilet system including many users, experience from both operation staff and users. The intention is, moreover, to survey the composting process in the two toilet systems, e.g. in order to assess the quality of the compost material.

In the autumn of 1998, a new wastewater system was established in Stubbekøbing. The system is based on system assemblies, commercially available but not yet tested in Denmark. The examinations of the system were made during the period November 1998 - October 2001.

The source-collecting toilet at the Skelsnæs Pavillon was established in 1998, before the project was launched. The examinations of the system were made in 1999 and in 2000. A questionnaire study among the users was made in the summer season of 2000.

Chapter 2: Examination programme

In this chapter the examination programmes of the two localities are described. Based on interviews and supervision, the examinations include the experience gained from the installation and operation of the source segregation toilet system compared to the operation of the source collecting toilet system. Furthermore, the results of the measurements taken from the compost of the source diverting system are examined.

The analysis focuses on the examination of the functionality and stability of the systems as well as on measurements of the content of nutrients and special micro-organisms in the compost material. The analyses of the micro-organisms and nutrients are made exclusively with material collected in the source diverting system, as the composting process of the source collecting system at Skelsnæs Pavillon is interrupted at such an early stage that the material must be regarded as night soil.

Since the co-ordinated measuring programme of selected theme-3 projects is expected to include analysis of the content of heavy metals and xenobiotic components, these are not included in the analysis.

Chapter 3: Human urine and faeces

This chapter characterises urine and faeces on the basis of the constituents. Even though urine and faeces normally constitute approx. 1-1.5% of the household wastewater, they account for 91% of the discharge of N, 83% of P, and 60% of K. Urine alone accounts for 80% of N, 55% of P, and 44% of K contained in the household wastewater (Sundberg 1995, Vinnerås 2001).

Standard urine production is indicated to be 365-550 kg per person per year depending on the source. The annual standard amount of faeces varies from 33 kg per person in Vinnerås (2001) to 110 kg per person in Del Porto (2000). The content and composition of nutrients in the faeces make them suitable as fertilisers, even though the content of N is somewhat lower compared to the need. It is, however, not the output variables of the faeces, but the nutritive content of the end product that is decisive for the manurial value.

Composted faeces may also be useful as soil improving material. It may have a great effect on especially barren lands containing much clay or sand. Composting will increase the content of carbonaceous organic material of the soil, which leads to an increase of the water-retaining capacity and the accessibility to nutrients. Humus produced during the composting process also creates good conditions for a healthy population of organisms in the soil, protecting the plants from earthborn diseases (Kalkoffen et al. 1995, Esrey et al. 1998).

Human faeces contain a large amount of bacteria, which does not necessarily imply a large quantity of infectious matters, however. Infected persons do, however, secrete large quantities of infectious matters with the faeces. In the composting process of faeces it is therefore important that the amount of indicator bacteria and actual infectious matters is reduced to an acceptable/defined level.

Chapter 4: Composting and compost toilet systems

The chapter gives a short description of composting, composting processes and compost toilet systems, as an overall presentation of the material. However, the references listed may give an overview of concrete models and experience gained from the operation.

Making compost is a process in which the material is transformed by the aid of oxygen. The organic part of the wet residual/waste products is mineralised or transformed into solid humus by the aid of oxygen-consuming micro-organisms, releasing carbon dioxide and water in the process. A humidity percentage of 45-70% in the compost substance is ideal to the process (Del Porto et al. 2000). The composting process can be divided into three phases: decomposition, rebuilding and construction. The substance is reduced considerably during the process, which at best results in a compost substance of a characteristic dark colour and with a smell of earth. The micro-organisms use more than one third of the energy contained in the material, while the large, remaining quantity is released as heat.

This chapter describes the system assemblies forming part of the composting systems, toilet stools, filters/separators and the collecting/composting units.

The parts may be assembled in batch composting systems or continuous composting systems. A batch composting system consists of two or more containers or chambers. While the toilet is used, one container or one chamber is filled. The material in the filled-up unit is then composted without further supply of fresh faecal material. The composting systems examined in this project are batch systems. Continuous systems may consist of large one-chamber systems with flat or sloping bottoms. Fresh material is supplied continuously at the top of the compost container. The amount depends on the frequency of use and possibly on the supply of organic household waste and admixtures. A minor amount of composted material will typically be removed from the bottom after 2-4 years for the first time, and after that once a year.

Chapter 5: Description of the wastewater systems in the project

The assemblies forming part of the two composting systems of the project are described. One of them is a source diverting batch composting system with water flush, which is installed at each household. It consists of a toilet with very small water flush (1-2 decilitres for urine and 0.5 litres for faeces) and of two “Kaggen” containers with filters, used for drainage and composting respectively. In addition to this a compost container – the “Quick Composter” – is used for the maturing stage. The other composting system is the public source collecting batch compost toilet system without flush, placed at the Skelsnæs Pavillon. Here a toilet building includes two separate rooms containing a source-collecting privy. When you use the toilet you sit on a kind of cut-out wooden bench. In the room there is a bucket of sawdust to be used as an admixture (for sprinkling after stools). By simple gravitation, faeces etc. will sink into the underlying chamber. The system is designed for alternating batch running, using and filling one chamber at a time. When one chamber is filled up, the substance can enter the maturing stage without further supply of faeces and urine.

Chapter 6: Legislation

The chapter gives a short presentation of legislation relevant to the establishment of a compost toilet, together with legislation related to the application of the compost as manure. Finally, the legislation of other countries in this area is outlined.

Wastewater systems are regulated by the Environmental Protection Act as well as by the Building Act. Plumbing must be performed according to the basic standards of waste pipe installations (DS 432, 2000). Human residual products (urine and faeces) may be used for agricultural purposes according to the sludge executive order (no. 49 of January 20th 2000 on the application of waste products for agricultural purposes). The possible applications of urine and other humane residual products depend on how they are treated (cf. guideline no. 5 of 1999 of the Danish Environmental Protection Agency on the executive order on sewage permits etc., section 13.2.2).

Chapter 7: Experience gained from installation and running

A short presentation is given of the experience gained from the installation and running of the compost toilet in the one-family house in Stubbekøbing and from the public compost toilet at the Skelsnæs Pavillon. In addition the users have indicated their opinion on the system questionnaires

Experience from the running of the compost toilet system at Stubbekøbing

The toilet has posed great problems with the tilting device of the “Ecovip” toilet and, thus, with the flushing of the faeces. The backward pressure of the spring was not sufficiently strong to keep the system tight, and consequently the toilet was changed into a DS toilet, which produces a larger flush (3-5 litres for faeces). The material collected and composted in the “Kaggen”, of which samples were taken for various analyses, was collected from flushes with the “Ecovip”. Apart from one single choking, which could be mended by way of a cleaning wire or caustic soda, no problems with the “DS” toilet were registered here. The family found that cleaning the faeces unit of the “Ecovip” toilet was considerably more difficult than cleaning an ordinary toilet. In return, they have been very satisfied with the “DS” toilet.

The filter in the first “Kaggen” was not properly installed; the filter bag was placed too far down in the container. It would have been more convenient with more suspension points than the four in the corners, and even better if an obvious method of suspension encouraged correct fitting of the filter. In spite of this it was, however, possible to supply faeces from the four persons having a high home frequency, for almost 13 months from the beginning of November 1998 to November the 26th 1999. The assembled batch containing approx. 600 litres stayed untouched about one year, without stirring, digging over or supply of admixtures. A shovel of compost containing worms was added in June 2000.

In connection with the testing it was obvious that the compost substance was rather compact during long periods of the composting process. After one year of composting in the “Kaggen” the material was shovelled from the filter bag into the garden compost unit, the “Quick Composter”. The bottom 10-20 cm of the “Kaggen” material is still not properly transformed; there are a lot of worms in the compost material, however. Ten months later the material seems totally transformed. It looks like sphagnum, and it smells good. The total reduction of volume during the two composting phases is approx. 88%.

Experience from the running of the compost toilet system at the Skelsnæs Pavillon

The two toilets are used alternately. During mid-summer, the time when the number of visitors peaks, they are used in terms, interchanging once a month and less frequently out of season. The frequent changes are made because the chambers are filled up quickly. During the “quiet periods” the material will collapse, and the composting process will start. However, the collected material is primarily sawdust and paper. The quantity of faeces seems to be small. The containers are emptied once a year, in late autumn. The material is not entirely transformed, but because of its high content of sawdust, the material does not appear repulsive. The material is buried as night soil. The horizontal air shaft in the container is placed inconveniently. Material falling from the toilet is caught by the shaft and prevented from further transportation, which means an extra and unpleasant job for the service staff. Experience from Northern Jutland indicates that the air shaft is dispensable.

In the summer of 2000, the users of the toilet at the Skelsnæs Pavillon had the opportunity to express their opinion about the toilet by filling in a questionnaire. All the answers expressed great satisfaction with the system, which, in their opinion, had a satisfactory standard when used as a “forest privy”.

Chapter 8: Analysis results and comparison to other compost and manure material

Tests have been made frequently during the composting period, both from the “Kaggen” and from the “Quick Composter”. During the composting period of just under two years the TS percentage rises moderately from 18.2 to 23.0. The humidity percentages of 81.8 – 77.0 are far from the 60% which is considered ideal.

It appears from the analyses that considerable reductions of the total compost substance and the constituents take place. The total reduction of organic material is 88%. The results and the assessment of the volume indicate a considerable reduction of the nutrient content. During the composting and maturing stages the original content of N is reduced to 16%, P to 31%, and K to 42%. The output variables of the content of N and P seem rather high compared to standard figures of excreted faeces.

The content of nutrients in the compost from Stubbekøbing is compared with the content in the compost substances from other compost toilet systems as well as with the content in sludge from household containers (sedimentation tanks), and in the faeces fraction separated in connection with “Aquatron” separators.

Temperatures measured in the “Kaggen”

In the “Kaggen”, temperatures have been measured during the composting period, but not during supply and draining periods. The temperature development seems to depend more on the exterior temperature conditions than on any increase of temperatures caused by heat generating biological activity in the compost substance. The lowest temperature recorded is 3° C, which indicates that there may have been periods of insignificant micro-biological activity. Temperatures may have been even lower during the period from January 16th to April 30th 2000, when temperatures were not measured. The highest temperature, recorded in July 2000, is 21.4°C. The temperatures measured are compared to the temperature development in the compost material of other compost toilet systems.

Results from micro-biological analyses

During the composting and maturing stages five tests have been made, which have been analysed for content of micro-organisms. The results prove that the number of thermo tolerant coliforms has been reduced to 10 cfu/g (colony forming units) about one year after the supply of faeces was stopped. At this time, the material still remains in the “Kaggen”. It has been neither ventilated, shovelled nor treated in any way. Ten months later, after the material was transferred to the compost container, the next analysis shows a content below the detection level (<10 cfu/g). Analyses of presumptive E-coli show the same results. The number of enterococci is 12,000 cfu/g after approx. one year, and 10 months later, at the next measuring, it is below the level of detection (<100 cfu/g. No salmonella or campylobacter have been found in any of the tests. All tests contain cryptosporidium parvum, but the amount is too small to quantify. The results are compared with the content of selected micro-organisms in other compost substances showing a similar large reduction.

Chapter 9: Experience gained from similar composting systems

This chapter presents the experience gained with the "Kaggen" in Sweden. Moreover, experience from the County of Northern Jutland is shortly presented. Here, 20 compost toilets of the same type as the toilet at the Skelsnæs Pavillon were installed.

Chapter 10: Discussion

On the basis of the experience gained from the use of the two composting systems, the possibilities of optimizing both the components and the operation of the systems are discussed. Furthermore, the quality of the compost material is discussed on the basis of the content of nutrients and micro-organisms.

The capabilities of the two systems are assessed. The source-collecting toilet at the Skelsnæs Pavillon is, thus, most applicable at primitive camp sites, scout camps, at recreational tourist sites, i.e. places where no modern conveniences can be expected. Further, the system is very convenient even if the reduced volume of the system is used, and the "compost" is buried as night soil.

The source diverting system of "Kaggen" is found an excellent alternative to other composting systems and other low-technology sewage facilities, especially in the countryside, where you find the greatest interest in using the compost for garden purposes. There is, however, a need for analyses of the content of heavy metals and organic xenobiotic substances, as well as for an assessment of the risk in connection with the utilization of the compost product as manure, both with a view to the possible content of these substances and to micro-organisms, including bacterial infectious matters.

1 Indledning

Kravene til rensningen af spildevandet i det åbne land er blevet skærpede med ændringerne af miljøbeskyttelsesloven og lov om betalingsregler for spildevandsanlæg i maj 1997. Amtsrådet i Storstrøms Amt har på denne baggrund ønsket, at amtet medvirker til at tilvejebringe en større viden om alternative teknologier. Interessen deles med mange borgere, som ønsker at finde lavteknologiske og bæredygtige spildevandsløsninger som alternativer til kloakering og højteknologiske løsninger.

Med henblik på at få belyst hvorledes humane restprodukter (indeholdt i såkaldt "sort spildevand"), via kompostering kan recirkuleres i Danmark, har Storstrøms Amt iværksat projektet med støtte fra Miljøstyrelsens "Aktionsplan for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning". Initiativtagere til projektet er familien Kjær i Stubbekøbing Kommune, A&B Backlund ApS og Storstrøms Amt, som sammen har udviklet og planlagt projektet.

1.1 Baggrund

En familie i Stubbekøbing Kommune ønsker at indrette deres hjem og levevis efter økologiske og miljømæssige bæredygtige principper. I forbindelse med overtagelse af et husmandssted i 1998 ville familien derfor etablere et alternativt spildevandssystem, hvor næringsstofferne recirkuleres indenfor ejendommen. Der blev valgt et system baseret på kompostering af det "sorte spildevand" (de humane restprodukter) med mulighed for særskilt opsamling og udnyttelse af urinen til gødning.

Ved Skelsnæs Pavillonen under godset Søholt i Holeby Kommune har amtet i 1997 etableret et primitivt komposttoilet, som de besøgende i skoven og til pavillonen kan benytte. Her kildesorteres urin og fækalier ikke, systemet er "kildesamlende". På denne baggrund rejses spørgsmålet, om det er en god idé at placere denne type spildevandsanlæg i andre rekreative områder, som offentligheden har adgang til, samt på primitive lejrpladser og lignende steder.

Det er Storstrøms Amts vurdering, at der er behov for at tilvejebringe en større viden om disse toiletsystemer, deres driftsstabilitet og om brugernes accept af dem. Der er desuden behov for at undersøge det komposterede materials værdi som gødningsmiddel, og for en vurdering af eventuelle risici ved at benytte materialet som gødning. I Sverige er der gjort en del praktiske erfaringer med anvendelse af kombinerede afvandings- og komposteringssystemer, som det vil være relevant at indrage i denne forbindelse. Der er derimod ikke foretaget mikrobiologiske undersøgelser.

1.2 Formål

Et af formålene med projektet er at indsamle erfaringer med installering og brug af et kildesorterende komposttoiletssystem i et énfamilieshus. Et andet er at indsamle erfaringer med brugen af et kildesamlende komposttoiletssystem med mange brugere, erfaringer fra både driftspersonalet og brugerne.

Endnu et formål med projektet er at følge komposteringsprocessen i de to typer komposttoiletsystemer. Dette bl.a. med henblik på at kunne vurdere kvaliteten af det komposterede materiale. I det kildesorterende spildevandssystem (anlægget i énfamilieshuset) undersøges volumenreduktionen i løbet af komposterings- og efterkomposteringsperioden. Desuden undersøges ændringen i indholdet af næringsstoffer og af udvalgte mikroorganismer.

Projektet skal, sammen med andre projekter, medvirke til at tilvejebringe en viden, der kan danne baggrund for at udarbejde et regelsæt for opbevaring og udnyttelse af komposterede humane restprodukter som gødning. I denne forbindelse kan nævnes projekterne M229-0027 "Vurdering af forskellige komposttoiletters funktion og evne til at reducere smitstoffer i human afføring" og M229-0028 "Smitstofreduktion ved central efterkompostering af human afføring fra komposteringstoiletter". Begge projekter er igangsat i december 2000.

1.3 Komposttoiletsystemer i historisk perspektiv

Langt tilbage i menneskets historie og i de fleste kulturer har mennesker vidst, at humant fækalt materiale kunne overføre sygdomme, men samtidig rummede et potentiale som gødning. En række religiøse forskrifter kan tages som udtryk for forsøg på at reducere smittespredning fra fækalt materiale (Drangert et al. 1997).

Tidlig kompostering af fækalier og urin er kendt i Kina og i Syrien for over 1.000 år siden. Omkring 1860 præsenterede Henry Moule et jordkloset i England og i 1930'erne udviklede Rickard Lindström, Clivus Multrum, et stort kompostkammer med skrånende bund. Dette har senere fået betydelig udbredelse.

Et to-kammer system blev præsenteret i Indien i 1940'erne. Anvendelse af to-kammer systemer fik stor udbredelse i landområder i Vietnam i 1960'erne.

Der er etableret flere tusinde systemer i Vietnam og andre steder i Asien (Del Porto 2000). En noget modificeret udgave af systemet kaldet LASF (Letrina Abonera Seca Familiar) blev introduceret i Guatemala i 1978. Der er siden etableret titusinder af systemer i Mexico og i en række lande i mellemamerika (Esrey et al. 1998).

I begyndelsen af 1970'erne startede produktionen i henholdsvis Norge og Sverige af kompostkaruseller med typisk fire kamre. Systemerne har især fundet udbredelse i Skandinavien, USA, Australien og New Zealand. Den største af producenterne har leveret over 35.000 systemer i Skandinavien siden 1972 (Esrey et al. 1998, Del Porto 2000, Boisen 1995, Stubsgaard 1996).

De anvendte toiletstole er langt overvejende uden vandskyl og var indtil begyndelsen af 1990'erne typisk kildesamlende komposttoiletsystemer. Herefter har kildesortering af urin og fækalier fundet stigende udbredelse, således at urinen ikke tilføres kompostmaterialet. Kildesorterende toiletter var udbredte i Skandinavien i 1800-tallet, men blev fortrængte i takt med indførelsen af vandskylende toiletstole og kloakering (Wrisberg 1996, Drangert 2001).

Kildesortering anvendes i dag generelt i en række lande i dehydreringssystemer og for at undgå dræning, lugt- og flueproblemer samt for at forbedre C/N-forholdet i kompostmaterialet i komposttoiletsystemer (Boisen 1995,

Stubsgaard 1996, Drangert et al. 1997, Esrey et al. 1998, Del Porto et al. 2000).

Anvendelse af kildesortering har desuden igen muliggjort separat opsamling af urin/urin + skyllevand indeholdende langt hovedparten af de udsondrede næringsstoffer. En gødning af høj kvalitet, som efter lagring, kan anvendes til ny planteproduktion (Jönsson 2000, Höglund 2001, Holtze & Backlund 2002, Backlund et al. 2002).

1.4 Afgrænsning

I undersøgelserne er hovedvægten lagt på at undersøge systemernes funktionsdygtighed og driftstabilitet samt på målinger af kompostmaterialets indhold af næringsstoffer og udvalgte mikroorganismer. Sidstnævnte analyser er kun foretaget på materiale opsamlet i det kildesorterende system, da komposteringsprocessen i det kildesamlende system ved Skelsnæs Pavillionen afbrydes så tidligt i processen, at materialet må karakteriseres som latrin.

Projektet indgår ikke i det koordinerede analyseprogram for udvalgte projekter under tema 3, som Miljøstyrelsen iværksatte i 2000, men analyseparametrene er udvalgt på baggrund af dette analyseprogram. Der er således ikke analyseret for tungmetaller og miljøfremmede stoffer i forventning om, at kompost fra "Andelssamfundet Hjortshøj" skulle analyseres for disse parametre.

1.5 Projektforløb

Det kildesamlende toilet ved Skelsnæs Pavillionen var etableret før projektets start i 1998. Idéen til konstruktionen er hentet i Nordjyllands Amt, som har placeret sådanne toiletter på såkaldte "primitive lejrpladser". Undersøgelserne af systemet er udført i 1999 og 2000. En spørgeskemaundersøgelse er gennemført blandt brugerne i sommersæsonen 2000.

I Stubbekøbing er der etableret et nyt spildevandssystem i efteråret 1998. Systemet er bygget op af systemkomponenter, som er kommercielt tilgængelige i Danmark, men endnu ikke afprøvede her i landet. Undersøgelserne af systemet er foretaget i perioden fra november 1998 til oktober 2001. Perioden er opdelt i følgende faser:

- Opsamlingsfasen, primo november 1998 til 26. november 1999 (13 måneder). Opsamling af fækal materiale incl. toiletpapir i "Kaggen 1". Alle analyser er foretaget på dette materiale.
- Komposteringsfasen, 26. november 1999 til 9. januar 2001 (13 måneder). Kompostering af materialet i "Kaggen 1", samtidig opsamling af fækal materiale i "Kaggen 2".
- Efterkomposteringsfasen er fulgt fra 9. januar 2001 til 20. september 2001. Efterkompostering af materialet, komposteret i "Kaggen 1", i en kompostbeholder. Denne fase tilføjes, da materialet i "Kaggen 1" ikke vurderes at være færdigkomposteret. Samtidig kompostering i "Kaggen 2" og opsamling af nyt materiale (incl. urin) i "Kaggen 1". I foråret 2001 blev et "Ecovip"-toilet udskiftet med et "DS"-toilet. Begge toiletter er kildesorterende, men "DS" har et væsentlig større skyl til fækaler.

1.6 Spildevandsrelevante forhold på lokaliteterne

Det kildesorterede spildevandssystem er etableret på en mindre landejendom. Der er tale om en privat ejendom med faste brugere af toiletsystemet. I projektperioden bor der her en familie bestående af to voksne og to børn. Kun den ene voksne er udearbejdende, så hjemmefrekvensen er høj. Familien er i stor udstrækning selvforsynende med fødevarer, har køkkenhave og i perioder høns og/eller gæs. Til rengøring og vask benyttes miljømærkede produkter. Ejendommen har egen vandforsyning.

Ved projektets start er det tanken, at der tillige skal etableres et pilerenseanlæg, som skal modtage afløb fra kompostsystemet samt det grå spildevand (dvs. spildevand fra køkken og bad) og at urinen skal opsamles særskilt og bruges som gødning. Ved projektets afslutning er afløbene tilsluttet en trekamret hustank med henblik på eventuel senere videregående rensning. Hustanken har afløb til et nærtliggende vandløb.

Skelsnæs Pavillionen ligger et par hundrede meter fra Maribo sø. Toiletbygningen med det kildesamlende toilet ligger for sig selv, ca. 50 meter fra pavillionen. Stedet er offentligt tilgængeligt, toilettet har dermed mange og skiftende brugere, både voksne og børn. Pavillionen besøges både af enkeltpersoner og af grupper herunder skoleklasser og daginstitutioner. Gæster kan komme cyklende, gående eller sejlede, men bilen skal parkeres et par km derfra. Der ligger en gæstebog i pavillionen, som benyttes flittigt af de besøgende. Den giver indtryk af, at der er tale om et yndet udflugtsmål. Der er ingen vandforsyning på stedet.



Figur 1.1 Skelsnæs Pavillionen

2 Undersøgelser- og måleprogram

I dette kapitel beskrives undersøgelsesprogrammet for de to lokaliteter. Undersøgelserne omfatter indsamling af erfaringer med installation og drift af det kildesorterende toiletsystem og med driften af det kildesamlende toiletsystem baseret på tilsyn og interviews. Derudover bearbejdes analyseresultater fra det måleprogram, som er udført på komposten fra det kildesorterende system.

2.1 Erfaringer fra installation og drift af det kildesorterende toiletsystem på privat ejendom

På baggrund af samtaler med familien, håndværkere, medarbejdere ved kommunen og besøg på stedet, er der indsamlet erfaringer med installation, drift og vedligeholdelse af de enkelte komponenter. Det drejer sig om følgende:

- kildesorterende "Ecovip"-toilet, samt det senere installerede "DS"-toilet.
- rørinstallationer
- "Kaggen". Opsamlings-/afvandings- og komposteringsenhed
- Kompostbeholderen "DT-Hurtig-komposter"

2.2 Undersøgelser af indholdsstoffer i det komposterede materiale opsamlet i "Kaggen"

Prøveudtagning

Laboratoriet ROVESTA Miljø I/S har forestået prøveudtagningen af materiale fra komposten på ejendommen i Stubbekøbing. Prøverne er udtaget ved hjælp af et Kajak-rør og efter samme princip, som når der udtages sekvensprøver af spildevandsslam. Ved hver prøveudtagning er røret stukket tilfældigt ned 6 steder i komposten og en blandingsprøve heraf er sendt til analyse.

Tilledningen af friskt fækkalt materiale til "Kaggen" er stoppet den 26. november 1999. Der er udtaget 5 prøver i løbet af den godt 1 år lange komposteringsperiode i "Kaggen". Den sidste (T4) i slutningen af november 2000 i forbindelse med planlagt overførsel af komposten til kompostbeholderen. Oversførslen skete dog først i begyndelsen af januar 2001. Efter 8½ måneders efterkompostering i beholderen er der udtaget en sidste prøve (T5) (jfr. tabel 2.1)

Tabel 2.1

Datoer for prøveudtagningen på Møns Museumsgård

Prøve nr.	T0	T1	T2	T3	T4	T5
Dato	06.12.99	01.03.00	08.06.00	01.09.00	21.11.00	20.09.01

Næringsstoffer samt måling af pH og ledningsevne

Der er foretaget kemiske analyser for næringsstoffer, pH og ledningsevne af prøver af komposten. Parametre, metoder og detektionsgrænser fremgår af tabel 2.2.

Tabel 2.2

Analyseparametre, metoder og detektionsgrænser

Parametre	Enhed	Metode	Detektions grænse
Ledningsevne	10 mS/cm	FAJ, VI, 1*	
pH	PH,	FAJ, III, 8A*	
Tørstof (TS)	%	DS 204	0,002
Kvælstof, total (N)	mg/kg TS	NORDFORSK**	300
Ammoniak+Ammonium-N	mg/kg TS	DS 241	10
Fosfor, total (P)	mg/kg TS	NORDFORSK**	300
Kalium, total (K)	mg/kg TS	ICP	50
Kulstof, total C	% i TS	Afbrændes ved 1250° og CO ₂ måles ved IR	0,02

* FAJ "Fælles arbejdsmetoder for jordbundsanalyse 1994"

** Metoden er interkalibreret tidligere på slam, sediment, jord.

Temperaturmålinger

Temperaturen er målt under komposteringen i "Kaggen" i perioden 26. november 1999 til 21. november 2000. Temperaturen er aflæst af beboerne og i forbindelse med tilsyn. Grundet misforståelser i kommunikationen og sygdom er temperaturen ikke målt i forbindelse med overførslen af materialet til kompostbeholderen og under efterkomposteringen i denne.

Ved komposteringsperiodens start blev der placeret to temperaturfølere i kompostmassen henholdsvis 5 cm og 50 cm fra overfladen. Termometrene registrerer, dels den aktuelle temperatur, dels min. og maks. temperaturerne siden forrige aflæsning. Temperaturerne er aflæst med få dages mellemrum de første 3 måneder, men herefter typisk hver 14. dag. I den sidste halvdel af perioden er temperaturen kun målt 50 cm fra overfladen. Temperaturen er aflæst med 0,1 grads nøjagtighed.

Mikrobiologiske undersøgelser

I analyseprogrammet for kompostmaterialet er valgt de samme parametre som i Miljøstyrelsens koordinerede måleprogram, som er det samme for komposterede fækalier og lagret urin (jfr. notat af Dalsgaard m.fl. af 17 september 1999). I det koordinerede måleprogram er følgende mikrobiologiske parametre udvalgt (jfr. Dalsgaard & Tarnow, 2001):

Bakterielle indikatorer

Kimtal ved 37°C.

E. coli.

Enterokokker

Kimtal ved 37°C er en generel indikator for tilstedeværelse af smitstoffer og kan indikere bakteriel vækst. I Stubbekøbing er målt aerobt kimtal ved 37°C. Desuden er indholdet af termotolerante coliforme bakterier målt.

De øvrige er udvalgt, som indikatorer for fækalt materiale.

Bakterielle smitstoffer

*Campylobacter spp.**Salmonella*

Parasitære smitstoffer

Cryptosporidium parvum

Giardia duodenalis

Andre tarmparasitter

Ovennævnte parasitter er udvalgt som vigtige repræsentanter for rundorme og protozoer, der kan forårsage diarré hos mennesker i Danmark. Ved projektets afslutning har parasitologisk laboratorium og KVL (Anders Dalsgaard, personlig meddelelse) oplyst, at *Cryptosporidium parvum* af analysetekniske grunde ikke vil blive benyttet som indikator for parasitære smitstoffer i kommende projekter. Den sidste prøve, T5 kunne derfor ikke analyseres for dette smitstof.

Tabel 2.3
Analysemetoder

Parameter	Enhed	Metode
Kimtal ved 37°C	cfu/g	DS 2254:1
Termotolerente coliforme bakterier	cfu/100g	DS 2255:1
Enterokokker	cfu/g	NMKL 68
<i>E. coli</i>	cfu/g	NMKL 125
<i>Salmonella</i>	Antal pr. 25 g	NMKL 71
<i>Campylobacter spp.</i>	Antal pr. 25 g	NMKL 119:2
<i>Cryptosporidium parvum</i>		Mikroskopiering
<i>Giardia duodenalis</i>		Mikroskopiering

cfu = Colony forming units

Analyselaboratorier

Der er benyttet følgende laboratorier:

Rovesta Miljø I/S, Næstved har foretaget prøveudtagningerne.

Miljø Kemi, Dansk Miljøcenter A/S, Viborg har undersøgt indholdet af næringsstoffer, tørstof, pH og ledningsevne.

Ke-Mi-Lab. Ålborg har foretaget de bakterielle undersøgelser.

Parasitologisk Laboratorium, Statens Serum Institut har foretaget de parasitologiske undersøgelser.

3 Human urin og humane fækalier

Der er stor forskel på hvor meget det enkelte menneske producerer af urin og fækalier. Såvel udsondrede mængder, som indholdsstoffer varierer meget fra person til person alt efter alder, køn, sundhedstilstand og karakteristisk af indtagne fødevarer. Vegetarer producerer således alt andet lige større mængder fækalier med et større vandindhold (Sundberg 1995, Kalkoffen et al. 1995, Vinnerås 2001, Wrisberg et al. 2001). I dette kapitel gives en karakteristik af urin og fækalier ud fra en gødningsvinkel.

Masse og næringsstoffer

Selv om urin og fækalier normalt kun udgør ca. 1–1,5% af husspildevandet leverer de tilsammen 91% af udledningen af N, 83% af P og 60% af K. Urin alene står for ca. 80% af N, 55% af P og 44% af K i husspildevandet (Sundberg 1995, Vinnerås 2001).

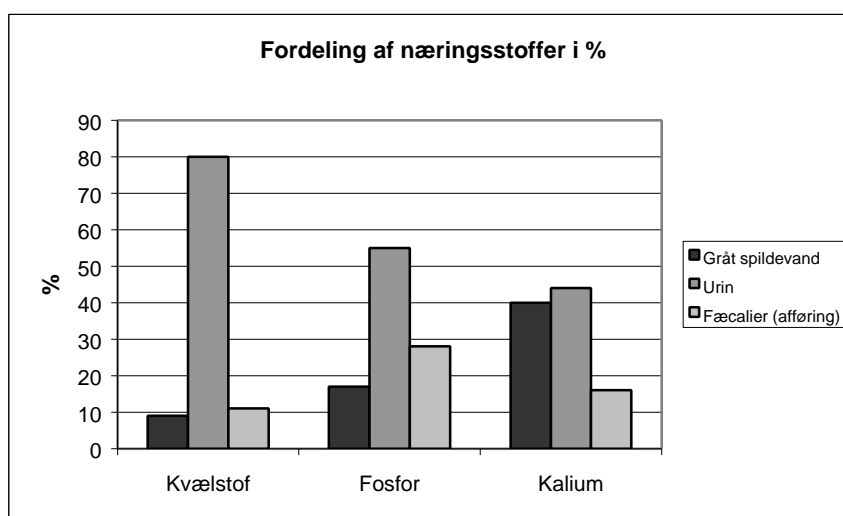
Fordelingen af næringsstoffer i husspildevandet fordelt på urin, fækalier og gråt spildevand fremgår af tabel 3.1. og figur 3.1

Tabel 3.1

Procentvis fordeling af makronæringsstoffer i husspildevandet fordelt på fraktionerne urin, fækalier og gråt spildevand

Parameter	Enhed	Urin	Fækalier	Gråt spildevand
Kvælstof (N)	%	80	11	9
Fosfor (P)	%	55	28	17
Kalium (K)	%	44	16	40

Kilde: Sundberg 1995, Vinnerås 2001



Figur 3.1 Fordeling af næringsstoffer i spildevandsstrømmene

Kilde: Sundberg 1995, Vinnerås 2001

Standardtal for masse, tørstof og indhold af næringsstoffer er samlet i nedenstående tabel. Standardmængder for urinproduktion angives som 365 kg–550 kg pr. person og år alt efter kilde. Variationen i standardmængder for fækaliereproduktionen er endnu større fra 33 kg pr. person pr. år i Vinnerås (2001) til 75 kg pr. person pr. år i Wrisberg (2001).

Tabel 3.2

Masse, tørstof og næringsstoffer pr. person og år i urin og fækalier og i relation til andre udvalgte parametre.

Parameter	Enhed	Urin Pr. år (1)	Fækalier Pr. år (1)	Fækalier pr. år (2)	Fækalier Pr. år (3)
Masse (MS)	kg	550	33	75	109,5
Tørstof	kg	21,9	10,8	13	16,4
TS-procent		3,98	32,7	17,3	15
Næringsstoffer					
Kvælstof (N)	g/år	4.015	548	370	730
Kvælstof (N)	g/kg MS	7,3	13,7	4,9	6,7
Kvælstof (N)	g/kg TS	183,3	41,9	28,5	44,5
Fosfor (P)	g/år	365	183	180	219
Fosfor (P)	g/kg MS	0,7	5,6	2,4	2,0
Fosfor (P)	g/kg TS	16,7	17,0	13,8	13,4
Kalium (K)	g/år	1.100	400	370	219
Kalium (K)	g/kg MS	2	12,1	4,9	2,0
Kalium (K)	g/kg TS	50,2	37,0	28,5	13,4
NPK-forhold		100:9:27	100:33:73	100:49:100	100:33:33
N/P-kvotient		11	3	2	3

Kilde: Sundberg 1995, Vinnerås 2001 (1), Wrisberg et al. 2001 (2), Del Porto 2000 (3).

Ovenstående tal viser, at tilførslen af såvel masse som indholdsstoffer til et komposttoiletsystem, og dermed udgangsmaterialet for en komposteringsproces, bliver vidt forskellige alt efter om det tilføres såvel fækalier som urin eller kun fækalier. De forskellige standardværdier for fækalier varierer også meget afhængigt af hvilken undersøgelse, der tages udgangspunkt i. Det giver betydelige forskelle i bl.a. væskeindhold i og koncentration af kvælstof i fækalierne, som igen er af betydning for C/N-forholdet i komposteringsprocessen.

Standardværdierne indikerer potentialet for næringsstoffer inden tab ved håndtering, behandling etc. Det er interessant at sammenholde de potentielle mængder med de mængder af næringsstoffer, som er tilbage efter lagring af kildesorteret urin eller efter kompostering af fækalier, eventuelt samkomposteret med urin. Sammenligninger kan vise tab af næringsstoffer og hvilke mængder, der er tilgængelige for tilbageførsel til jorden som gødning.

Urin/urinblanding (urin+ skyllevand) indeholder langt hovedparten af de næringsstoffer som udskilles (jfr. tabel 3.1, 3.2 samt fig. 3.1). Opsamles den ved hjælp af kildesorterede toiletter og lagres i tanke kan urinen blive et gødningsmiddel af høj kvalitet. Næringsstab er ikke stort og produktet kan med god effekt anvendes til planteproduktion (Vinnerås 2001, Kjærman et al. 1999, Jönsson et al. 2000, Stinzinger et al. 2000, Backlund 2001, Holtze & Backlund 2002, Wrisberg et al. 2001, Dalsgård & Tarnow 2001).

Rigtig lagring af den kildesorterede urin/urinblanding giver et meget begrænset tab af kvælstofindholdet i modsætning til det forventede næringsstoffstab ved medkompostering af urin i en kompostbeholder (Jönsson et al. 2000,

Holtze & Backlund 2001). Urinen indeholder umiddelbart plantetilgængelige næringsstoffer med et stort indhold af kvælstof, meget få tungmetaller.

Komposterede fækaler kan være et nyttigt jordforbedringsmateriale. Det kan have stor effekt på især dårlige jorde, hvor indholdet af enten ler eller sand er meget højt. Tilførslen øger jordens indhold af kulstofholdigt organisk materiale, øger den vandholdende kapacitet (organisk materiale har en høj vandholdende kapacitet) og øger tilgængeligheden af næringsstoffer. Humus dannet i komposteringsprocessen bidrager til at sikre en sund bestand af organismer i jorden, som beskytter planterne imod jordbårne sygdomme (Kalkoffen et al. 1995, Esrey et al. 1998).

Uanset valg af standardværdier i tabel 3.2 fremstår det, at fækaler har såvel et godt indhold, som en sammensætning af næringsstoffer, hvilket gør dem egnede som gødningsmidler. Næringsstofsbehovet udtrykt ved NPK-forholdet er for energipil 100:12:72, for vinterhvede 100:14:33 og for vinterbyg 100:19:48 (Aronsson 2001, personlig meddelelse, Hydro Agri 1995). Afgørende for gødningsværdien bliver dog ikke udgangsværdierne for fækaler med indholdet i slutproduktet.

Indikatorbakterier

Humane fækaler indeholder et meget højt antal mikroorganismer. Ved kompostering af fækaler (jfr. kap 5) er det vigtigt at reducere antallet af indikatorbakterier og egentlige smitstoffer til et acceptabelt/defineret niveau. Disse smitstoffer kan være til stede i kompostmassen, fordi de udskilles med fækalierne hos smittebærende personer.

Tabel 3.3 viser indholdet af udvalgte indikatorbakterier i fækaler.

Tabel 3.3
Indhold af udvalgte indikatorbakterier i fækaler

Indikatorbakterie	Enhed	Indhold i fækaler
Totale koliforme	cfu/g	10^7 - 10^9
<i>E. coli</i>	cfu/g	10^7 - 10^9
Enterokokker	cfu/g	10^5 - 10^7

Kilde: Jönsson et al. 2000, Höglund 2001
cfu = Colony forming units

Sundhedsrisici i forbindelse med anvendelse af urin anses generelt ikke at være forbundet med urinen i sig selv, men på grund af forurening af fækalt materiale. Urinen er som udgangspunkt steril i urinblæren hos raske personer og indeholder normalt mindre end 10.000 bakterier ved udsondringen (Jönsson et al. 2000, Höglund 2001).

I Danmark konkluderer Dalsgaard & Tarnow, at der er en ubetydelig risiko for bakteriel smitte ved anvendelse af urin efter lagring i fire måneder. Men nærmere undersøgelser er påkrævet med hensyn til protozoer på grund af fund af *Cryptosporidium parvum*. En risikoanalyse, ved anvendelse af urin, bliver foretaget af Dansk Zoonosecenter (Dalsgård & Tarnow 2001, Wrisberg et. al 2001).

Der er mange grunde til at overveje, om fækaler skal komposteres særskilt eller sammen med urin/urinblanding. Fraktionerne er kvantitativt og kvalitativt forskellige. Indhold af næringsstoffer og procesbetingede tab er meget forskel-

lige. Det samme gælder indhold og reduktion af smitstoffer. Udgangsmaterialet har desuden afgørende betydning for funktionen, driftssikkerheden og eventuelle gener ved komposteringsprocessen i komposttoiletsystemet. Her er det med fordel muligt at inddrage historiske proceserfaringer vedrørende problemer, fordele og ulemper (se bl.a. Boisen 1995, Kalkoffen 1995, Stubsgaard 1996, Fittschen et al. 1997, Fittschen 1999, Del Porto 2000, Backlund et al. 2001).

4 Kompostering og komposttoilet-systemer

I det følgende beskrives kort kompostering, komposteringsprocesser samt komposttoiletsystemer. Hensigten er at karakterisere de i projektet anvendte komposttoiletsystemer og af komposteringen i systemerne. Der er kun tale om en overordnet præsentation af systemkomponenter i forskellige komposttoilet-systemer og ikke om en beskrivelse af eller gengivelse af erfaringer med enkelte modeller eller processer. Angivne referencer vil kunne give en oversigt over konkrete modeller og erfaringer fra driften.

4.1 Kompostering

Beskrivelsen af kompostering og komposteringsproces i dette afsnit bygger hovedsagelig på Kalkoffen et al. (1995) og Del Porto et al. (2000).

Kompostering er en aerob proces, aerob forrådnelse/udrådnelse, hvor den organiske del af fugtige restprodukter/affaldsprodukter bliver mineraliseret eller lavet om til stabile humusstoffer ved hjælp af iltforbrugende mikroorganismer, der i processen frigiver CO_2 og vand. Processen har ideelle betingelser ved en fugtighedsprocent i kompostmassen på 45–70% (Del Porto et al. 2000), Kalkoffen et al. (1995) angiver 55% og (Boisen 1995) 50–70%. Hvis fugtighedsprocenten er væsentlig højere reduceres mikroorganismernes aktivitet på grund af begrænset tilgang af ilt. Ved en tørstofprocent på under 20 vil den høje fugtighed presse luft ud af hulrummene imellem partiklerne i kompostmassen (Boisen 1995). Ved meget lav fugtighed reduceres aktiviteten af begrænset tilgang af væske (Esrey et al. 1998).

Kompostering kan differentieres i forhold til andre aerobe processer ved hjælp af fugtindholdet i såvel udgangsmateriale som i slutprodukt. Vådkompostering (aerob termofil slamstabilisering) foregår ved iltning af vandmættet pumpbart materiale (Norin 1996A, Norin 1996B, Skjelhaugen 1999, Wrisberg et al. 2001). Dehydrering foregår ved udtørring af materiale til maksimum 25% væske ved fordampning og tilsætning af absorberende tilslagsstoffer (Esrey et al. 1998, Del Porto 2000, Austin 2001A, Austin 2001B).

Komposteringsprocessen kan deles op i tre faser: Nedbrydning, ombygning og opbygning. Afgørende er kontinuerlig tilgang til ilt. Tilvæksten af mikroorganismer er eksponentiel i kompostmassen. Tilvæksten bestemmes i høj grad af C/N-forholdet, hvor 30:1 regnes for ideelt (Del Porto et al. 2000). Boisen (1995) angiver 27:1 og Esrey et al. (1998) 25:1 som det ideelle forhold. C/N-forholdet er 7,5 i fækalier og 0,8 i urin (Del Porto et al. 2000). C/N-forholdet er således meget langt fra det ideelle i urin og tilførsel af urin til komposten kan have negativ indflydelse, hvis der ikke kompenseres ved tilførsel af materiale med højt C/N-forhold.

Først udnytter mikroorganismene de let nedbrydelige substanser som sukker og enkle kulhydrater som næringskilde i en proces med faldende pH. I det vi-

dere forløb anvendes også cellulose, æggehvide, fedt m.m. I denne fase stiger pH og nærmer sig neutral. Svampe og actinomyceter udvikler sig.

Faserne er kendetegnet ved reduktion af masse. I den sidste fase, der også kaldes modningsfasen, som oftest først foregår i den frie natur, sker der en opbygning af stabile huminsyrer. Processen giver den færdige kompost en karakteristisk mørk farve og lugt af jord. Grønne og blå alger danner vigtige forbindelser, og makrofauna som bl.a. regnorme danner ved hjælp af bestanddele af ler, den for jorden optimale krummestruktur. Den samlede volumenreduktion kan være 70–90%.

Ved komposteringen bliver det muligt for mikroorganismene at udnytte mere end en tredjedel af energiindholdet i materialet, mens den store restmængde bliver frigivet som varme. Her fremkommer endnu en mulighed for differentieringer inden for den samlede kompostproces: Perioder med henholdsvis temperaturstigning, konstante temperaturer eller faldende temperaturer.

Den energi, der frigives ved komposteringen, kommer ikke automatisk til udtryk ved en temperaturstigning. Varmen kan blive ventileret eller drænet væk. Udvikling af termofile temperaturer, der f.eks. kan virke reducerende på antallet af smitstoffer, kræver bestemte betingelser og optræder kun i bestemte faser. Den mikrobiologiske aktivitet fordobles for hver stigning på 8–10°C i intervallet 10–50°C, og der regnes ikke med aktivitet under 5°C. Forskellige typer af mikroorganismer er fremherskende ved forskellige temperaturintervaller. Ved 6–20°C er det primært svampe og actinomyceter, der er aktive, hvor det ved 21–45°C især er mesofile bakterier og ved 46–71°C især er termofile bakterier. Fugtighedsprocenten har stor betydning for mikroorganismernes aktivitet og for hvor meget energi, der kræves til fordampning.

Bakterier kan også nedbryde og udrådne organiske substanser uden tilgang af ilt. Der bliver her tale om en anaerob gæring med, hvis der ikke er tale om et biogasanlæg, produktion af uønskede produkter som metan, svovlbrinte, ammoniak og andre delvis giftige og stinkende stoffer. Ved tilførsel af ilt kan kompostering dog også finde sted i flydende substanser (vådkompostering) (Norin 1996A, Norin 1996B, Skjelhaugen 1999).

Komposteringsprocesserne kan yderligere karakteriseres ud fra:

- Udgangsmaterialet
- Tidsmæssig opbygning af kompostvolumenet –tilførsel i batch eller kontinuerligt
- Størrelse af kompostvolumenet
- Nødvendigt tidsforbrug frem til slutprodukt
- Slutproduktet

Udgangsmaterialet kan være haveaffald, køkkenaffald, slam, fækalier med eller uden urin, med eller uden skyllevand etc. Eller det kan være sammensat af forskellige fraktioner. I sammenhæng med komposttoiletsystemer vil udgangsmaterialet typisk være en kombination af system- og aktørbetinget kil-desortering og kildesamling af forskellige materialer som fækalier, tørrepapir, urin, skyllevand, køkkenaffald og haveaffald. Materialet kan karakteriseres ved indhold af organisk materiale, tørstof/fugtighed, struktur, næringsstofindhold, tungmetaller, miljøfremmede stoffer samt ikke mindst mikrobiologiske parametre som indikatororganismer og egentlige smitstoffer. Udgangsmaterialet

har afgørende betydning for proces og slutprodukt. Oprindelige populationer af mikro- og makroorganismer kan have betydning.

Den tidsmæssige opbygning af kompostvolumenet kan være kontinuerlig og langsom, bestemt af en begrænset mængde af køkkenaffald eller af begrænset udsondring af fækalt materiale i en husstand, der dagligt tilføres en stor beholdere. Kompostvolumenet kan dog også opbygges hurtigt ved indsamling af materiale fra mange husstande, som overføres til en stor kompostreaktor på en gang. Opbygningen kan endvidere ske hurtigt ved f.eks. overpumpning af materiale fra en hustank, eller hvis der på anden vis er samlet materiale i en enkelt husstand over længere tid. Tidsmæssig opbygning har stor betydning for temperaturudviklingen især i uisolerede, uopvarmede, ventilerede og drænede systemer.

Størrelsen af kompostvolumenet kan variere fra små beholdere med køkkenaffald eller fækalier, som bruges af enkeltpersoner, til store kompostreaktorsystemer, der behandler indsamlet materiale i byer eller et større opland. Størrelsen har ligeledes stor betydning for temperaturudviklingen.

Det nødvendige tidsforbrug, frem til slutprodukt, er dels bestemt af processen, men også af krav til slutproduktet. En række krav til et slutprodukt bl.a. vedr. reduktion af indikatororganismer kan langt hurtigere opfyldes ved styret reaktorkompostering i store batch med høje temperaturer end ved kompostering i små passive systemer. Høje krav til omsætning kan ligeledes nødvendiggøre lang procestid i passive systemer.

Slutprodukt kan karakteriseres ud fra tørstofindhold, mikrobiologiske parametre, pH, lugt, konsistens, indhold af næringsstoffer, tungmetaller og miljøfremmede stoffer.

4.2 Komposttoiletsystemer

Komposttoiletsystemer kaldes også multitoiletter, formuldningstoiletter, biologiske toiletter, tørre toiletter eller vandfrie toiletter, men kan også have vand-skyllende toiletstole som systemkomponenter. En beskrivelse af specifikke systemer og modeller findes en række steder (Kalkoffen et al. 1995, Konsumentverket 1996, Stubsgaard 1996, Drangert et al. 1997, Etnier et al. 1997, Lange et al. 1997, Del Porto et al. 2000, Dyck-Madsen et al. 2000, DTI 2001, Backlund et al. 2002). Nedenstående generelle beskrivelser bygger hovedsagelig på Del Porto et al. (2000).

Kompostering af materiale i komposttoiletsystemer er mere eller mindre kontrollerede aerobe processer. Komposttoiletsystemer er afhængige af ikke vandmættede forhold, hvor aerobe bakterier og svampe kan nedbryde organisk materiale, som det også foregår i f.eks. en havekompost.

En vigtig opgave for et komposttoiletsystem er at indeslutte kompostmaterialet og reducere antallet af potentielt sygdomsfremkaldende organismer og dermed risikoen for smitte af mennesker og dyr. Systemet skal minimere direkte menneskelig berøring med ubehandlede ekskrementer og eksponering for andre organismer, f.eks. fluer, der kan overføre smitte. Desuden skal det minimere generende lugtudvikling. Det skal producere et behageligt og rimeligt tørt slutprodukt, der kan håndteres med minimal risiko.

Processen forandrer næringsstofferne til fuldt iltede og stabile plantetilgængelige former. Ved at anvende slutproduktet som jordforbedringsmateriale, ud fra et recirkulationsformål for næringsstoffer, tjener det samtidig det formål at beskytte vandrecipienten.

Hvor hurtigt organisk materiale omsættes og volumen reduceres i et komposttoiletsystem bestemmes af en række faktorer som:

- Miljøforhold
- Materialets sammensætning og tilstand
- Art og antal af organismer der aktivt bruger materialet som føde
- Operatørens styring

Ilt-, fugt-, temperatur- og C/N-forhold har således afgørende indflydelse. pH anses for selvregulerende, hvis andre forhold er i orden (Del Porto et al. 2000).

I kompostreaktorer til f.eks. husholdningsaffald kan der foregå en hurtig reduktion af såvel volumen af massen som af indholdet af patogener. Det foregår i processer, hvor mesofile eller termofile bakterier ved høj aktivitet skaber en høj temperatur. I komposttoiletsystemer foregår såvel volumenreduktion som reduktion af patogener ofte over lang tid og uden at der udvikles høje temperaturer. Volumenet kan reduceres af langsommere mikroorganismer og reduktionen af patogener kan foregå over længere tid i et fremmed miljø med konkurrence og antagonisme. Ud over temperatur kan negative miljøforhold som pH, fugtprocent, ammoniumindhold, salte etc. have betydning.

Komposttoiletsystemer kan differentieres ud fra såvel anvendelse og sammensætningen af systemkomponenter, tiltænkt udgangsmateriale, komposteringssted, komposteringszone, komposteringsproces, slutprodukt m.m.

Der kan være tale om aktive systemer med en række elektronisk og mekanisk udstyr og ofte høje temperaturer, eller passive systemer med oftest temperaturer under 20°C. Det vil typisk være passive systemer, som bruges ved en almindelig beboelse, i parker eller på en primitiv lejrplads.

I passive komposttoiletsystemer er det ikke teknisk udstyr, men tid, tyngdekraft, selvgenereret temperatur, adgang til ilt og beholderens udformning, der kontrollerer processen. Processen bliver naturlig og ukontrolleret ved en temperatur på ca. 20°C eller derunder. En temperatur der primært er bestemt af temperaturen i omgivelserne. I dette kolde miljø bliver svampe og actinomyce-ter de primære omsætningsorganismer, fordi det er for koldt for de hurtigere agerende mesofile og termofile bakterier.

Det opsamlede materiale kan være en sammenført strøm af fækalier, tørrepapir, urin, skyllevand, organiske husholdningsrester, tilslagsstoffer eller dele heraf.

4.3 Systemkomponenter

Toiletstol

Komposttoiletsystemer kan indeholde særskilte toiletstole, der er kildesamlende eller kildesorterende i forhold til urin og fækalier og uden eller med vand-

skyl. Der kan være tale om en enkel træplade med eller uden kildesortering i et das eller en række kildesortering eller kildesamlende toiletter i porcelæn, plast, metal eller træ. Toiletstolene kan være uden eller med vandskyl. Transporten af materialerne kan være baseret på gravitation ved frit fald uden vandskyl, rørtransport med vandskyl eller rørtransport med vand og overtryk eller vakuum. Endelig kan der være tale om forskellige kombinationer af principperne for henholdsvis urin og fækaler. En kildesamlende og en kildesortering vakuum toiletstol er afprøvet i Storstrøms Amts projekt "Vakuumtoiletter og behandling af det indsamlede materiale i biogasanlæg eller ved vådkompostering".

Filter/separator

Mellem en vandskylende toiletstol og en opsamlings- eller kompostenhed kan der etableres en filterenhed eller en separator. Separatoren kan begrænse tilførslen af vand og øge tørstofprocenten og koncentrationen af organisk materiale. Separators anvendes i Sverige i en del komposttoiletssystemer. Systemet er beskrevet i Del Porto et al. (2000), Dyck-Madsen (2000), DTI (2001), Vinnerås (2001) og Backlund (2002). Målinger på vandmængder og indholdsstoffer i delstrømme efter separationen er gengivet i Vinnerås (2001) og Backlund (2002).

I dette projekt anvendes afvandrings- og kompostenheden "Kaggen" netop som en filterenhed. Det er et eksempel på en systemkomponent, der kan skydes ind mellem vandskylende toiletter og en komposteringsenhed, ud over at den også selv kan bruges som kompostenhed. Materialet kan komme direkte fra toiletter eller fra pumpebrønd, septiktank eller lignende.

Opsamlings-/kompostenhed

Der er store variationer med hensyn til opsamlings-/kompostenheders placering i forhold til toiletstol, antal og udformning af kamre, materiale og isolering, proces og processtyring, iltning, afluftning, omrøring, opvarmning, dræn m.m.

4.4 Batch komposteringssystem

Et batch komposteringssystem består af to eller flere beholdere eller kamre. En beholder eller et kammer ad gangen fyldes ved brug af toilettet. Materialet i den fyldte enhed komposteres/efterkomposteres derefter uden tilførsel af yderligere friskt fækal materiale. Et batch komposteringssystem er således karakteriseret ved, at der ikke tages materiale ud af den beholder eller det kammer, der tilføres frisk materiale. Kompostsystemerne som undersøges i dette projekt er batch systemer. Projektrapporten "Økologisk håndtering af spildevand" (Teknologisk Institut 2001) indeholder beskrivelser af og datablade over nogle af disse komposteringssystemer.

Toiletsystemet kan bestå af et toiletloset, der typisk indeholder en eller to små opsamlingsbeholdere. Komposteringen kan finde sted i den eller de fyldte beholdere som små samlede batch eller ved opbygning af et større batch i en eller to store kompostbeholdere. Erfaringer fra etablering og drift af sådanne små systemer i kildesortering udgaver i kolonihaver i Danmark er rapporteret i Backlund et al. (2002), erfaringer fra drift af små kildesamlende systemer i kolonihaver i Tyskland er rapporteret i Fittschen et al. (1999).

Toiletstol og typisk større beholdere eller kamre kan også være adskilte. En kompostenhed (med et eller flere kamre) kan være beliggende under et eller flere toiletter. Kompostenheden kan også placeres et andet sted, hvor materialet tilføres ved hjælp af vandskyl, vakuum eller lignende. Det mest enkelte er løsninger med flere affaldsbeholdere, der fyldes gradvist på skift. Det sammenbragte materiale, som er samlet over længere tid, komposteres videre eller påbegyndes komposteret uden tilførsel af yderligere frisk materiale med om muligt hele beholderen som komposteringszone. Efterkompostering kan foregå i anden beholder på andet sted. batch systemer giver mulighed for høje temperaturer.



Figur 4.1 "Separett Villa", et lille batchsystem monteret over gulv

Dette opnås dog ikke ved langsom kontinuerlig fyldning (etablering af batch) med begrænsede mængder i ventilerede systemer og/eller ved store vandmængder. Ved batch kompostering mindskes risikoen for at gammelt materiale inficeres af nyt materiale. Temperatur- og mikrobiologiske forhold ved kompostering i fem kildesortende batch systemer i Andelssamfundet i Hjortshøj og ved fælles efterkompostering her og i det økologiske landsby-samfund "Dyssekilde" følges i projekterne "Vurdering af forskellige komposttoiletters funktion og evne til at reducere smitstoffer i human afføring" og "Smitstoffreduktion ved central efterkompostering af human afføring fra komposteringstoiletter". Begge projekter afvikles under "Aktionsplanen for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning".

4.5 Kontinuerligt system

Store étkammer-systemer kan have en flad eller skrå bund. Frisk materiale tilføres kontinuerligt, bestemt af toiletbrug samt evt. tilførsel af organiske husholdningsrester og tilslagsstoffer, i toppen af kompostbeholderen. En mindre mængde komposteret materiale tages typisk ud fra bunden, første gang efter

2–4 år og 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. Da der kontinuerligt tilføres frisk materiale er graden af adskillelse af frisk og gammelt og mere omsat materiale bestemt af karakteren af det tilførte materiale, kammerets udformning og drift samt af operatøren. Ideelt set bliver der tale om forskellige zoner indeholdende forskellige mikroorganismer og en lagdeling af materiale spændende fra frisk til færdigkompostet. Efterkompostering kan finde sted i en anden kompostbeholder. Projektrapporten "Økologisk håndtering af spildevand" (Teknologisk Institut 2001) indeholder beskrivelser af og datablade over nogle af disse komposteringssystemer.

Temperatur- og mikrobiologiske forhold ved kompostering i kontinuerlige systemer undersøges i projektet "Vurdering af forskellige komposttoiletters funktion og evne til at reducere smitstoffer i human afføring". Undersøgelserne omfatter to kildesorterende kontinuerlige systemer med flad bund i den økologiske landsby "Dysekilde" samt seks kontinuerlige systemer med skrå bund, fire kildesamlende samt to kildesorterende, i Sverige.

"Kaggen"

"Kaggen" (nærmere beskrevet i kap. 5.1.3) er et eksempel på en opsamlingsenhed-/kompostenhed, der enten kan fyldes kontinuerligt over lang tid eller i en kort proces. Et stort samlet batch kan f.eks. pumpes op fra en hustank med henblik på afvanding og kompostering (Kaggen AB udateret). Der sker derefter ingen yderligere tilførsel af frisk materiale. "Kaggen" er ikke et aktivt reaktorsystem, som ovenstående systemer kan være, med blandere, udjævnere, iltning, opvarmning etc. for hurtigere at reducere volumen og antallet af patogener. Ved oppumpning af et stort batch kan der forventes en fase med høje temperaturer. Ved kontinuerlig tilførsel af små mængder kan der kun forventes lave temperaturer og en langsom volumenreduktion samt reduktion af eventuelle patogener. Efterkompostering kan foregå i en anden beholder.

Passive systemer er designet til at optimere processerne ved design og ikke ved teknisk udstyr. De lader tid, tyngdekraft, selvgenereret temperatur og beholders form "kontrollere" processen. Passive komposteringssystemer kaldes ofte formuldningstoiletter, da processen er naturlig ukontrolleret og foregår ved temperaturer på 20°C eller derunder. I dette kolde miljø er svampe og actinomyceter de primære omsætningsorganismer, fordi det er for koldt for de hurtigere agerende mesofile og termofile bakterier (Del Porto et al. 2000).

5 Beskrivelse af spildevandssystemerne

I dette kapitel beskrives de kompostsystemer, som undersøges i projektet. Det er dels det kildesorterende batch komposttoiletsystem med vandskyl, som er installeret ved en enkelt husstand dels det allerede eksisterende offentlige kildesamlende batch komposttoiletsystem uden vandskyl ved Skelsnæs Pavillionen.

5.1 Det kildesorterende komposttoiletsystem

Afvandings-/kompostenheden "Kaggen" kan kombineres med forskellige toiletter og forskellige rørføringer til sammensætning af forskellige afvandings- og kompostsystemer. I det følgende beskrives systemkomponenterne.

5.1.1 Kildesorterende toilet

Der er i projektperioden blevet anvendt to kildesorterende toilettyper/modeller. I perioden fra start i november 1998 til marts/april 2001 blev der anvendt et "Ecovip"-toilet. I den sidste del af projektperioden (fra marts/april 2001) er der anvendt et "DS"-toilet. Opsamlet materiale, der har været genstand for prøveudtagning og analyser, stammer fra anvendelse af "Ecovip". Begge toiletter er beskrevet i det følgende.

Ecovip



Figur 5.1 Eco-vip toilet

Det valgte toilet blev et gulvstående kildesorterende dobbeltskylende porcelænstoilet "Ecovip" fra Wost Man Ecology AB i Stockholm. Porcelænet og urinsystemet med urinskål, urinskyl og urinslange er identisk med det, der er anvendt i de mere kendte typer "ES" eller "Classic". Disse typer er uden vandskyl til fækaliier og papir, og de har et opsamlings- eller kompostmodul direkte under toilettet. "Ecovip" har i modsætning hertil et begrænset vandskyl til horisontal transport af materialet til opsamlings- eller kompostenheden (WM-Ekologen AB udateret). "Ecovips" fækale afløb har en bagudvendt afløbsstuds til kobling til et 110 mm afløbssystem og urinskålen er forbundet med en Ø 22 mm slange, som kobles til et 50 mm afløbsrør.

Vandskyl

"Ecovip" har et urinskyl, via en magnetventil, på typisk 1-2 dl. I bunden af toilettets fækalieafdeling er der monteret en lille plastsål, som påfyldes 0,5-1 l skyllevand til etablering af vandspejl. Fækaliier og papir skylles ud efter toiletbesøg ved aktivering af en fodpedal. Urinskyl og påfyldning af vand i fækalieafdelingen aktiveres ved tryk på to vægmonterede trykknapper. En fjeder holder fækalieskålen lukket indtil den aktiveres ved at træde på fodpedalen. Det er muligt at få automatisk tidsstyret urinskyl og reetablering af vandspejl ved aktivering af fodpedalen, men dette blev fravalgt i Stubbekøbing.

DS

Det gulvstående kildesorterende og dobbeltskylende porcelænstoilet "DS", der er anvendt siden marts/april 2001, minder meget om et konventionelt vandskylende porcelænstoilet med "stort" og "lille" skyl. I "DS"-toilettet er der dog i kummen udformet en lille urinskål ved hjælp af en porcelænsbarriere. En fleksibel slange Ø 22mm i plast fører urinen ud af toilettet i siden af toiletfoden. Vandlås kan etableres ved at montere slangen i en bue over gulvet. Stubbekøbingfamilien valgte at bibeholde den vandlås, som tidligere var etableret på afløbsrøret uden for huset i forbindelse med installeringen af "Ecovip". Fækaliier, papir og skyllevand går via en Ø 92 mm afløbsstuds til afløbssystemet.



Figur 5.2 Det kildesortierende DS-toilet

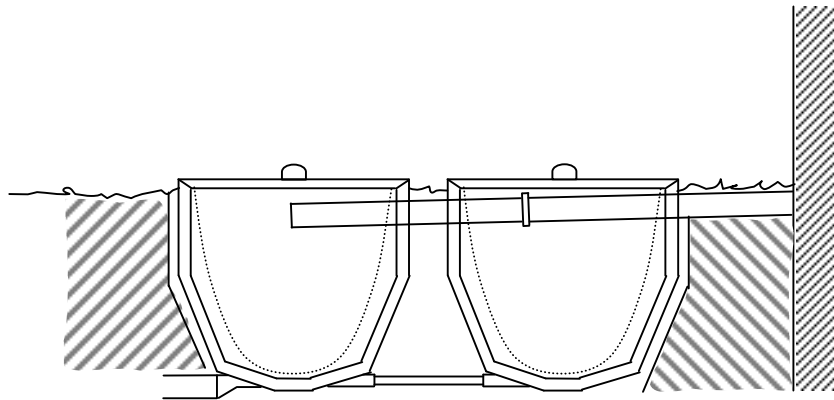
Det kildesortierende DS-toilet

Vandskyl

Det fækale vandskyl, ”stort skyl”, kan indstilles til et skyl på mellem tre og seks liter og aktiveres ved tryk på en knap. I Danmark skal der skylles med seks liter i almindelige installationer, hvor man i f.eks. Sverige kan nøjes med fire liter. Ved ”stort” skyl skylles også den lille urinskål. En mindre del af skyllevandet vil derfor blive ledt igennem afløbssystemet for urinen. Mængden vil udgøre 3-4 dl, og er dels bestemt af den etablerede vandlås, dels af den skyllevandsmængden, som udgår fra cisternen og som kan justeres. Hvis man kun har tisset, trykkes der på en knap til ”lille” vandskyl. Størrelsen af dette vandskyl afhænger af, hvor længe man trykker på knappen. Det faktiske vandskyl resulterer typisk i en tilførsel på ca. 2 dl til urinsystemet og en tilsvarende eller noget større skyllemængde til fækaliesystemet. De stærkt reducerede skyllemængder ved urinskyl er baseret på, at familien ved ”lille” toiletbesøg benytter en sanitetsspand til aftøringspapir eller putter det i kummedelen beregnet for fækalierne og udskyller det sammen med disse.

5.1.2 Rørsystem

Toilettets fækalieaflob er forbundet med afvandings-og kompostenhederne via et Ø 110 mm plastrør. Røret kan let skydes frem eller tilbage alt efter hvilken ”Kaggen”, der er under opfyldning i den alternerende drift. Røret har et fald på 5% efter producentens anvisning (se figur 5.3).



Figur 5.3 Nedsænkede "Kaggen"-beholdere med fil terposer, til førsels- og afløbsrør

Toilettets urinslange, en fleksibel Ø 22 mm plastslange, er forbundet med plastrør Ø 50 mm med etableret vandlås. Den kildesorterede urinblanding er ikke blevet tilført opsamlingsenheden for fækalier, papir og fækal skyllevand i opsamlingsperioden fra november 1998–december 1999, hvis materiale er genstand for analyser i dette projekt. Ved projektets start var det hensigten, at urinblandingen variabelt skulle kunne tilføres et afløbsfrit pileanlæg eller opsamles med henblik på anvendelse til gødskning af egne afgrøder/egen vegetation.

Afvandings- og kompostenhedernes afløb er serieforbundet med et 50 mm plastrør. Drænvandet fra den fjerneste "Kaggen" transporteres i et 110 mm plastrør ved gravitation. Drænvandet var ligeledes planlagt ledt til et afløbsfrit pileanlæg, men ledes nu i stedet for via en spulebrønd til en tre-kamret hustank sammen med det grå spildevand.

Der er ikke noget ventilationssystem til afvandings-/kompostenhederne eller til toilettet.

5.1.3 Afvandings- og kompostenheder

Der er benyttet to typer kompostbeholdere.

Afvandings-/komposteringsenheden "Kaggen" er benyttet til henholdsvis afvanding og førsteårs kompostering.

En havekompostbeholder "DT Hurtig komposter" er benyttet til efterkompostering.



Figur 5.4 Kaggenbeholderne og "hurtigkompostereren" ved huset i Stubbekøbing

Kaggen

De valgte afvandings-/komposteringsenheder er to stk. svenskproducerede "Kaggen", som benyttes alternerende. Der sker kontinuerlig fyldning og afvanding af fækalier, papir og skyllevand i en enhed indtil kapacitetsgrænsen nås - efter ca. et år. Herefter benyttes den anden "Kaggen"-beholder til opsamling og afvanding. Opsamlet fækalt materiale og papir i filteret virker som et supplerende filter for tilbageholdelse af partikulært materiale. Det samlede batch i den først fyldte beholder går herefter over i en komposteringsfase uden tilførsel af yderligere fækalt materiale i ca. et år.

"Kaggen" er fremstillet af glasfiberarmeret polyester og forsynet med et filter fremstillet af polyesterduk. Filteret er konstrueret, så det fungerer som et stort kaffefilter. "Kaggen" måler 120 cm i længden og bredden og har en dybde på 135 cm og rummer max. 1.400 l. Vægten er 60 kg. Den er forsynet med et heldækkende lag i glasfiberarmeret polyester med en luge beregnet til tilførsel af husholdningsrester eller andre tilslagsstoffer. Filteret fæstnes og løftes i de fire hjørner. En isoleret hætte af glasfiberisoleret polyester med en indkapslet 100 mm isolering kan fås som ekstraudstyr, men blev fravalgt. Det var i stedet for hensigten at isolere ved hjælp af halmballer.

"Kaggen" er beregnet til delvis eller hel nedsenkning i et hul, men ikke til at skulle modstå et egentligt jordtryk. Afstanden mellem beholderne er ca. 25 cm målt ved jordoverfladen. Der er "luft" omkring beholderne.

Producenten medsender stykker af drænrør, som placeres i bunden af beholderen. De skal sikre, at filterduken ikke rammer bunden af beholderen, hvilket kan hæmme afvandingen. Tilsætning af tilslagsstoffer og kompostorme i kompostfasen anbefales af producenten ved overgang til kompostering. Tømningen af størsteparten af det komposterede materiale i "Kaggen" foretages med en skovl. Den sidste rest kan løftes ud sammen med filteret.

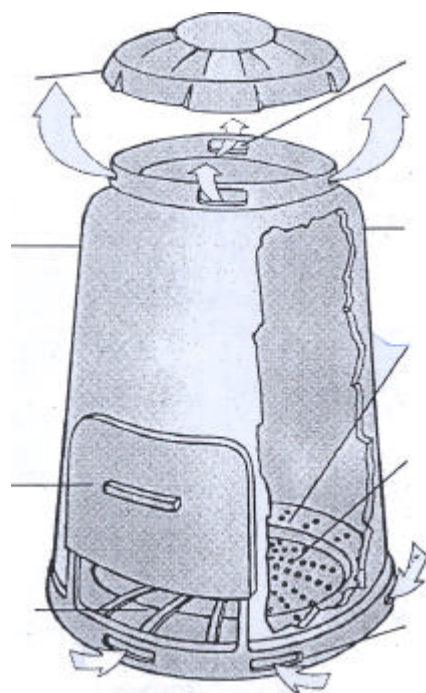
Anvendt, som i Stubbekøbing, er "Kaggen" et alternativ til tilbageholdelse af materialet i en hustank, eller separering af det ved hjælp af en Aquatron separator (jfr. Del Porto et al. 2000, Vinnerås 2001, Backlund 2002).

Udgangsmaterialets karakter, når komposteringsprocessen starter, bliver bestemt af tilbageholdelsessystemet. I forbindelse med hustanke (bundfældningstanke) anvendes "Kaggen" til afvanding og kompostering af den mængde slam, som er samlet i hustanken over en periode. Slammet pumpes over i "Kaggen" som et batch. Overpumpningen sker typisk en gang om året. (Kaggen AB udateret).

Kompostbeholder

En havekompostbeholder, "DT hurtig-komposter", blev valgt til efterkompostering af det materiale, som havde komposteret i "Kaggen" i ca. 1 år.

Kompostbeholderen benyttes normalt til kompostering af køkken- og haveaf-fald. Den er iflg. producenten fremstillet af tykvægget, slagfast og UV-stabiliseret polyethylen og har et rumindhold på 250 l. Beholderen er lukket, så materialet ikke tørrer ud. Temperaturen kan stige meget i beholderen under komposteringen, hvis der f.eks. tilføres en større mængde materiale på én gang. Materialet iltes ved hjælp af lufthuller i siden, luftkanaler i bunden og ved kompostormenes og andre smådyrs aktivitet. Lufttilførslen kan reguleres ved at dreje på låget. Bundpladen er forsynet med små huller, som smådyr og orme kan bevæge sig igennem, men som ikke tillader mus og rotter at passere. Det fædigkomposterede materiale kan evt. tages ud gennem en lem i siden af beholderen (Kilde: D.Trading, udateret).



Figur 5.5 Skitse af DT "hurtigkomposter", Luftstrømmenes vej gennem beholderen er markeret med pile

Kilde: D. Trading, udateret (brochure)

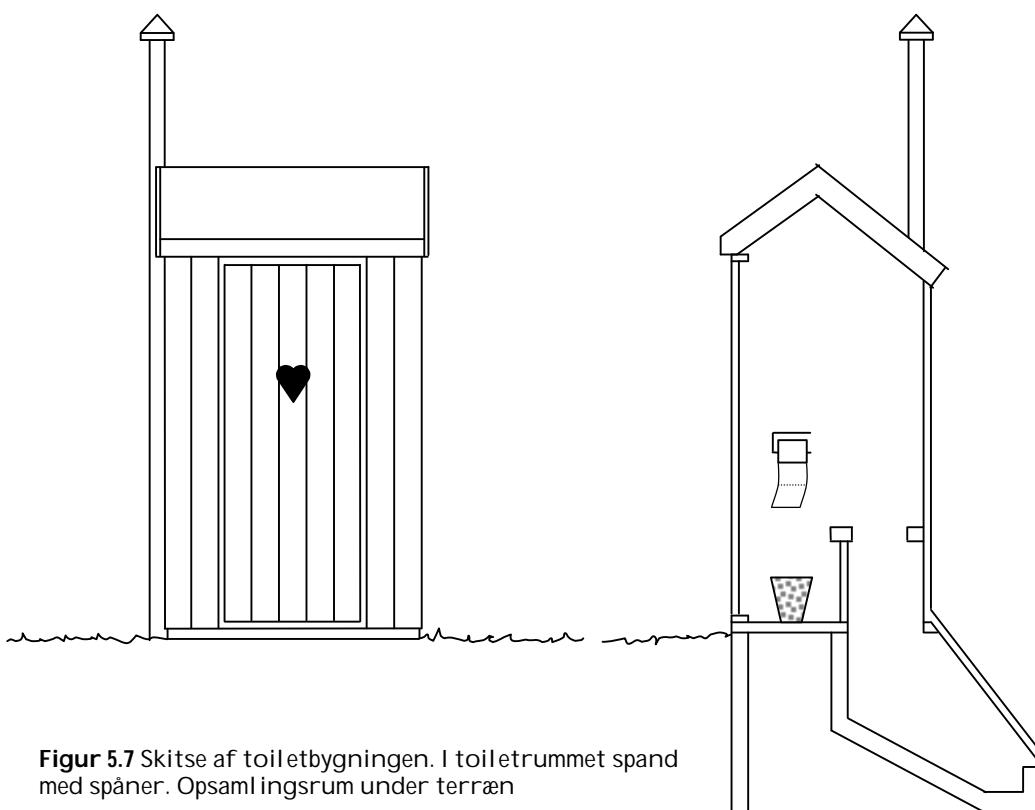
5.2 Det kildesamlende komposttoiletsystem

Batch-toiletsystemet til offentlig brug blev etableret ved Skelsnæs Pavillionen af Storstrøms Amt i 1997 efter en tegning lavet af Nordjyllands Amt.



Figur 5.6 Komposttoilet ved Skelsnæs Pavillionen

To kildesamlende das er anbragt i hvert sit rum i en toiletbygning. Ved benyttelse af toilettet sidder man på en bæk på en udskåret træplade. Der er ikke vandskyl og ikke tilgang til vand i toiletbygningen. Hænder kan evt. skylles i nærliggende sø. En principskitse af toilettet er vist i figur 5.7



Figur 5.7 Skitse af toiletbygningen. I toiletrummet spand med spåner. Opsamlingsrum under terræn

Systemet ved Skelsnæs Pavillionen er beregnet til alternerende drift. Kun et af rummene ad gangen er åbent for brug. I rummet står en spand med spåner, der benyttes som tilslagsstof/strøelse efter brug af toilettet. Fækaliier, urin, papir og tilslagsstoffer falder ved simpel gravitation ned i det underliggende kammer.

Rørsystem

Rørsystemet tjener kun et ventilationsformål. I opsamlingskamrene er der monteret perforerede ventilationsrør af plast, Ø 50 mm. Disse er forbundet med et ventilationsrør, Ø 110 mm, som er trukket op over bygningens tag med en afsluttende hætte. Ideen er at etablere en skorstenseffekt, "træk", uden mekanisk ventilator.

Opsamlings-/kompostkamre

To murede opsamlings-/kompostkamre med skrånende bund, udfor mede i beton er etableret direkte under toiletsæderne. Kamrene rummer ca. 0,5 m³ og er udstyret med en stor tømningssluge. Der er ikke etableret afløb til overskudsvæske. Luftindtag til ventilation sker via huller med net øverst i betonkanten på konstruktionens bagside, (Ø 50 mm).

Systemet er beregnet til alternerende batch-drift med anvendelse og fyldning af et kammer af gangen. Efter fyldning af et kammer kan dette derefter gå over i kompostfasen uden tilførsel af yderligere fækaliier og urin.

Det her beskrevne er idégrundlaget. I praksis er systemet kun blevet brugt til opsamling.

6 Lovgivning

I kapitlet gennemgås kort den lovgivning, som er relevant i forbindelse med etablering af et komposttoilet samt lovgivningen vedrørende anvendelse af komposten som gødning. Endelig gøres der kort rede for lovgivningen i andre lande på dette område.

6.1 Lovgivning for installationerne

Spildevandssystemer er omfattet af både miljøbeskyttelsesloven og byggeloven. Reglerne for byggeriet er nærmere præciseret i bygningsreglementerne (Bygningsreglement BR 1995 & Bygningsreglement for småhuse BR-S 98).

Afløbsinstallationerne skal udføres i overensstemmelse med normen for afløbsinstallationer, DS 432, 2000. I denne stilles der krav om at komponenter og materiel skal være godkendte f.eks. i form af By- og Boligministeriets VA-godkendelser. Benyttelse af komponenter, der ikke er VA-godkendte, forudsætter en tilladelse fra kommunen. Arbejdet skal udføres af autoriserede mestre. Disse lovgivningsmæssige bestemmelser er sammenfattet i projektrapporten "Økologisk håndtering af spildevand" (Teknologisk Institut 2001).

Når der meddeles tilladelse til et spildevandssystem, der omfatter opsamling og eventuelt behandling af humane restprodukter i en beholder af en eller anden art, skal det samtidig sikres, at tømning, transport og slutdisponering sker på forsvarlig vis (jf. bek. nr. 501 af 21. juni 1999 om spildevandstilladelser m.v., § 37).

6.1.1 Det kildesortende system

Toiletter

På nuværende tidspunkt er der ikke fastsat prøvnings- og godkendelsesbetingelser for kildesortende toiletter. Kommunerne må derfor give særskilt og individuel godkendelse til hver opsætning. DTI (Dansk Teknologisk Institut) har i forbindelse med ovennævnte projekt testet det kildesortende toilet "DS", som er installeret i Stubbekøbing til erstatning for "Ecovip"-toiletet. DTI vurderer et fækalt skyl på 5 l som tilfredsstillende, men et skyl på 3 l som mindre tilfredsstillende. Denne vurdering er begrundet i krav til, hvor ren skålen skal blive ved hvert skyl. Testen er udført efter de samme principper, som anvendes ved test af konventionelle toiletter. Principperne vil blive videreudviklet, bl.a. på baggrund af erfaringerne fra denne test, og vil senere udmynte sig i en godkendelsesordning (Teknologisk Institut, Rørcentret 2001). Der er ikke foretaget en sådan test af "Ecovip"-toiletet. Når producenten har udviklet dette toilet til en mere endelig model, bør det underkastes en sådan test med henblik på en eventuel godkendelse.

"DS"-toiletet er svenskproduceret. Der er opsat mindst 3.000 kildesortende, dobbeltskylende toiletter i Sverige, men hér eksisterer der ikke en VA-godkendelsesordning svarende til den danske. I Sverige godkender de enkelte kommuner bygherrernes toiletsystemer på baggrund af producentoplysninger.

Opsamlings/kompostenheden "Kaggen"

Opbevaring eller efterbehandling af spildevand eller "humane restprodukter" i beholdere, forudsætter en tilladelse fra kommunalbestyrelsen eller amtsrådet i henhold til bekendtgørelsen om spildevandstilladelser m.m. (nr. 501 af 21.06.99).

"Kaggen"-beholderen kan ikke betragtes som en egentlig samletank. Den er forsynet med låg og er konstrueret til at kunne placeres over jorden eller delvis nedsænket i jorden, men aldrig tildækket med jord eller udsat for jordtryk. Ved meddelelse af tilladelse til at bruge beholderen, vurderes det, at man, indtil andre bestemmelser foreligger, kan tage udgangspunkt i bestemmelserne for afløbsfrie bassinanlæg (§40-41 i spildevandsbekendtgørelsen) fremfor i bestemmelserne om samletanke (§ 37-39).

Ifølge § 40 skal følgende betingelser opfyldes af et bassinanlæg:

- 1) Det skal udføres med tæt bund og tætte sider
- 2) Der må ikke opstå overfladisk afstrømning fra anlægget
- 3) Der må ikke være risiko for sundhedsfare for mennesker og dyr
- 4) Der må ikke opstå gener for omkringboende
- 5) Bekendtgørelsens afstandskrav til vandindvindingsanlæg skal overholdes.

Pkt. 2 er overflødig for "Kaggen", da denne er forsynet med afløb.

Der er ikke udarbejdet en godkendelsesordning for kompostbeholdere, som kan nedsænkes, men ikke nedgraves. Projektrapporten "Økologisk håndtering af spildevand" indeholder et datablad (nr. 6) med en beskrivelse af "Kaggen", men der er ikke foretaget en vurdering af beholderen.

I projektrapporten er beskrevet en række projekteringsregler for samletanke, som også er aktuelle for beholdere som "Kaggen". Disse omfatter bl.a. afstandskrav til veje, skel, bygninger og vandforsyningsanlæg, samt tankens placering, udluftning og tømning.

Rørinstallationer

Rørinstallationerne i et spildevandssystem skal udføres i overensstemmelse med afløbsnorm DS 432. I ovennævnte rapport har DTI (2001) præciseret projekteringsreglerne for ledningssystemer både med reduceret vandskyl og med separat transport af urin. Her står bl.a.:

Separate urinledninger:

- I bygninger skal ledninger have en indvendig diameter på min. Ø 44 mm og gerne Ø 75 mm. Tilsvarende ledninger i jord skal have en indvendig diameter på min. Ø 75 mm og gerne Ø 100 mm.
- Ledninger, der fører afløb fra toilet (fækaliedelen), skal i bygninger have en indvendig diameter på min. Ø 75 mm og i jord min. Ø 96 mm.
- Ledningerne skal lægges med et fald på min. 2%.

Separate ledninger til fækalier:

Denne type er ikke omtalt særskilt, men reglerne for toiletter med et meget lille skyl kan danne udgangspunkt for vurderinger i forbindelse med projektering:

- Skyller toilettet med mindre end 6 liter, stilles der specielle krav til ledningssystemet, som er angivet i VA-godkendelsen for det enkelte toilet. (DTI 2001). Sådanne regler er fastsat for et toilet med 2 skyl, (3 liter for stort skyl, 2 liter for lille skyl). Afløbsledningens dimension skal være Ø 110 mm. Ledningens fald afhænger af længden og skal være min. 2%, når afstanden mellem toilet og tank er mindre end 3 m. Ved større afstand skal faldet øges.
- Der findes ikke toiletter med VA-godkendelser, som skyller med mindre end 2 liter. Ved brug af disse toiletter er man derfor henvist til at følge fabrikantens anvisninger. Producenten anbefaler for "Ecovip"-toilettet en rørdimension på Ø 110 mm. for fækaliedelen og et fald på 5% .

I DTI's rapport beskrives desuden krav til rensemuligheder, tæthed af ledninger etc.

6.1.2 Det kildesamlende system ved Skelsnæs Pavillionen

Komposttoiletet ved Skelsnæs Pavillionen er et system, der rummer såvel toiletrum som opsamlings- og komposteringsrum i samme konstruktion. Et sådant system skal i sin helhed godkendes af såvel byggemyndigheden som miljømyndigheden.

Der findes ingen godkendelsesregler for komposttoiletter i Danmark. I projektrapporten "Økologisk håndtering af spildevand" (DTI, Rørcentret 2001) beskrives nogle af de forhold, man bør være opmærksom på ved etablering af komposttoiletter. Det drejer sig om opsamlingsrummets indretning og kapacitet, herunder om der er behov for afdræning pga. stor tilledning af urin, ventilation af såvel toiletrum som kompostbeholder, tømning og bortskaffelse/brug af produktet, arbejdsmiljø m.v.

Toilettet ved Skelsnæs Pavillionen er offentlig tilgængeligt og har mange brugere. Belastes et spildevandsystem med mere end 30 p.e. (person ækvivalenter) er amtet, i henhold til spildevandsbekendtgørelsen, tilladelsesmyndighed, ved lavere belastning er det kommunen.

6.2 Lovgivning vedrørende anvendelse af kompost.

Spildevand, der har en jordbrugsmæssig værdi, kan anvendes til jordbrugsformål reguleret efter slambekendtgørelsen (bek. nr. 49 af 20. januar 2000 om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål). Humane affaldsprodukter (urin og fækalier) medregnes hertil. Disse produkter fra kildesorterede toiletter er normalt koncentrerede, da der ikke benyttes vandskyl eller kun et begrænset vandskyl (jfr. Miljøstyrelsens vejledning nr. 5 af 1999 til bekendtgørelse om spildevandstilladelse m.v. , kapitel 13.2.2). Anvendelsesmulighederne for urin og andre humane affaldsprodukter afhænger af, hvorledes de er behandlede.

Humane affaldsprodukter sidestilles som udgangspunkt med latrin. Tilladelse til produkternes bortskaffelse meddeles af kommunen. Sagerne behandles efter bekendtgørelse nr. 366 af 10. maj 1992 om ikke-erhvervsmæssigt dyre-

hold, uhygiejniske forhold m.m. Kommunen kan f.eks. give tilladelse til, at latrinen nedgraves på egen grund.

”Såfremt der er sket en viderebehandling af slutproduktet fra disse toiletter i form af enten stabilisering, kontrolleret kompostering eller kontrolleret hygiejnisering, således at slutproduktet ikke længere kan betragtes som latrin, kan slutproduktet anvendes på jordbrug og privat havebrug, idet det har en jordbrugsmæssig værdi. Der kan gives tilladelse hertil efter slambekendtgørelsens § 21.” (Miljøstyrelsens vejledning nr. 5 af 1999 til bek. om spildevandstilladelser m.v. kap. 13.2.2.

Mulighederne for anvendelsen af urin/fækalier afhænger af, hvilken type viderebehandling de underkastes. Mulighederne er vist skematisk i tabel 7.1.

Tabel 7.1

Muligheder for anvendelse af urin/fækalier og de tilhørende krav til behandling under forudsætning af ligestilling med spildevandsslam.

Anvendelse og restriktioner	Behandling af urin/fækalier
Tilførsel til renseanlæg	Ubehandlet
Anvendelse i jordbrug til ikke fortærbare afgrøder, og ikke i parker og havebrug. Nedbringning i jord inden 12 timer.	Stabiliseret.
Anvendelse i jordbrug til ikke fortærbare afgrøder, og ikke i parker og havebrug.	Kontrolleret komposteret
Anvendelse i jordbrug og private havebrug, herunder fortærbare afgrøder.	Kontrolleret hygiejniseret

Tabellen er lavet på baggrund af bestemmelserne i slambekendtgørelsen. (bek. nr. 40 af 20/1 2000).

Komposteringsprocessen i det kildesamlende komposttoilet ved Skelsnæs Pavillionen afbrydes før det opsamlede materiale er færdigkomposteret og nedgraves som latrin.

Materiale opsamlet i ”Kaggen”-systemet i Stubbekøbing komposteres i en sådan grad, at produktet ikke længere kan betragtes som latrin. Processen kan imidlertid heller ikke betragtes som ”en kontrolleret kompostering”, som beskrevet i slambekendtgørelsens bilag 3. Komposteringstemperaturen er ikke målt kontinuerligt og den har næppe været over de foreskrevne 55° i mindst 2 uger. Hvad angår behandlingsformen svarer den heller ikke til bekendtgørelsens krav til ”kontrolleret hygiejnisering”.

Ved omstikning af komposten kan temperaturen have været over de foreskrevne 70°, men det er ikke målt. Det er dog påvist i denne undersøgelse, at det færdige kompostprodukt kan overholde det hygiejniske kvalitetskrav, der gælder for produkter, som har været underkastet en ”kontrolleret hygiejnisering”. Kravet er, at indholdet af den bakterielle indikator, fækale streptokokker, skal være mindre end 100/g, og at der ikke må påvises *Salmonella*. Imidlertid er parasitten *Cryptosporidium parvum* påvist ved analyserne.

Til sammenligning skal det bemærkes, at lagret urin ligeledes kan overholde det beskrevne hygiejniske kvalitetskrav, men produktet kan også indeholde parasitten *Cryptosporidium parvum* (jfr. Dalsgaard, Tarnow, I, 2001). Miljøstyrelsen har i efteråret 2000 iværksat en risikoanalyse af anvendelsen af lagret

urin som gødningsprodukt. Indtil denne risikoanalyse foreligger, anbefaler styrelsen, at lagret urin sidestilles med stabiliseret slam ved meddelelse af udsprengningstilladelser. Det betyder, at lagret urin ikke kan udsprenges som gødning i privat havebrug, men på landbrugsjord på samme vilkår som stabiliseret slam fra renseanlæg.

Der er iværksat en risikoanalyse af anvendelse af komposterede fækaler til brug i privat have. Det beror på en afgørelse fra Miljøstyrelsen, om hvorvidt dette materiale kan sidestilles med stabiliseret slam, indtil der foreligger en risikoanalyse.

6.3 Bestemmelser og praksis andre steder

Der er hverken nationale regler i Sverige eller Norge (Boisen 2000). Det er i såvel Sverige som Norge den enkelte kommune, der definerer vilkårene for etablering af systemer og disposition af slutprodukterne. Det er almindeligt, at svenske kommuner kræver kompostering af fækaler eller latrin i minimum 6 måneder inden anvendelse i haver (Personlig meddelelse Landskrona kommune 1998, 1999). I Värmdö kommune kan fækalt materiale efter kompostering i minimum 6 måneder spredes på egen grund uden restriktioner (Personlig meddelelse, Örnstedt 2002).

For opnåelse af "Svanemærket" kræves bl.a., at TS i slutproduktet er på minimum 25% og at det gennemsnitlige antal totale coliforme bakterier er mindre end 2 bakterier pr. g vådvægt/ml ved prøveslut/tømning (8–52 uger) (Nordisk Miljømerking 1999). Det store batch-system "Snurrelassen", (se måleresultater i kap. 10), er et af de systemer, der er blevet "Svanemærket".

I USA varierer reglerne fra stat til stat (Oversigt i Del Porto et al. 2000).

I henhold til US EPA's (Environmental Protection Agency, svarer til Miljøstyrelsen) bestemmelser kan kompost (incl. komposterede fækaler) klassificeres i forhold til klasse A eller klasse B.

Salg og distribuering til offentlighed kræver klassificering i klasse A. Dette materiale skal indeholde mindre end 1000 fækale koliforme bakterier pr. g. i slutproduktet eller have fravær af virus, *Helminth ova* og *Salmonella*. I behandlingen af materialet er der flere mulige kombinationer af tid og temperaturer, men minimumtemperaturen skal være 50°C. Affald i klasse B må indeholde betydelig højere værdier for fækale coliforme bakterier end affald i klasse A. For produkter i klasse B gælder omfattende restriktioner ved spredning på landbrugsjord. Der er f.eks. krav til karenstider mellem spredning og høst, og før dyr må græsse på arealer tilført klasse B materiale (Almedal 1998, Stenström 2001).

En såkaldt NSF-godkendelse i USA garanterer næsten altid, at en stat godkender komposttoiletsystemet og slutdisponering. Godkendelsen kritiseres i Del Porto, et al. 2000 for at være alt for dyr. Tilsvarende kritik kan rettes imod "Svanemærket". NSF kræver, at slutproduktet ikke indeholder mere end 200 MPN (most probable number) *E. coli* pr. gram. Det skal have en fugtighedsprocent på højst 35 og må ikke være ildelugtende. Flydende restprodukter må ikke indeholde over 200 MPN *E. coli* pr. 100 ml.

7 Erfaringer med installationer og drift

I dette kapitel gøres der rede for erfaringerne med installation og drift af komposttoiletet i énfamiliehuset i Stubbekøbing og for erfaringerne med driften af det offentlige komposttoilet ved Skelsnæs Pavillionen. Sidstnævnte sted er brugernes mening om systemet belyst ud fra besvarelser af et spørgeskema.

7.1 Erfaringer med etablering af komposttoiletsystemet ved Stubbekøbing

Toiletterne

Det dobbeltskyllende kildesorterende "Ecovip"-toilet blev installeret i efteråret 1998. Installeringen er foregået uden problemer.

Det dobbeltskyllende kildesorterende "DS" er efterfølgende installeret til afløsning af "Ecovip" i marts/april 2001. Der var ingen problemer med installeringen.

Rørinstallationerne

Afløbsrøret til fækalierne var i starten for kort. Det mundede således ud tæt på "Kaggens" kant. Det blev senere forlænget, således at materialet kunne dumpe ned i midten af "Kaggen". Der var iøvrigt ingen problemer med rørinstallationerne.

Afvandings-/kompostenhederne

Der var et større gravearbejde forbundet med at grave et hul til nedsænkning af de to enheder, således at materialet fra toiletet kunne tilføres ved naturligt fald. Gravearbejdet forløb dog uden problemer. Enhederne blev nedsænket så lågene flugtede med jordoverfladen. De ligger på nordsiden af ejendommen og i skygge. Af denne grund og af hensyn til huset, havde det været bedre at trække dem lidt længere mod nord, f.eks. om på bagsiden af toiletrummet.

7.2 Erfaringer med driften af komposttoiletsystemet ved Stubbekøbing-toiletterne

7.2.1 Toiletterne

Ecovip

Der har været flere problemer med vippemekanismen og dermed med det fækale udskyl. Fjederens returtryk var ikke tilstrækkelig hårdt til at holde systemet tæt.

Vand sivede langsomt ud med lugtgener til følge og således, at det var nødvendigt at reetablere vandspejlet forud for brug. Fjederen blev efterfølgende erstattet med stærkere returtryk, hvor efter mekanismen fungerede fint i ca. 9

måneder indtil plastskålen løsnede. Der var problemer med fæstet og wiren. Toilettet blev sendt til producenten i Stockholm for at blive repareret. Mekanismen fungerede efterfølgende fint i ca. et år, indtil wiren løsnede. Problemerne havde, ifølge producenten, ikke optrådt ved brug af "Ecovip" andre steder. Familien på fire personer brugte toilettet hele året med en meget høj hjemmefrekvens. Det vurderes derfor som sandsynligt, at samme problemer vil kunne opstå på "Ecovip" toiletter andre steder på et senere tidspunkt.

Der har i perioden ikke været problemer med urinskyl eller magnetventiler. Afløbssystemet for henholdsvis urin og fækalier har ikke været stoppet.

Dialogen med producenten om problemet medvirkede til konstruktion af en afløser for "Ecovip" ved navn "Clever". Da familien frygtede, at problemerne med "Ecovip" ville gentage sig, fik de tilbudt at afprøve "Clever", men valgte, meget forståeligt, at undgå åbne/lukke mekanismer ved at gå over til et "DS" toilet.

Det i "Kaggen" opsamlede og senere komposterede materiale, som har været genstand for prøvetagning og målinger, er opsamlet fra skyl med "Ecovip".

DS

Bortset fra et enkelt stop, der kunne løses med en renowire eller kaustisk soda, har der ingen problemer været med det dobbeltskylende kildesortende toilet, der blev etableret i marts/april 2001. Toilettet er stillet til et fækalt skyl på 3,5–4 liter, og der er ikke rapporteret om problemer ved skyl med denne mængde (jfr. erfaringer ved offentlig brug på Møn Museumsgård, Holtze & Backlund 2001 og ved skyltest i DTI 2001).

7.2.2 Kaggen

Filteret i den første "Kaggen" blev ikke bundet rigtigt op. Filterposen kom for langt ned i beholderen. Det ville være nemmere, hvis der var flere fæstepunkter end de 4 i hjørnerne og hvis en éntydig befæstelse gav en rigtig placering af filteret. Et låg blev udskiftet, da den grønne maling skallede af på grund af en produktionsfejl

Der har i perioder været stop i afvandingen. Den periodiske tilstopning vurderes at stamme fra et stop længere nede i systemet efter en spulebrønd. Der har af og til kunnet opstå generende lugt fra "Kaggen", især i forbindelse med disse periodiske stop i rørsystemet og efter at man begyndte at tilføre urinblandingen til "Kaggen".

Der har ikke været problemer med fluer.

Fækalierøret var som nævnt i første omgang for kort. Det medførte, at materiale stuede sig op i et hjørne og trak det ikke rigtig fikserede filter skævt. Noget materiale løb ned i selve "Kaggen" til drænrørene og kan have været medvirkende til etablering af senere konstaterede periodiske stop. Da rørene senere blev forlænget med et vinkelrør, med udløb i midten af "Kaggen", blev materialet jævnt fordelt.



Figur 7.1 Kaggen 1, november 1999

Afvandings- og komposteringsprocessen

I det følgende beskrives erfaringerne med "Kaggens" funktion i de enkelte afvandings- og komposteringsperioder. Procesforløbet er desuden vist i en billedserie i bilag 2.

"Kaggen 1" i afvandingsperioden

Efter ændring af rørføringen fordelte materialet sig jævnt i "Kaggen". Men da filteret ikke var rigtigt befæstet, kombineret med den forkert rørføring i starten, sank filteret for langt ned. Det reducerede såvel opsamlingskapaciteten som afvandingskapaciteten noget. Det var alligevel muligt at tilføre fækkalt materiale fra de fire personer med høj hjemmefrekvens i 13 måneder fra primo november 1998 til primo december 1999. I påfyldningsperioden blev der desuden tilført noget strukturmateriale i form af halm ud fra en formodning om, at det kunne virke positivt på afvandingen ved at forebygge tilstopning af filterporerne og give luft til den kompakte masse. De tilførte mængder blev dog meget beskedne, langt mindre end oprindeligt planlagt. Der var ikke lugt- eller flueproblemer i perioden.

Det vurderes, at der ved skift af påfyldning til "Kaggen 2" var ca. 600 l. materiale i filterposen i "Kaggen 1".

"Kaggen 1" i komposteringsperioden

Det samlede batch med et volumen på ca. 600 l. blev opbevaret ca. 13 måneder i filterposen uden omrøring, omstikning eller tilførsel af tilslagsstoffer. Der blev den 08-06-2000 tilsat en skovlfuld kompost med orme.

I den ca. 13 måneder lange komposteringsperiode i "Kaggen 1", fra primo december 1999 til primo januar 2001, blev der udtaget prøver af komposten, som blev analyseret for en række parametre. Temperatur er målt i komposten i perioden 26-11-1999 til 21-11-2000 med forskellig hyppighed. Måleresulta-

terne, der præsenteres i kapitel 8, belyser også funktionen af systemet. Der var ikke lugtproblemer eller flueproblemer i perioden.

Kompostmassen virkede meget kompakt i en stor del af komposteringsperioden. Ved første prøvetagning 01-03-2000 er næsten intet materiale omsat. Det oprindelige udgangsmateriale kan identificeres i kompostmassen. Ved anden prøveudtagning 08-06-2000 virker de øverste 20 cm af kompostmassen muldig med et delvist omsat lag derunder (jfr. bilag 2).

Efter 13 måneder i komposteringsfasen bliver materialet skovlet ud af filterposen og over i havekompostenheden "Hurtig komposterer". De nederste 10–20 cm af materialet fra "Kaggen 1" virker stadig meget uomsat. Det vrirler med levende orme i kompostmaterialet.



Figur 7.2 Kompostmasse med mange kompostorme, november 2000

"Kaggen 2" som afvandingsenhed

Før "Kaggen 2" skal bruges som afvandingsenhed, bliver der etableret et træskellet i bunden for at sikre en god afvanding. Der bliver også monteret et net på indersiden af "Kaggen", så filteret ikke kan klæbe sig til beholderens sider. Der bliver ikke tilsat tilslagsstoffer. Afvandingen fungerer godt, bortset fra de perioder, hvor der, som tidligere nævnt, var problemer med stop i rørsystemet efter spulebrønden. "Kaggen 2" fungerer som afvandingsenhed fra primo december 2000 til primo januar 2001.

"Kaggen 2" som kompostenhed

Ved stop af tilførsel i januar 2001 har filteret nået maksimal fyldningsgrad i centrum. Materialeniveauet er i begyndelsen af juni 2001 faldet ca. 30 cm.

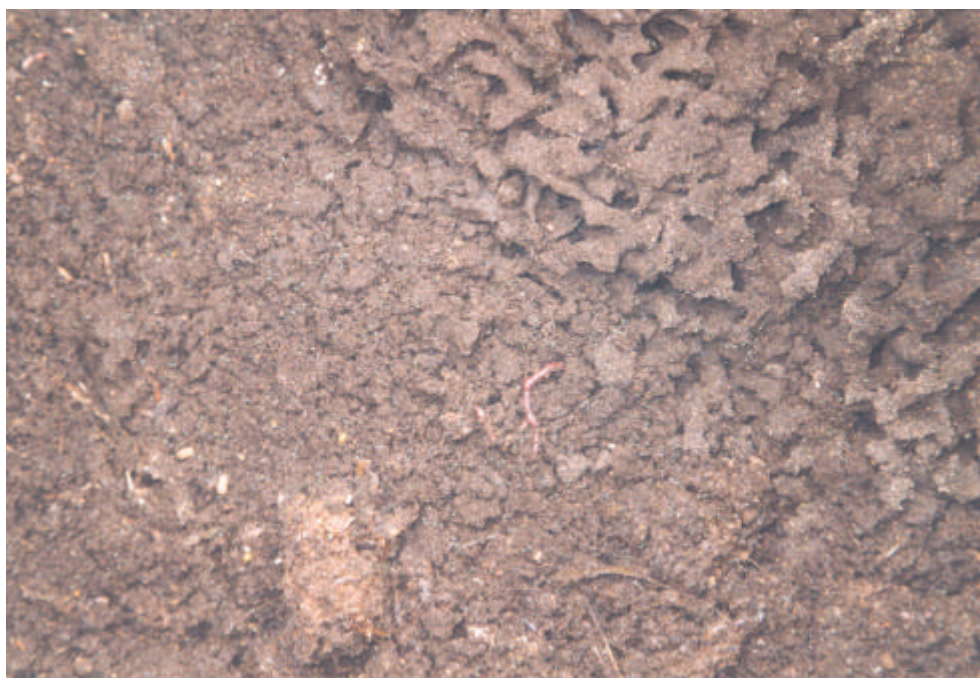
"Kaggen 1" som afvandingsenhed for anden gang

Fra primo januar 2001 fungerer "Kaggen 1" igen som afvandingsenhed efter først en periode på 13 måneder som afvandingsenhed efterfulgt af en periode

på 13 måneder som kompostenhed med tømning primo januar 2001. Materiale tilføres i nogle måneder fra "Ecovip" og derefter fra "DS". Materialet afvandes fint, men overfladen virker mere slammet end tidligere, hvilket tilskrives "DS"-toilettets større vandskyl (se billedserie i bilag).

7.2.3 DT Hurtig komposterer til efterkompostering

Det materiale som i begyndelsen af januar 2001 overføres til kompostbeholderen fra "Kaggen" 1, opholder sig ved projektets afslutning i oktober 2001 stadig i "DT-Hurtig komposterer". Der har ingen problemer været med lugt eller fluer i perioden. Der er udtaget en prøve 01-09-2001 og målt for samme parametre, som da materialet opholdt sig i "Kaggen" 1. Materialet fylder ved omstikningen ca. 2/3 af beholderen svarende til ca. 170 l. I august 2001 indeholder beholderen ca. 125 l materiale med mange levende orme og myrer, der har bygget en tue inde i beholderen. 1. oktober 2001 er der ca. 70 l helt omsat materiale i beholderen. Materialet ligner plantemuld og er velduftende. (Se figur 7.3, samt bilag 2).



Figur 7.3 Kompost i "hurtigkomposterer", august 2001

7.2.4 Volumenreduktion i "Kaggen 1" samt i "DT Hurtig komposterer"

Der er ikke foretaget nogen målinger på tilførsel og opsamling af materiale til "Kaggen 1" i perioden primo november 1998 til primo december 1999. Det er kun muligt at foretage et skøn over tilførsel af fækalier, papir, skyllevand og eventuel fejlsorteret urin fra "Ecovip"-toilettet samt manuelt tilførte tilslagsstoffer.

Det antages, at familien, på fire personer med meget høj hjemmefrekvens, anvender "Ecovip"-toilettet hjemme til fækalier. Standardtallene for fækal udsondring fra Wrisberg et al. (2001), anvendes (jfr. tabel 4.2). Der skønnes tilført op til ca. 325 l fækalier sammen med ca. 3.000 l skyllevand svarende til i alt ca. 3.325 l. Dertil skønnes der anvendt og skyllet ca. 15 kg papir ud. Den fejlsorterede og dermed tilførte uritmængde vurderes at være lille, da kil-

desorteringen fungerer meget fint . Desuden tisser de 3 af hankøn i husstanden ofte ude.

Det vurderes, at den faktiske opsamlede mængde i "Kaggen 1" fra primo november 1998 til primo december 1999 udgør ca. 600 l. Mængden reduceredes i den efterfølgende komposteringsperiode på ca. 13 måneder til ca. 170 l. I "DT-Hurtig kompostereren" sker en fortsat volumenreduktion i en periode på ca. 7 måneder (primo januar 2001–august 2001) fra ca. 170 l. til ca. 125 l. og yderligere ned til ca. 75 l. i projektets sidste to måneder (august 2001–1. oktober 2001). Volumenreduktionen i "Kaggen 1" fra ophørt tilledning er ca. 72% og i "DT-Hurtig kompostereren" på ca. 56%. Den samlede volumenreduktion er på ca. 88%.

7.2.5 Brugererfaringer

Ecovip

Brugerne har ingen problemer med kildesorteringen. De er af og til generet af lidt lugt ved visse vindretninger. Brugerne synes, at rengøring af toilettes fækalledel er væsentlig mere besværlig end normalt. Der er en tilbøjelighed til, at rester af fækalt materiale efterlades i toilettet, fordi bunden er udformet i plast. Erfaringerne med vippefunktionen er i henhold til ovenstående afsnit negative.

DS

Brugerne er meget tilfredse med "DS"-toilettet og har ikke berettet om problemer eller negative erfaringer.

Kaggen

Brugerne synes, at det er svært af fæstne filteret rigtigt. Tømningen finder de derimod ikke vanskelig. Det er nemmere, end man havde regnet med.

7.3 Erfaringer med drift af komposttoiletsystemet ved Skelsnæs Pavillionen

Erfaringerne med driften af komposttoilettet er beskrevet dels på baggrund af driftspersonalets oplysninger, dels udfra tilsyn i projektperioden og dels på baggrund af en mindre spørgeskemaundersøgelse blandt brugerne.

7.3.1 Driftspersonalets erfaringer og erfaringer fra tilsyn

Personale fra amtets vejvæsen tilser toiletterne hver 14. dag og kontrollerer om alt er i orden, sørger for at der er spåner, toilettepapir med videre.

De to toiletter benyttes alternerende. Der skiftes typisk imellem dem en gang om måneden midt på sommeren, hvor der er flest besøgende, og lidt sjældnere uden for sommersæsonen. De hyppige skift skyldes, at opsamlingsrummene hurtigt fyldes op. I "hvileperioderne" falder materialet så lidt sammen og komposteringsprocessen går i gang. Det opsamlede materiale er dog primært spåner og papir, andelen af fækallier er tilsyneladende lille. Opsamlingsrummene tømmes en gang om året, sidst på efteråret. Materialet fremstår ikke særlig omsat, men pga. det høje indhold af spåner virker det ikke uhumsk. Materialet nedgraves som latrin.

Der er aldrig konstateret overløb af urin via ventilationshullerne i opsamlingsrummene. Der er heller ikke konstateret lugt eller fluer på toiletterne.

Der er trukket et ventilationsrør på tværs gennem opsamlingsrummene. Ventilationsrøret er placeret uhensigtsmæssigt. Når man benytter toiletterne fanges en del af efterladenskaberne af røret. Det hæmmer også materialets transport ned ad betonslidsken til det egentlige opsamlingsrum (se figur 7.4, samt skitsen figur 5,7) Betonslidsken er tilsyneladende ret ru. Et bedre "glid" kan evt. opnås ved en passende overfladebehandling af slidsken. Personalet trækker materialet ned med en rive ved hvert tilsyn.



Figur 7.4 Opsamlings- og komposteringsrummet i komposttoiletet ved Skelssnæs

7.3.2 Spørgeskemaundersøgelse blandt brugerne

I sommeren 2000 kunne brugerne af toiletet ved Skelssnæs Pavillionen give udtryk for deres mening om toiletet ved at udfylde et spørgeskema. Skemaerne hang på toiletet, og besvarelserne kunne lægges i en postkasse, som ligeledes var placeret i toiletrummet.

Undersøgelsen gav 25 besvarelser heraf en udfyldt af personalet fra en skovbørnehave med 25 børn, som bruger stedet meget ofte. Antallet af besvarelser kunne have været større, men da lysforholdene i toiletrummet på daværende tidspunkt var elendige, må antallet siges at være tilfredsstillende.

Brugerne udtrykker i alle besvarelser stor tilfredshed med systemet. Her følger en sammenfatning af svarene (se spørgeskemaet i bilag 3).

Alle 25 svarer ja til at mult-toiletet har en tilfredsstillende standard, når det skal bruges som "skovtoilet".

20 synes ikke, at der er nogen lugt på toiletet, 4, at den er uden betydning. Kun 1 finder lugten ubehagelig. Flere bemærker, at der kun er duft af spåner, en duft, som de synes er dejlig.

Det er i orden, at der skal bruges strøelse, kun 1 enkelt synes, det er ulækkert.

Der er generel accept af, at der ikke er en vandhane på stedet. Vand er tilgængeligt i en nærbeliggende sø. En enkelt synes, det er et problem. Børnehaven har normalt selv vand med, da de kender forholdene ellers skylles hænderne i søen.

Til et forslag om at amtet opstiller flere af denne type toiletter i naturen, svarer 24, at "det er en god ide", 1 svarer ikke.

Flere tilføjer faktisk, at det er en rigtig god og fin ide.

Derudover påpeger 4, at der er behov for mere lys. Dette ønske er allerede efterkommet, idet der er lavet flere små huller i væggen, så lys kan trænge ind.

Skovbørnehaven bemærker, at de kommer på stedet meget tit og at toilettet altid er pænt.

8 Måleresultater og sammenligning med andre komposter og gødningsemidler

8.1 Indhold af næringsstoffer, kulstof samt ledningsevne

Tabel 8.1 gengiver måleresultaterne vedrørende tre prøveudtagninger. Den første er fra "Kaggen 1" straks efter endt tilførselsperiode. Den anden er udtaget knapt et år senere, lidt over en måned før overførsel af kompostmaterialet til kompostbeholderen. Den tredje prøve er udtaget fra materialet efter ca. 8 ½ måneds ophold i "DT Hurtig-komposteren".

Tabel 8.1

pH, koncentrationer af næringsstoffer og kulstof samt ledningstal i kompostmassen

Parameter	Enhed	Kaggen 1 ,T0 06-12-1999	Kaggen 1,T4 21-11-2000	DT Komp. beh.,T5 20-09-2001
PH		6,1	7,4	6,6
TS-procent	% af masse	18,2	21,3	23,0
Ammoniak Ammonium	g/kg masse	0,9	0,7	0,6
Ammoniak Ammonium	g/kg TS	5,0	3,3	2,6
N-total	g/kg masse	4,9	6,2	6,2
N-total	g/kg TS	27	29	27
Fosfor	g/kg masse	1,5	3,0	3,7
Fosfor	g/kg TS	8,3	14	16
Kalium	g/kg masse	0,3	0,9	1,0
Kalium	g/kg TS	1,8	4,1	4,4
Kulstof	g/kg masse	85,5	87,3	78,2
Kulstof	% af TS	47	41	34
NPK-forhold		100:31:7	100:48:14	100:59:16
C/N-forhold		17	14	13
Ledningstal	10mS/cm	2,7	6,7	16

De målte pH værdier 6,1–7,4 afspejler, at der ikke er tilført komposten aske eller andre pH hævede tilslagsstoffer. pH niveauet er gunstigt for de omsættende mikroorganismer, men niveauet er ikke så højt (omkring 9 eller derover), at det i sig selv anses for at virke reducerende på indikatorbakterier og bakterielle smitstoffer.

En TS-procent på 18,2 er på linje med standardtallene for TS-procenten i fækalier (17,3) hos Wrisberg et al. (2001), men væsentlig under standardtallene hos Vinnerås (2001) (32,7) og Del Porto et al. (2000) (15) (jfr. tabel 4.2).

TS-procenten stiger kun begrænset fra 18,2 til 23,0 i løbet af komposteringsperioden på knap 2 år. Fugtighedsprocenterne på 81,8–77,0 ligger langt fra de 60%, der anses for ideelle (jfr. kap 4). Udgangsmaterialet består især af tilbageholdt skyllevand, fækalier og papir. Der er kun i yderst begrænset omfang tilført fugtabsorberende tilslagsstoffer i form af 60 l. cellulose og noget halm.

Koncentrationerne af ammonium/ammoniak er som forventet ikke høje, og de er faldende gennem perioden. Komposten er kun blevet tilført begrænsede mængder af fejlsorteret urin. Urin indeholder store mængder urea, kvælstof der, efter udskillelsen og allerede under transporten gennem afløbssystemet, omdannes til ammonium (Jönsson et al. 2000). Koncentrationerne af N-total er i T0 prøven 4,9 g N/kg masse og 27 g N/kg TS og svarer til standardtal for fækalier på 4,9 g N/kg masse og 28,5 g N/kg TS (Wrisberg et al. 2001). Koncentrationerne udgør kun henholdsvis 38% og 64 % af standardtallene i Vinnerås (2001) og 73% henholdsvis 61% af standardværdierne i Del Porto et al. (2000), (jfr. tabel 3.2).

Indholdet af fosfor i T0 prøven, målt såvel som koncentrationer i kompostmassen som relateret til tørstof, ligger på henholdsvis 63% og 60% af standardværdierne i Wrisberg et al. (2001), 75% og 62% af standardværdierne i Del Porto et al. (2001) samt 27% og 49% af standardværdierne i Vinnerås (2001).

Kaliumkoncentrationen i T0 prøven ligger langt under samtlige standardværdier for fækalier (jfr. tabel 3.2). Dette er, som ventet, fordi der sker udvaskning af vandopløseligt kalium på grund af brug af skyllevand i toiletet og dræning af væske under fyldning af "Kaggen". Såvel koncentrationerne af fosfor som kalium stiger i komposteringsperioden.

Kulstofindholdet bærer præg af, at der kun er tilført yderst begrænsede mængder kulholdige tilslagsstoffer i form af 60 l cellulose samt en begrænset ikke kvantificerbar mængde halm. De registrerede C/N-forhold på 17, 14 og 13 ligger væsentlig under det ideelle på 25 (Del Porto et al. 2000), 27 (Engen/Boisen 1995), 30 (Esrey et al. 1998) for en optimal komposteringsproces. Et C/N-forhold på 13 i det omsatte materiale i "Hurtig komposteren" ligger dog over værdien på 10 for færdige kompostprodukter angivet i Kalkoffen et al. (1995) og i Boisen (1995).

I tabel 8.2 er vist den totale mængde af indholdsstoffer i kompostmaterialet. Kompostmassens størrelse på prøveudtagningsstidspunkterne er skønnede.

Tabel 8.2
Indholdsstoffer i kompostmassen

Parameter	Enhed	Kaggen 1, T0 06-12-1999	Kaggen 1, T4 21-11-2000	Komp. beh., T5 20-09-2001
Samlet masse	kg	600	200	75
Væske	kg	491	157	58
TS	kg	109	43	17
OM*	kg	102	36	12
Kvælstof	g	2.940	1.240	465
Fosfor	g	900	600	278
Kalium	g	180	180	75
Kulstof	kg	51	18	6
Salte**	g	1.413	151	143

*OM er beregnet ud fra kulstof i henhold til Kalkoffen et al. (1995). Baseret på en liter = et kg

** Udregnet efter Kalkoffen (1995)

Kilde: Kap 7.2.2 samt tabel 8.1

Det fremgår af tabel 8.2, at der er tale om meget store reduktioner af såvel den samlede kompostmasse som af indholdsstoffer i massen. Reduktionen af masse, vandindhold og organisk materiale er stor. Den samlede reduktion af organisk materiale er på 88% med 65% efter knapt et år. Måleresultaterne, sammenholdt med skøn over volumen, indikerer også en betydelig reduktion af

indhold af næringsstoffer. Med udgangspunkt i værdierne fra 06-12-1999 (T0) reduceres det oprindelige indhold af N til 16%, P til 31% og K til 42% i løbet af komposterings- og efterkomposteringsperioden. Udgangsværdierne for indhold af N og P synes dog meget høje sammenlignet med standardtal for indhold i udsondrede fækalier. Indholdet af N og P skulle, ifølge standardtallene i tabel 3.2, være 1.480–2.920 g N/år og 720–876 g P/år. (Standardtallene, minimum henholdsvis maximumværdierne, x antal personer i husstanden, som er 4) Selvom brugerfamilien har haft et højt papirforbrug, meget høj hjemmefrekvens, en vis fejlsorteret urin og en vis tilsætning af cellulose og halm, synes udgangsværdierne meget høje i forhold til standardværdierne. Tabet af næringsstoffer i måleperioden synes desuden meget stort. En forklaring kan være, at det udtagne materiale i T0 prøven fra 06-12-1999 ikke er repræsentativ for den samlede, endnu ikke homogene kompostmasse, selvom der er tilstræbt repræsentativitet ved udtag fra flere steder i komposten. Et evt. fejlskøn, med hensyn til kg kompostmasse, kan også spille ind, men kun som en del af forklaringen.

Tallene for næringsstofindholdet i T5 prøven, 20-09-2001, viser, at kompostmaterialet, landbrugsfagligt karakteriseret, indeholder såvel en betydelig mængde, som en god koncentration af N som P, hvorimod indholdet af K er meget begrænset.

Værdierne for saltindholdet i prøverne, vist i tabel 8.1, er omregnet efter Kalkoffen (1995) og udgør 0,14% af TS i T0 prøven, 0,35% i T4 og 0,84% ved T5. Saltindholdet i slutproduktet T5 er lavt, hvilket er vigtigt, hvis det skal bruges som jordforbedrings-/gødningsmiddel. Kalkoffen (1995) angiver således, at et indhold over 3% er skadeligt for planter, og reducerer høstudbyttet med 50%.

Tabel 8.3 viser indholdet af organisk materiale i komposten i relation til tørstofmængde og -masse.

Tabel 8.3
Indhold af organisk materiale i kompostmassen

Parameter	Enhed	KAGGEN 1, T0 06-12-1999	KAGGEN 1, T4 21-11-2000	Komp. beh., T5 20-09-2001
Org. mat.	% af TS	94	82	68
Org. mat.	g/kg masse	171	175	156

Selvom reduktionen af organisk materiale er meget stor, er det relative indhold af organisk materiale stadig stort. Det tidligere konstaterede høje vandindhold er relateret til det høje indhold af organisk materiale. Organisk stof har en høj vandholdende kapacitet (Kalkoffen et al. 1995). Fænomenet kendes også fra slamafvanding i slambede.

8.2 Indholdet af næringsstoffer sammenlignet med indholdet i andre kompostmasser

I tabel 8.4 foretages en sammenligning med måleresultater fra nogle komposttoiletsystemer i Tyskland.

Tabel 8.4

pH, TS-procent, indhold af næringsstoffer, kulstof samt ledningstal i kompostmassen i forskel lige komposter i Tyskland

Parameter	Enhed	Kompostbe-handlet 20-09-01, T5	Kompost WSS*	Kompost HH**	Kompost BRÖ***	Kompost EW****
TS-procent	%	23,0	28,9	27,8	19,7	51,8
Kvælstof	g/kg masse	6,2	10,7	8,1	7,7	9,3
Kvælstof	g/kg TS	27	37	29	39	18
Fosfor	g/kg masse	3,7	5,5	2,8	5,5	3,6
Fosfor	g/kg TS	16	19	10	28	7
Kalium	g/kg masse	1,0	10,7	11,4	5,7	8,3
Kalium	g/kg TS	4,4	37	41	29	16
Kulstof	g/kg masse	78,2	87,7	64,8	53,1	80,0
Kulstof	g/kg TS	351	303,4	232,0	269,1	154,8
NPK- forhold		100:59:16	100:51:100	100:34:141	100:72:74	100:39:8 9
C/N- forhold		13	8,2	8,0	6,9	8,6

*WSS Kompostprøve udtaget fra en kildesamlende LOCUS/Mulltoa, integreret ét-kammer to-iletsystem placeret på gulv, med opvarmning og ventilation. Materialet i komposten var flere måneder gammelt. Toiletet er installeret i en kolonihave i Berlin.

**HH Prøve fra en kildesamlende TERRA NOVA, stort kontinuerligt ét-kammer system med ventilation og opvarmning installeret i et beboelseshus i Hamburg. Materialet er flere år gammelt.

***BRÖ Prøve fra en kildesamlende CLIVUS MULTRUM, stort kontinuerligt ét-kammer system med ventilation og opvarmning, installeret i et økologisk byggeri i Berlin. Materialet er flere år gammelt.

****EW Prøve fra et hjemmelavet kildesortende toiletsystem med opsamlingsbeholder over gulv. Materialet er ca. et år gammelt. Tilslag af store mængder flis.

Samtlige ovenstående komposttoiletsystemer bruger toiletstole uden vandskyl.

Kilde: Kalkoffen et al. 1995

TS-procenten ligger kun langt højere i kompost "EW" end i komposten ved Stubbekøbing, og skyldes her tilsætning af meget store mængder træflis.

Indholdet af N er generelt noget lavere i Stubbekøbing, hvorimod indholdet af P ligger under "WSS" og "BRÖ", men over "HH" og "EW". Indholdet af K i Stubbekøbing ligger, som ventet, langt under værdierne for samtlige andre.

Kulstofindholdet, som g/kg masse, ligger i Stubbekøbing på højde med "EW" og under "WSS", men væsentlig over "HH" og "BRÖ". Målt som g/kg TS væsentlig over samtlige andre. C/N-forholdet i Stubbekøbing er langt det højeste.

Næringsstofkoncentration, i forhold til såvel masse som tørstof, må vurderes at være særdeles god i kompostmassen i Stubbekøbing for såvel N som P. Dette til trods for, at der i Stubbekøbing er anvendt vandskyl og kun er tilført fækalier. Det fremgår tydeligt, at den primære forskel på det vandskylende system og systemerne uden vandskyl ligger i evnen til at tilbageholde kalium. De store mængder kvælstof, der må være tilført med urinen til "WSS", "HH" og "BRÖ", er, som forventet, ikke blevet fastholdt i kompostmassen.

En undersøgelse af kompostmateriale i nogle kompostkaruseller med 280 l kamre i batch-kompostering viste, efter tilførsel af såvel fækalier som urin uden vandskyl, typisk et vandindhold på 70–80%. Det svarer til niveauet i Stubbekøbing, selvom systemet er anderledes opbygget. Vandindholdet var lavere i kompostoverfladen, især på grund af kontinuerlig ventilation ved

hjælp af en elektrisk ventilator og 18–20°C luft fra boligerne. Vandindholdet var nogle steder sænket, som i "EW", ved tilførsel af store mængder tilslagsstoffer i et system med et kildesortende toilet (Stubsgaard 1996).

Stubsgaard målte pH-værdier spændende fra 6,29 til 9 med typiske værdier på 6,75 til 8,25 i batch, hvis udgangsmateriale fortrinsvis bestod af såvel fækalier som urin. Der er ikke målt pH i den tidligere refererede tyske undersøgelse.

Saltindhold

Saltindholdet i kompost, der skal anvendes som gødnings- eller jordforbedringsmateriale, er af stor betydning. Høje koncentrationer er planteskadelige. Nedenstående tabel 8.5 viser saltindholdet i procent af TS i forskellige komposter.

Tabel 8.5
Sammenligning af saltindhold

Analyseparameter	Enhed	Kompost-behandlet 20-09-01	Kompost WSS	Kompost HH	Kompost BRØ	Kompost EW
Ledningsevne	ms/cm	1,6	7,3	5,65	3,25	1,69
Saltindhold*	% af TS	0,84	3,8	3,0	1,7	0,88

* Udregnet på baggrund af Kalkoffen 1995

Kilde: Kalkoffen 1995

Komposterne "WSS" og "HH" ligger begge over de 3%, som Kalkoffen (1995) beskriver som skadelige for planter, og hvor der kan regnes med et reduceret høstudbytte på 50%. Værdierne for kompostbeholderen og "EW" ligger med 0,84 og 0,88% på et meget gunstigt niveau. Begge kompostmaterialer er tilvejebragt ved anvendelse af kildesortende toiletter uden tilførsel af urin. Det fremstår at være en fordel for kvaliteten af slutproduktet ikke at tilføre urin.

8.3 Indholdet af næringsstoffer i slam fra hustanke

"Kaggen" kan, som filtrerende afvandsenhed, sammenlignes med hustanke. Måleresultater, vedrørende indhold i slam fra hustanke på ejendomme i ikke kloakerede ejendomme i Svalöv kommune i Sverige, præsenteres i tabel 8.6.

Tabel 8.6
Tørstofprocent, organisk materiale og indhold af næringsstoffer i slam fra hustanke

Parameter	Enhed	Middelværdi	Medianværdi	Standardafvigelse	Vægtet værdi
TS	%	2,3	2,1	1,45	2,2
Org. Mat.	% af TS	70	70	9,5	70
Total-N	% af MS	0,08	0,07	0,02	0,07
Total-N	% af TS	3,6	3,3	1,2	3,2
Ammonium N	% af MS	0,03	0,01	0,02	0,02
Ammonium N	% af TS	1,3	0,71	1,6	0,69
Total-P	% af MS	0,03	0,03	0,07	0,03
Total-P	% af TS	1,4	1,3	0,5	1,4
Total-K	% af MS	0,014	0,009	0,009	0,008
Total-K	% af TS	0,60	0,41	0,6	0,35

Kilde: Almedal 1998

De vægtede værdier for næringsstofindhold af N, P og K i procent af TS svarer til procenterne for indhold i "Kaggen" ved anden måling og i T5 prøven fra "DT Hurtig komposteren". På grund af det langt højere tørstofindhold i "Kaggen" og i "DT Hurtig komposteren" er næringsstofprocenterne i forhold til masse her 9–12 gange højere. Slam fra hustanke kan blive et bedre og mere koncentreret gødningsprodukt, hvis det kan afvandes og komposteres i "Kaggen" uden et stort yderligere tab af næringsstoffer.

8.4 Indholdet af næringsstoffer i den separerede fækali fraktion efter Aquatron

Mange komposttoiletsystemer i Sverige har en "Aquatron" mellem et eller flere vandskyllende toiletter og en kompostenhed. Det er derfor interessant at sammenligne udgangsmaterialet for komposteringen ved opsamling i "Kaggen" med udgangsmaterialet efter separation med "Aquatron".

Alt efter installation og drift kan optimalt 70–80% af næringsstofferne i fækali-erne tilføres kompostenheden. Det tilførte tørstofindhold kan blive op til 10%, men der er et eksempel på, at TS-procenten i en firetagers-ejendom, med mange tilsluttede toiletter, kun er på 0,2% (Vinnerås 2001, Backlund 2002).

8.5 Temperaturer målt i Kaggen

Der er ikke målt temperatur i "Kaggen" under tilførslen af materiale. Tabel 8.7 gengiver de målte temperaturer i kompostmassen i "Kaggen 1" i komposteringsperioden.

Tabel 8.7

Temperaturer i grader C. målt i midten af kompostmassen i Kaggen 1

Tidsperiode	Maximum temperatur	Minimum temperatur
26.11.99 – 15.01.00	9	3
01.05.00 – 08.06.00	15,6	11,3
01.07.00 – 31.07.00	21,4	
01.08.00 – 31.08.00	20,6	
01.09.00 (en måling)	17,2	17,2
02.09.00 – 21.09.00	20,6	
22.09.00 (en måling)	14,9	14,9
23.09.00 – 20.11.00	20,5	
21.11.00 (en måling)	8,8	8,8

Den lavest registrerede temperatur er 3°C. Der har således været tale om perioder om vinteren med temperaturer $\leq 5^{\circ}\text{C}$. og dermed kun ubetydelig mikrobiologisk aktivitet (jfr. kap 3). Det vides ikke, om temperaturen kan have været lavere i perioden 16.01.00–30.04.00, hvor der på grund af sygdom ikke blev målt temperaturer. Højeste temperatur er 21,4°C registreret i juli 2000. Juli 2000 er den eneste periode, hvor der er registreret mesofile temperaturer (21–45°C.) Der er dog også i andre perioder, herunder i efteråret, registreret max. temperaturer på 20,5–20,6°C, tæt på grænsen til det mesofile temperaturområde, men langt fra det termofile temperaturområde på 46–71°C.

Temperaturudviklingen synes mere bestemt af de ydre temperaturforhold, end af temperaturstigninger på grund af varmeskabende biologisk aktivitet i kompostmassen. Den uisolerede "Kaggen 1" er placeret nedsænket i jorden på ejendommens nordside - i skygge fra hustagets høje rejsning. Den yderst begrænsede tilsætning af kulstofholdigt strukturmateriale og den høje fugtighedsprocent i kompostmaterialet har virket negativt på temperaturudviklin-

gen. Med tanke på de ydre omstændigheder, er de registrerede temperaturer som forventet.

Ved de registrerede temperaturer foregår omsætningen langsomt med svampe og actinomyceter som hovedansvarlige for de mikrobiologiske processer i kompostmassen (jfr. kap 4). Temperaturerne har i store perioder været meget gunstig for makroorganismene, bl.a. de tilsatte orme.

Der er, på grund af kommunikationsproblemer, ikke målt temperaturer ved overførslen af kompostmaterialet fra "Kaggen 1" til kompostbeholderen og i den efterfølgende periode. Der er ikke målt temperatur i "Kaggen 2" i komposteringsfasen, da alle målinger har været koncentreret om den først opsamlede masse i "Kaggen 1".

8.6 Temperaturudvikling i kompostmaterialet i andre komposttoilet-systemer

I den tidligere refererede tyske undersøgelse af nogle komposttoiletssystemer blev der målt temperaturer ved prøveudtagningen. Målingerne blev foretaget i juli måned ved udendørstemperaturer på 26–28°C. Temperaturerne i prøveudtagningsområdet lå ikke over de høje udetemperaturer. Der blev generelt ikke konstateret selvopvarmning i systemerne med tilførsel af urin, og der referes til en undersøgelse, der viser, at der, ved normal kontinuerlig tilførsel af fækalier og urin, ikke er mere energi end til at fordampe væsken. Endvidere skal der fratrækkes energi fraført ved ventilation. I systemet med kildesortering blev der målt 25–26°C i udtagningsområdet på et tidspunkt, hvor udendørstemperaturen var på 20°C. Temperaturer blev ikke målt i højere placerede lag med nyere fækkalt materiale i de store kontinuerlige systemer. Her kan temperaturerne godt have været noget højere (Kalkoffen et al. 1995).

I et dansk projekt "Vurdering af forskellige komposttoiletters funktion og evne til at reducere smitstoffer i human afføring" måles der temperaturer i såvel batch-komposttoiletssystemer, som i kontinuerlige komposttoiletssystemer med henholdsvis lige og skrå bund. Batch-komposteringen foregår i 220 l affaldsbeholdere eller i 280 l kamre i helårshusstande efter en fyldningsperiode ved daglig brug af et kildesortende toilet uden fækkalt vandskyl. De kontinuerlige komposttoiletssystemer til helårshusstande er med isolerede eller uisolerede kompostkamre. Disse er kombineret med såvel kildesortende, som kilde-samlende toiletter uden vandskyl. Et enkelt vandskylende toilet er også repræsenteret. Disse temperaturmålinger vil kunne give supplerende information om temperaturudvikling alt efter miljøforhold, operatøradfærd etc.

Der blev gennemført temperaturundersøgelser i 1995–1996 af Stubsgaard (1996) i nogle store elektrisk ventilerede batch-komposteringsystemer i enkelthusstande i Andelssamfundet i Hjortshøj. Det anvendte system er "Snur-redassen" i en udformning med uisolerede kompostkarruseller med fire roterende komposteringskamre på hver 280 l. Der blev målt temperatur såvel i kamre under påfyldning, som i den efterfølgende periode uden yderligere tilførsel. Samtlige anvendte toiletter var uden vandskyl til fækalier. Nogle kamre blev tilført såvel fækalier, som urin fra kildesamlende toiletter, andre kun fækalier fra kildesortende toiletter. Opsamlingsbeholderne er placeret i uopvarmede ventilationsrum.

Temperaturudviklingen fulgte primært udetemperaturen, men på et højere niveau end i "Kaggen". Vintertemperaturerne var bl.a. højere på baggrund af

ventilationsluften fra boligerne, som var på 18–20 °C. Der var op til 12°C forskel på samtidigt registrerede temperaturer forskellige steder i et kammer. Temperaturen var lavest i bunden især på grund af ventilationsluft, der ledes hen over bunden i yderbeholderen for at fordampe væske. Høje temperaturer på 40 °C eller noget derover blev kun målt i en kompostkarrusel med relativ hurtig fyldning af kamre og kun i korte perioder. De høje temperaturer blev målt fra kort før fyldning til kort efter fyldning af et kammer, hvor de andre kamre allerede var fyldte og virkede isolerende. I en kompostkarrusel målt, i et kammer, en pludselig temperaturstigning fra ca. 22°C til ca. 40°C ved omstikning.

Ved den efterfølgende fælles efterkompostering af det komposterede materiale fra karruselkamrene, i uisolerede træbeholdere, steg temperaturen dog fra udetemperaturen til 61–72°C. i løbet af 3–11 døgn, selv i frostvejr. En så høj temperatur kan forventes at reducere bakterielle indikatorer og smitstoffer betragteligt. Temperaturen i de uisolerede beholdere faldt igen i løbet af 3–8 dage til under 50°C (Stubsgaard 1996).

De målte temperaturer ved omstikning i et kammer og ved overførsel af materiale til fælleskompostering kan indikere, at temperaturen også kan være steget betydeligt ved overførsel af materiale fra "Kaggen" til kompostbeholderen. Der var ved tømning af "Kaggen" et kulstofindhold i komposten på 41% af TS (jfr. tabel 8.1). Der har således været betydelige mængder let omsætteligt organisk materiale i beholderen, som er en forudsætning for en stor temperaturstigning.

Del Porto et al. (2000) gengiver kun enkelte temperaturmålinger, men disse bekræfter, at der ikke kan forventes høje temperaturer i kompostmasser, som er ventilerede og bygget op af små portioner over lang tid.

Bui Trong Chien et al. (2001) angiver fra målinger på kildesorterede ventilerede systemer i Vietnam, at den opmålte gennemsnitstemperatur i kamrene var 34,7°C og 33,9°C i materialet (max. 40,1°C) ved en gennemsnitlig uden-dørstemperatur på 32,4°C.

Moe et al. (2001) målte temperaturer i en række kildesorterede komposttoiletssystemer med to kamre i El Salvador. De opmålte temperaturer i kompostmaterialet lå fra 20–37,5°C. med et gennemsnit på 27,2°C.

Stenström (2001) nævner, at der i kinesiske, vietnamesiske og mexikanske undersøgelser i komposttoiletssystemer ikke er målt temperaturer over 45°C.

Boisen (2000) refererer, at der i en norsk undersøgelse blev registreret meget høje temperaturer på op til 70,8°C og mange døgn med temperaturer over 60°C. Det drejer sig her om isolerede 240 l. beholdere, hvor der i bunden var tilsat 32–35 kg haveaffald. Kloakslam anvendtes som substitut for fækalier. Det fremstår som om slammet ikke blev tilsat i mindre daglige mængder, men i større portioner med mellemliggende lag af haveaffald. Dette kan forklare, at der er målt så høje temperaturer.

8.7 Resultater af mikrobiologiske undersøgelser

Tabel 8.8 viser måleresultater af analyser for indhold af mikroorganismer i materiale fra fem prøveudtagninger, fire fra materiale i "Kaggen" og en fra "DT Hurtig komposteren".

Tabel 8.8

Indhold af udvalgte mikroorganismer i kompostmassen (evt skrive T0–T5 i tabellen)

Parameter	Enhed	Kaggen 06.12.99	Kaggen 01.03.00	Kaggen 08.06.00	Kaggen 01.09.01	Kaggen 21.11.00	Komp. enh 21.09.01
Kimtal 37° C.	1000 cfu/ g	21.000	7.200	3.800	24.000	29.000	7.700
Temot.col. bakt.	cfu/g	690.000	150.000	200	20	10	<10 (/100g)
Enterokokker	cfu/g	630.000	630.000	96.000	89.000	12.000	<100
Presumpt. <i>E. coli</i>	cfu/g	690.000	140.000	200	20	10	<10
<i>Salmonella</i>	C/25 g	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.
<i>Campylobacter</i>	C/25 g	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.
<i>Cryptosporidium Parvum</i>	C/ 5-10 g	Få	Få	Få	Få	Få	i.m

i.p. = ikke påvist. I.m. = ikke målt.

cfu = Colony forming units

Antallet af termotolerante coliforme bakterier er reduceret til 10 cfu/g knapt et år efter ophørt tilførsel af fækal materiale (T4). Analysen er foretaget på materiale, der er forblevet i "Kaggen 1", der hverken er blevet luftet, stukket om eller på anden måde behandlet. Ved næste analyse (T5), 10 måneder efter at materialet er overført til kompostbeholderen uden yderligere behandling, er indholdet under detektionsniveauet (<10 cfu/g). Analyser af presumptive *E.coli* viser samme resultater. Antallet af enterokokker er på 12.000 cfu/g efter knapt et år og under detektionsniveauet (<100 cfu/g) ved næste måling 10 måneder senere. Der er ikke fundet *Salmonella* eller *Campylobacter* i nogen af prøverne. Alle prøver indeholder *Cryptosporidium parvum*, men antallet er for lille til kvantificering.

I tabel 8.9 angives reduktioner af mikroorganismer i de enkelte perioder.

Tabel 8.9

Reduktion af koncentrationer af udvalgte mikroorganismer i kompostmassen fordelt på perioder

Parameter	Enhed	06.12.99 -1.03.00	01.03.00 -8.06.00	08.06.00 -01.09.01	01.09.01 -21.11.00	21.11.00 -21.09.01	06.12.99 -21.09.01
Kimtal 37° C.	%	65,7	47,2	- 531,6	- 20,8	73,4	63,3333
Temot.col.- bakt.	%	78,3	99,9	90,0	50,0	> 0	>99,998 6
Enterokokker	%	0,0	84,76	7,3	86,5	> 99,2	>99,9841
Presumpt. <i>E. coli</i>	%	79,7	99,9	90,0	50,0	> 0	>99,998 6

I tabel 8.10 angives de akkumulerede reduktioner.

Tabel 8.10

Akkumuleret reduktion af koncentrationer af udvalgte mikroorganismer i kompostmassen

Parameter	Enhed	06.12.99 -1.03.00	06.12.99 -8.06.00	06.12.99 -01.09.01	06.12.99 -21.11.00	06.12.99 -21.09.01
Kimtal 37gr. C.	%	65,7	81,9	- 14,3	- 38,1	63,3
Ter- mot.coliforme bakterier	%	78,3	99,97	99,997	99,9986	>99,99999
Enterokokker	%	0,0	84,8	85,9	98,1	>99,9841
Presumpt. <i>E. coli</i>	%	79,7	99,97	99,997	99,9986	>99,9986

De totale reduktioner i absolutte tal er endnu større i kraft af den store volumenreduktion over tid.

8.8 Indhold af udvalgte mikroorganismer i andre komposter

Tabel 8.11

Indhold af indikatorbakterier i kompostprøver og drænvæske (cfu/g)

Parameter	WSS Kompost	HH kompost	BRÖ Kompost	BRÖ** Dræn 1	BRÖ** dræn 2	EW kompost
<i>E. coli</i>	i.p.	93	23	930	i.p.	$2,3 \times 10^6$
Totale coliforme	i.p.	93	930	2.300	i.p.	$2,3 \times 10^6$

i.p. = ikke påvist ved analyserne

** Prøverne er udtaget fra drænvand fra to forskellige beholdere i samme egendom.

Kilde: Kalkoffen 1995

Det analyserede indhold kan sammenlignes med koncentrationer for såvel *E.coli* som for totale coliforme bakterier på 10^7 - 10^9 i friske fækalier (jfr. kapitel 4). For alle andre prøver, end "EW", er der tale om store reduktioner. Det er overraskende, at "EW", som karakteriseres som værende en ca. et år gammel kompost med struktur, duft og udseende som muld, indeholdt såvel *E. coli* som totale coliforme i et antal af $2,3 \times 10^6$. Tørstofprocenten er, på grund af tilsætning af store mængder flis, oppe på 51,8. Det er ligeledes overraskende, at værdierne for "WSS" er under detektionsgrænsen. Materialet er, ifølge beskrivelsen, kun "flere måneder gammelt". Det er muligt, at ammoniakdannelse fra fordampning af drænet urin, ved opvarmning eller hævede temperaturer i kompostmassen, har haft en afgørende betydning.

Det er vanskeligt at sammenligne måleresultaterne med måleresultaterne fra Stubbekøbing, da der er analyseret for forskellige parametre.

Stubsgaard (1996) målte, i tidligere omtalte undersøgelse af komposttoiletsystemer i Andelssamfundet i Hjortshøj, indhold af enterokokker i komposternes vådvægt i størrelsesordenen fra 10^5 - 10^7 ned til 10^3 .

Der målt indhold i kompostmateriale i 15 kamre på i alt 3 "Snurrelassen". Materialets gennemsnitlige alder, i de enkelte kamre, var fra næsten frisk og op til lidt over 800 dage. Der var stor spredning på reduktionen i kamrene. Materiale med en gennemsnitlig alder på ca. 200 dage indeholdt enterokokker i et antal af 10^6 eller noget mere. Antallet for det i gennemsnit ca. 200 dage gamle materiale i "Kaggen 06-12-99" var 690.000. Målinger i to kamre i Hjortshøj, med i gennemsnit ca. 550 dage gammelt materiale, viste et indhold på henholdsvis over 10^5 og lidt under 10^3 . Det i gennemsnit ca. 550 dage gamle materiale i "Kaggen 21-11-00" var på 12.000. Der er kun et enkelt resultat fra Hjortshøj ved lidt over gennemsnitligt 800 dage gammelt materiale. Indholdet var her ca. 1.000 at sammenligne med < 100 i materiale i "DT-Hurtig-

komposteren” med en gennemsnitlig alder på ca. 850 dage. Det ser således ud til, at reduktionerne i systemerne ikke afviger meget.

9 Erfaringer med Kaggen og Skelsnæs-systemet andre steder

9.1 Erfaringer med brug af Kaggen

Ludvika kommune bruger en "Kaggen" i forbindelse med en børnekoloni, som kommunen har på en ø uden for Göteborg. Kolonien bruges i perioden maj-september af 50-80 børn samt personale. Børn og personale fra en større koloni i nærheden bruger også stedet ved spisning.

Det samlede spildevand fra kolonien ledes først til en et-kammer brønd Ø 150 cm med en højde på 226 cm. (Opsamlingsvolumen) Vådvolumen er 3,8 m³. Derefter løber vandet til en to-kammer brønd med samme vådvolumen på 3,8 m³. En gang årligt pumpes slammet fra de to brønde op i "Kaggen". Der fyldes op over en del gange og drænvandet løber tilbage til brøndene. Der pumpes med en almindelig ikke-skærende pumpe uden problemer. Slammet ligger i "Kaggen" i 4-8 måneder inden den tømmes. Bengt Judén fra kommunen fortæller, at de der arbejder med det omsatte slam og beskriver det som tørvemuld. Såvel de, der arbejder med systemet, som kommunen er tilfredse med systemet og anbefaler det til andre potentielle brugere.

Värmdö kommune ved Stockholm har kendskab til 15-20 "Kaggen" i kommunen. Der pumpes typisk en gang om året fra en hustank over i "Kaggen" og drænvandet returneres til hustanken. De fleste har været i brug i 5-6 år, de ældste i ca. 10 år. Der er meget gode erfaringer med systemet. Ingegerd Örnstedt fra kommunen beskriver slutproduktet som tørvemuld. Det lægges i bede, på græsplæner etc.

Materialet kan anvendes, uden restriktioner, på egen grund efter kompostering i minimum 6 måneder (Örnstedt 2000, 2002).

En husstand, bestående af to personer, har siden 1994/95 brugt to stk. "Kaggen" i forbindelse med en pumpebrønd og et nedsivningsanlæg. Toiletindholdet og madrester, som har været igennem en køkkenkværn, tilføres pumpebrønden, hvorfra det pumpes op i "Kaggen". Der er ingen lugt fra "Kaggen".

Bo Nylander oplyser, at han, udover at have drænrør i bunden, har anbragt plastnet på indersiden af beholderen under filteret, for at sikre en god afvanding. Han har prøvet at løfte det fyldte filter med maskine, men kan ikke anbefale det på grund af risiko for at filteret går i stykker. Han skovler nu i stedet materialet ud med en 90° hjemmebøjet skovl. Der er tale om ca. tre trillebører á ca. 80 l. Bo oplyser, at materialet på ingen måde er ubehageligt eller anstrengende at skovle ud. Bo er hjertepatient. Materialet er behageligt og har nærmest lerkarakter. Det lugter ikke, og der er ikke synligt papir. Bo tilsætter ikke orme eller tilslagsstoffer til komposten. Materialet han tager ud fra "Kaggen", efterkomposterer han med savsmuld i en bunke på jorden. Der er ingen problemer med lugt eller lignende.

Bo Nylander synes, at systemet og håndteringen fungerer godt, men ønsker et ændret ophæng med to kroge i hver side af filteret, samt at filteret forlænges med 10 cm.

En familie, bestående af fire personer, installerede 1. marts 1998 tre stk. "DS" kildesortierende dobbeltskylende toiletter og to stk. "Kaggen" på en ejendom i Tavira i Portugal. De to beholdere bruges alternerende. Ved skyl af toiletterne føres materialet ved gravitation til en beholder, mens den anden beholder komposterer tidligere tilført materiale. Det tager familien 18 måneder at fylde "Kaggen". Der tilføres ingen tilslagsstoffer for at forbedre C/N-forholdet eller lignende. Familien er meget tilfredse med systemet og har ikke haft problemer med lugt, tilstopning eller overløb. (Personlig meddelelse Marc Toole 2000, 2001).

Der er ikke kendskab til andre analyser af materiale i "Kaggen", under afvanding eller kompostering, end dem, der er foretaget ved Stubbekøbing. Det gælder både undersøgelser af indholdsstoffer og, hvad der er nok så væsentligt, mikrobiologiske undersøgelser af materialet.

9.2 Erfaringer med brug af Skel snæs-systemet

I Nordjyllands Amt er der installeret ca. 20 komposttoiletter af samme type som toilettet ved Skel snæs Pavillionen. De findes på alle amtets såkaldte "primitive lejrpladser" samt enkelte andre steder, f.eks. på spejdercenteret ved Torup hede. Normalt er der kun et toilet hvert sted, på spejderlejren er der dog en hel række. (Hans Henrik Strejle, personlig meddelelse, 2002).

Det er amtets vejvæsen som tilser og tømmer komposttoiletterne. H.H. Strejle vurderer, bl.a. ud fra markpersonalets tilbagemeldinger, at toiletterne fuldt ud lever op til forventningerne. Konstruktionen er ændret i forhold til den første model, som svarer til den i Skel snæs Pavillionen. I Nordjyllands Amt har man droppet de horisontale ventilationsrør. Det har ikke givet lugtgener på toiletterne og ser heller ikke ud til at have nogen negativ betydning for komposteringsprocessen.

Lejrpladserne, og dermed komposttoiletterne, benyttes i hele sommerhalvåret. I denne periode fungerer opsamlingsrummet under toilettet både til opsamling og kompostering. Når lejrpladserne lukker om efteråret, færdigkomposteres materialet yderligere et par måneder. Ved tømningen, før vinteren sætter ind, ligner materialet pottemuld og udspreddes, typisk i skovbevoksninger.

Der er ikke vand på toilettet, men der er adgang til vand på pladserne.

Brugerne er også tilfredse. De har mulighed for at skrive deres meninger og kommentarer i en lille bog, som er hængt op på hvert toilet.

10 Diskussion

Etablering

Stubbekøbing

Etableringen af såvel to stk. "Kaggen" og "DT Hurtig-komposterer" som først "Ecovip" og derefter "DS" ved Stubbekøbing forløb uden problemer. Det etablerede system er et decideret passivt system til afvanding og kompostering uden brug af pumper, elektronisk omrøring, el-ventilator, opvarmning etc. Placeringen af de to stk. "Kaggen", nedsænket i skygge på husets nordside og uden isolering om vinteren, er ikke hensigtsmæssigt og kan betragtes som en slags worst case test.

Skelnæs

Komposttoiletsystemet ved Skelnæs Pavillionen var allerede etableret ved projektets opstart på baggrund af tegninger fra Nordjyllands Amt.

Drift

Stubbekøbing

Driften af "Ecovip" viste, at fjederkonstruktionen ikke kunne holde til kontinuerligt helårsbrug af fire personer med høj hjemmefrekvens. At der ikke tidligere er rapporteret om problemer fra brug i Sverige, kan bl.a. skyldes, at "Ecovip" her overvejende bruges i fritidshuse. Kritikken af toilettet har medvirket til, at producenten har udviklet en anden model "Clever", hvor "fjeder og plastskaalsystemet" er afløst af et udslusningssystem i et gummimateriale. På baggrund af de dårlige erfaringer med "Ecovip" anbefales det, at nye modeller testes, f.eks af SPI (Svensk Provninganstalt) eller af DTI, før de sendes ud på det kommercielle marked.

Familien er meget tilfredse med "DS"-toilettet, som ikke har givet driftsproblemer og er væsentlig nemmere at rengøre. De hidtidige erfaringer indikerer ingen problemer med at afvande de større mængder skyllevand fra "DS"-toilettet. Det forventes, at det, som tidligere, vil være muligt at lade systemet arbejde alternerende i et-årige perioder. Afvandingen i "Kaggen" fungerer udmærket i kombination med DS-toilettet p.gr.a filterposens drænende effekt. "DS"-toilettet kan ikke benyttes sammen med lukkede opsamlingsbeholdere.

Afvandingen har ikke fundet sted under optimale betingelser. Dårlig ophængning, i kombination med et dårligt ophængningssystem, har bevirket, at filteret er sunket for langt ned mod bunden og har mindsket filterarealet og fyldningskapaciteten. Alligevel har der ikke været problemer med afvandingen. Denne kan dog forbedres ved anvendelse af et noget større filter fæstnet helt op til overkanten med flere fæstepunkter. Det nuværende filter kan imidlertid også fæsnes bedre, hvilket er sket forud for opstart af "Kaggen 2".

Filteret presses, under fyldningen, ud mod beholderens inderside. Selvom beholderens indersider har 4-5 cm dybe riller, reduceres afvandingskapaciteten. En svensk bruger har forbedret afvandingskapaciteten væsentlig ved at placere et plastnet mellem indersiden af beholderen og filteret (jfr. kap. 9). "Kaggen 2" er ligeledes blevet udstyret med et plastnet.

Familien har brugt meget lidt tid til pasning af såvel "Kaggen" som "DT Hurtig komposterer". "Kaggen" er kun blevet tilsat meget få kulstofholdige og fugtabsorberende tilslagsstoffer i form af 60 l/9 kg cellulose og noget halm. Der er ikke i begyndelsen af kompostfasen tilsat jord eller færdig kompost med stort indhold af ønskede mikroorganismer. Kompostorme er først sent i forløbet tilført. Der er ikke, under opholdet i beholderne, foretaget en omstikning eller iltning med en "luftningsskrue", bortset fra den iltning der er sket i forbindelse med overførslen af materialet fra "Kaggen" til "DT-Hurtig komposterer". Alligevel har det været muligt, i det passive system med en meget lille indsats, at opnå et fuldt omsat, velduftende og muldlignende kompostprodukt med et godt næringsstofindhold. Der har samtidig været en meget stor reduktion i antallet af indikatorbakterier.

Det er interessant, at systemet har kunnet fungere under disse betingelser, da en række konstaterede driftsproblemer i forbindelse med andre komposttoilet-systemer skyldes, at der ikke løbende tilsættes, endog store mængder, tilslagsstoffer. Der har ofte været tale om manglende informationer eller manglende engagement hos operatøren med henblik på at optimere komposteringsprocessen. Tilsætning af større mængder tilslagsstoffer til "Kaggen" ville bestemt have befordret processerne og fremmet omsætningen, men har ikke været en nødvendig systembetingelse.

Yderligere optimeringsmuligheder er diskuteret med "Kaggen AB", producenten af "Kaggen". Spørgsmålet er, om det ville være muligt, for den engagerede og aktive operatør, yderligere at forbedre afvandingen ved at tilsætte groft strukturmateriale både før tilførslen af materialet og løbende i tilførselsperioden. Producenten vurderer, at det vil give negative virkninger for afvanding og kapacitet ved hurtigere reduktion af filterareal og større tilførsel af organisk materiale, som har en betydelig vandholdende kapacitet. Der er dog ikke kendskab til praktiske erfaringer med hensyn til konsekvenser for afvanding og kompostering. Orme kan eventuelt allerede tilsættes under påfyldning, hvis der ikke er tale om fuldstændig vandmætning af kompostmassen, for at give en mere gunstig struktur for såvel afvanding som den efterfølgende kompostering.

Tømningen af de ca. 170 l. kompost over i kompostbeholderen opleves ikke som noget problem. Arbejdet er nemmere end forventet og opleves ikke ubehageligt. Erfaringer fra Sverige og Portugal er også positive (jfr. kapitel 9). En placering af "Kaggen" i jorden, således at overkanten flugter med jorden, er dog ikke optimal for en ergonomisk rigtig tømning af "Kaggen".

Skelsnæs

Driftserfaringer

Brugere

Vurderet ud fra spørgeskemaundersøgelsen og egne besøg på stedet har toilet-systemet været meget brugervenligt. 25 har udfyldt et skema, herunder en skovbørnehave med 25 børn, der ofte bruger toiletterne. Alle finder toilettet af tilfredsstillende standard. Det lugter ikke, ser pænt ud og brugerne oplever det ikke som noget problem at tilføre strøelse (jfr. kap. 7.3.2)

Anvendelse af store mængder spåner, og et ventilationssystem med Ø100 mm rør trukket op over tagryggen, har forhindret lugt i toiletrummet.

Hvor meget toilettet bruges, og til hvad, vides dog ikke præcist. Det må formodes, at de fleste mænd og drenge tisser i skoven, mens kvinder og piger anvender toiletterne. Det er meget vanskeligt at vurdere, i hvilket omfang toiletterne tilføres fækallier, men det er nok i ringe omfang.

Driftspersonale

Ventilationsrørene i opsamlingskamrene er anbragt u hensigtsmæssigt i forhold til arbejdsmiljø ved tømning. En del fækalt materiale og papir lander og bliver hængende på rørene. Rørene medvirker desuden til at bremse materialets bevægelse ned ad den skrå betonflade, der ligeledes i kraft af den ru overflade virker bremsende. Ideen med perforerede ventilationsrør i kamrene til at fremme luftskiftet kan være god, men konstruktionen skal i så fald ændres således, at rørene ikke er anbragt i nedfaldsområdet under sædet.

Nordjyllands Amt, der nu har ca. 20 systemer i drift, ændrede konstruktionen efter at have anlagt de første toiletter. Der bruges ikke længere horisontale perforerede rør til ventilationen, hvilket ikke har resulteret i lugtproblemer (Personlig meddelelse Hans Henrik Stregle 2002).

På grund af ophobning og stuvning af papir og spåner i betonkamrene på ca. 0,5 m³ har driftspersonalet ved Skelsnæs Pavillionen været nødt til at skifte hyppigt mellem, hvilket af toiletterne der var åbent for brug. I Nordjyllands Amt er der normalt kun et toilet og der har ikke været problemer med stuvning eller overløb. Det kan tænkes, at indholdet af fækallier her er større, fordi toiletterne bruges af folk, der camperer på lejrpladserne. Det kan tænkes, at det resulterer i en bedre sammensætning af det materiale, som skal komposteres og at omsætningen af materialet derfor går hurtigere.

Bortset fra tilstedeværelse af frisk materiale på ventilationsrørene har der ikke været problemer forbundet med selve tømningen af kamrene. De mange tilførte træspåner kombineret med en formodet begrænset tilførsel af fækallier bevirker, at materialet ikke opleves som ubehageligt. Det hyppige skift med hensyn til hvilket toilet, der er i brug har sikret, at tømning kun har skullet finde sted en gang pr. år. Til gengæld indeholder det materiale, der tages ud, fækalt materiale, der kan være blot 14 dage gammelt. Materialet nedgraves efter tømningen. Hvis man i fremtiden ønsker at kompostere materialet, bør det behandles som frisk fækalt materiale.

Systemet har, i den nuværende udformning og dimensionering af kamrene og med nuværende materiale, mest karakter af et opsamlingsystem. Udgangsmaterialet, tilsat træspåner, omsættes ikke til et muldlignende produkt. Hvis kamrene havde været større, ville det være muligt at udnytte mulighederne for volumenreduktion og omsætning af materialet i et stort to-kammer system. Dette kunne ske ved fortsat alternerende drift, men nu med længere tid mellem skiftene, således at det yngste materiale var fra et til to år gammelt. En stor volumenreduktion vil desuden være interessant i sig selv for at begrænse den mængde, som skal nedgraves, hvis systemet etableres et sted med væsentlig større tilførsel af fækallier.

Der er ikke konstateret overløb af urin via luftindtagshuller i betonkamrenes sider. Træspånerne absorberer en del væske og væske ventileres også ud af kamrene via ventilationsrørene. Alligevel kan forholdet indikere, at også urintilførslen kan have været begrænset. Der er tilsyneladende opnået en balance

mellem urintilførsel og absorption, evt. varmeudvikling og bortventilering af væske.

Information

Flere undersøgelser peger på, at, udover konstruktionsmæssige forhold, er informationsniveauet hos brugerne ofte afgørende for succes med brugen af systemerne (Boisen 1995, Fittschen 1997 + 1999, Stubsgaard 1996, Del Porto et al. 2000).

Stubbekøbing

Information, givet forud for installationen ved Stubbekøbing, er blevet anvendt og har været tilstrækkelig til at undgå problemer ved installationen. Husstanden var på forhånd informeret om anvendelse af kildesorterede toiletter og har ikke haft problemer ved anvendelsen. Derimod er information med opfordring om løbende tilsætning af kulholdigt strukturmateriale i komposteringsperioden kun i begrænset omfang blevet fulgt. Det er, som tidligere nævnt, ikke ualmindeligt, at brugere af komposttoiletssystemer ikke anvender tilslagsstoffer som foreskrevet. Ved Stubbekøbing har det ikke givet problemer med afvanding eller omsætning, men processen kunne sikkert have været fremkyndet.

Skelsnæs

Ved Skelsnæs informeres brugerne, skriftligt ved opslag på væggen, om, at de skal anvende spåner efter brug. Besvarelserne af spørgeskemaerne samt de store mængder træspåner i kamrene tyder på, at brugerne tager informationerne til sig.

Volumenreduktion

Størrelsen af volumenreduktionen kan være et af kvalitetsparametrene til at vurdere effektiviteten af et komposttoiletssystem. Volumenreduktionen karakteriserer ikke i sig selv kvaliteten ved slutproduktet. Den kan dog, især ved et voluminøst udgangsmateriale på grund af vandskyl, være afgørende for at sikre en overkommelig håndtering af et slutprodukt med ønskede koncentrationer af næringsstoffer og organisk materiale.

Stubbekøbing

Det vurderes, at der er opnået en volumenreduktion i "Kaggen" efter endt tilførsel fra 600-170 l (72%). Reduktionen i "DT-Hurtig komposterer" er fra 170-75 l (56%). Den samlede volumenreduktion er på 87%. Tilførslen af fækalier, papir, skyllevand og evt. fejlsorteret urin ved Stubbekøbing kendes ikke nøjagtigt og kan kun skønnes på baggrund af oplysninger fra familien. Udvikling af volumen på forskellige tidspunkter er skønnet optisk. Det vurderes, at tilsætning af orme i kompostfasen har haft stor betydning for bearbejdning og iltning af den kompakte kompostmasse, selvom det ikke er muligt at kvantificere denne betydning. Det vurderes endvidere, at en tidligere tilsætning af kompostorme kunne have givet en hurtigere volumenreduktion og omsætning. Volumenreduktionen er også af betydning, hvis materialet skal nedgraves som latrin.

Udgangsvolumnet, efter endt tilførsel til "Kaggen", er dog væsentlig større end det, der opsamles fra en tilsvarende husstand i et kildesorterede komposttoiletssystem uden vandskyl og uden tilførsel af urin. Det er også større end, hvis der også tilføres urin ved anvendelse af kildesamlende toiletter uden vandskyl.

Skelsnæs

Det er forbundet med alt for stor usikkerhed at skønne volumenreduktionen ved Skelsnæs. Tilført materiale kendes ikke, og alternerende drift, på to eller fire uger, gør det ligeledes umuligt at skønne volumenreduktion i kamrene mellem fyldningsperioder.

Energiforbrug

Systemerne i Stubbekøbing og ved Skelsnæs Pavillionen har intet el-forbrug. Der bruges hverken elektricitet til pumpning, omrøring, ventilation eller opvarmning. Der er heller ikke, ved Stubbekøbing, tale om et stort varmetab fra et opvarmet toiletrum.

Energiforbruget varierer meget i andre komposttoiletsystemer. Forbruget spænder fra meget beskedne 9 kWh/a ved brug af en 1W/12V ventilator til store forbrug på grund af opvarmning, men også store ventilatorer. Boisen rapporterer om el-forbrug på 160–360 kWh/a (Backlund et al. 2002, Boisen 1995).

Ventilation

Begge systemer udmærker sig ved at kunne klare sig uden el-ventilator.

Den naturlige ventilation af "Kaggen" kan eventuelt forbedres ved etablering af bedre ventilation under låget. En god ventilation, af velplacerede beholdere i varme perioder, kan bidrage til at reducere fugtindholdet i kompostmassen ved bl.a. at reducere mængden af kondensvand, der tilbageføres til komposten.

I store elektrisk ventilerede batch- eller kontinuerlige kompostsystemer medfører en konstant brug af en ofte kraftig ventilator på 19–30 W, at materialet udtørres på overfladen. Dette materiale er svært at omsætte.

Håndtering af drænvand

Mængden af drænvand fra "Kaggen" udgør kun 2-3 m³/år og kan let ledes til et afløbsfrit pileanlæg på en størrelse af 2-4 m³. Herved kan næringsstofferne i drænvandet udnyttes, og mikroorganismene vil ikke blive udledt.

Ved Skelsnæs kan opsamlings- og komposteringsrummene tilsvarende forsynes med et nødoverløb med forbindelse til et endnu mindre pileanlæg. Ligeledes med det formål at hindre udledning af næringsstoffer og mikroorganismer og i stedet udnytte næringsstofferne.

Reduktion af organisk materiale

Reduktion af organisk materiale anvendes i norske kvalitetsnormer som et kvalitetsparameter til karakteristik af komposttoiletsystemer (Boisen 1995).

Det store batch-komposteringsystem "Snurrelassen" har ved test, under veldefinerede betingelser, klaret testens krav om, at kunne reducere indholdet af organisk materiale med 30% i løbet af 154 dage. Stubsgaards undersøgelse (Stubsgaard 1996) af kompostmaterialet i i alt 8 kamre i tre forskellige "Snurrelassen" viste, ved skøn over reduktionerne i materiale med en gennemsnitlig kammeralder på 358–980 dage, reduktioner på 11-35%. Samtlige kamre, der

er blevet fyldt ved praktisk almindelig anvendelse af kildesamlende eller kildesortierende toiletstole uden vandskyl, har efter 154 dage været langt fra at opfylde kravene om 30% reduktion i de norske kvalitetsnormer.

Den skønnede reduktion af organisk materiale i "Kaggen" fra målingen 06.12.1999 til 20.11.2000 er på 65%. Den samlede reduktion under opholdet i "Kaggen" og derefter i "Hurtig-komposter" frem til målingen 20.09.2001 er på 88%. Såvel reduktionen i "Kaggen" som den samlede reduktion er stor.

Indhold af næringsstoffer

Efter opsamling

Et indhold på 2.940 g Total-N og 900 g Total-P i "Kaggen", ved endt tilførsel baseret på analyse af udtaget materiale og skøn vedrørende masse, synes højt. Prøverne i massen i "Kaggen" er forsøgt taget repræsentativt ved udtagning flere steder til en samlet prøve. Der kan dog udmærket, i "Kaggen", have været områder med væske indeholdende få næringsstoffer, der ikke er blevet repræsenteret ved prøvetagningen. Det vides heller ikke, hvordan næringsstofferne er fordelt i massen. Beregningerne af næringsstofindhold, kort efter endt tilledning, kan således overvurdere mængderne af Total-N og Total-P.

Efter kompostering

Analyserne af koncentrationer efter næsten et år efter endt tilførsel i "Kaggen" samt efterfølgende i "DT-Hurtig komposter" sammenholdt med volumen-skøn, bekræfter, at skønnene kan være meget usikre. Da volumen i "DT-Hurtig komposter" 20.09.2001 kan skønnes temmelig præcist og massen er omsat og virker homogen, bør koncentrationerne og det samlede indhold af næringsstoffer i denne sidste prøve kunne give et retvisende billede. Det er naturligt, at der kan ske store reduktioner i Total-N ved processerne i massen. Der er dog også tale om en stor reduktion af Total-P fra 900-278 g. Reduktionen kan skyldes målinger på ikke-repræsentativt materiale, men måske også, at noget fosfor er blevet optaget af organismer i massen, og at noget fortsat er drænet ud af filteret.

Indholdet i slutproduktet synes bestemt mest sikkert. Det viser betydeligt indhold af kvælstof og især af fosfor. Den opsamlede mængde kalium er som forventet lav. Det kontinuerlige vandskyl udvasker det vandopløselige kalium. NPK-forholdet i slutproduktet er 100:59:16. Gødningsbehovet for vinterhvede og vinterbyg er henholdsvis 100:14:33 og 100:19:48. (jfr. kapitel 3). Brugt som gødning på disse afgrøder, skal der således suppleres med N og K.

Sammenligning med andre systemer

De målte koncentrationer af næringsstoffer i de tyske undersøgelser af materiale i komposttoiletsystemer viste kun væsentlig højere koncentrationer af kalium end de målte i "DT-Hurtig-komposter". Kvælstof- og fosforindhold var sammenlignelige. Vigtigst for optimal opsamling, uanset system, er særskilt opsamling af urin. Kvælstofindholdet i urin sikres bedst ved særskilt opsamling i en urinbeholder/urintank efter brug af en kildesortierende toiletstol.

Aquatron

"Aquatronen" kan, som en del af et komposttoiletsystem med vandskylende toiletteter, sikre, at en betydelig del af næringsstofferne i fækaliene tilføres komposttoiletsystemet, men det vandopløselige kalium bør, ligesom ved "Kaggen", gå tabt. Op til 70-80% af næringsstofindholdet i fækaliene vil kunne tilføres komposten (Vinnerås 2001). "Aquatron" kan, som "Kaggen",

muliggøre anvendelse af vandskyllende toiletter i komposttoiletsystemer og desuden muliggøre, at kompostbeholderen ikke skal anbringes under toiletstolen (jfr. kap. 4.2).

Hustanke

Målingerne fra hustanke viser langt lavere tørstofprocenter og koncentrationer af næringsstoffer end i "Kaggen" (Almedal 1998). "Kaggen" er i sig selv mere effektiv til opsamling af næringsstoffer. Det fremgår af kapitel 9, at "Kaggen" effektivt kan afvande og kompostere oppumpet slam. Det er ikke undersøgt, men meget muligt, at afvandingen og komposteringen af slammet kan muliggøre en stor procentuel tilbageførsel af næringsstoffer, der kan forventes tilbageholdt i hustanke.

Næringsstoffer i organiske gødningsmidler

Kompostmaterialet i "DT-Hurtig komposterer" kan sammenlignes med udvalgte organiske gødningsmidler.

Tabel 10.1

Indhold af næringsstoffer i kompostmaterialet sammenlignet med indholdet i udvalgte gødningsmidler

Stof	Enhed	Kompost	Urin	Spildevandsslam*	Husholdkompost*	SvineGylle*	KvægGylle*
TS-procent	%	23	4	14	66	7	12
Kvælstof	g/kg masse	6,2	7,3	5,9	5,9	9,1	7,4
Kvælstof	g/kg TS	27	183,3	43,2	8,9	134,4	62
Fosfor	g/kg masse	3,7	0,7	4,3	1,4	1,8	0,9
Fosfor	g/kg TS	16	16,7	31,5	2,1	26,9	7,2
Kalium	g/kg masse	1	2	0,4	2,4	3,3	6,2
Kalium	g/kg TS	4,4	50,2	3,1	3,7	48,4	52,0

*Værdierne er beregnet ud fra Eilersen et al.1998.

Kilde: Værdierne for koncentreret urin er fra tabel 3.2.

Sammenligningen viser klart, at indholdet af såvel kvælstof som fosfor gør kompostmaterialet interessant som gødning og jordforbedringsmateriale.

Reduktion af indikatorbakterier og smitstoffer

Der er ikke fundet bakterielle smitstoffer i form af *Campylobacter* og *Salmonella*.

Parasitære smitstoffer i form af *Cryptosporidium parvum* er fundet i analyserne af materiale fra "Kaggen", der ikke kunne kvantificeres. Reduktionen i "Kaggen" på ca. 7 måneder, efter endt tilførsel, var for termotolerante coliforme bakterier og presumptive *E.coli* på 99,97% og for enterokokker på 84,8%. Tager man udgangspunkt i de forventede højere udgangskoncentrationer i friske fækalierne (jfr. kap. 3), i stedet for værdier ved endt tilførsel, får man endnu hurtigere høje reduktioner. Den samlede reduktion i kompostmassen er væsentlig større end den samlede reduktion af koncentrationer på grund af den samtidige store reduktion i masse (jfr. kap. 8).

De store reduktioner har fundet sted uden høje temperaturer eller frost, uden høj eller lav pH, uden udtørring og uden UV-lys. Det "kolde" system har uden påvirkning af operatøren, med hensyn til at opvarme eller ved at regulere pH, givet en betydelig reduktion.

En temperaturstigning må have fundet sted ved omstikningen og har formentlig været medvirkende til at reducere antallet af enterokokker til under detektionsgrænsen. Opsamling i "Kaggen" giver god mulighed for på en gang at fylde et stort batch i forbindelse med en omstikning med henblik på at opnå en betydelig temperaturstigning. Temperaturstigningen bør kunne fremmes ved yderligere tilførsel af kulstofholdigt materiale i forbindelse med omstikningen.

Reduktion af indikatororganismer og smitstoffer ved pH-hævning

Der er flere eksempler på reduktion af mikroorganismer i fækalt materiale ved anvendelse af tilslagsmaterialer og følgende pH stigning. Boisen (2000) refererer til en kinesisk undersøgelse, hvor der registreredes større reduktioner af antal fækale coliforme, colifagere og *Ascaris* æg ved tilsætning af planteaske (pH 9–10) end ved kul-aske (pH 7) og savsmuld (pH 7–8).

Reduktion af indikatororganismer og smitstoffer ved dehydrering

Dehydrering anbefales i mange sammenhænge som en god behandlingsmåde og som et alternativ til reduktion af indikatororganismer og egentlige smitstoffer ved kompostering (Drangert et al. 1997, Esrey et al. 1998). Dehydrering er imidlertid også en kendt metode til langtidsopbevaring af mikroorganismer og Austin (2001A, 2001B) viser i et laboratorieforsøg, at antallet af mikroorganismer ved dehydrering kan reduceres til under detektionsgrænsen for efterfølgende, efter dehydrering, at optræde i stort antal.

Reduktion af indikatororganismer og smitstoffer ved antagonisme, konkurrence, toxicitet og antibiotiske stoffer

Det vil være interessant med mere viden om og kvantificering af negative miljøpåvirkninger af mikroorganismer tilpasset livet i tarmene under ophold i relativt fugtige og "kolde" miljøer i f.eks. "Kaggen". Kan de andre reducerende processer optimeres med henblik på en eventuel afkortning af tiden frem til opfyldelse af en krævet **reduktion**? Processerne kan dog ikke forventes at kunne relateres til tid på samme måde som for høje temperaturer eller for høj pH.

Indikatororganismer og smitstoffer i organiske gødningsmidler

Indhold af mikroorganismer i fækaliekomposten kan endvidere sammenlignes med analyser af indhold i andre udvalgte organiske gødningsmidler. Gødningsprodukterne udspreddes på landbrugsjord. De har ikke været underkastet samme behandling og slutprodukterne kan indeholde "friskt materiale" (nytilført ubearbejdet materiale) i forskellig grad. Gylle kan f.eks. indeholde helt nyt tilført materiale. Analyseresultaterne er et udtryk for, hvad indholdet af udvalgte mikroorganismer kan være på udsprejningstidspunktet.

Tabel 10.2
Indhold af udvalgte mikroorganismer i udvalgte gødningsmidler

Parameter	Komposterede fækalier	Svine-Gylle	Kvæg-gylle	Aerobt stabiliseret slam	Anaerobt udrådnet slam	Afgasset biomasse fra biogasanlæg
Kimtal cfu/ml (g)	$7,7 \times 10^6$	$0,34 \times 10^6$ til $7,1 \times 10^6$	2×10^6 til 32×10^6			
Enterokokker/fækale streptok. cfu/ ml (g)	< 100	2.200 til 43×10^4	13.000 til 48×10^4	2.000 til 29×10^4	700 til 14.000	<10 til 8.300

Kilder: Andersen et al. 2001, VKI 1997, Tafdrup et al. 1995, Bendixen 1995

Det fremgår af tabellen, at indholdet af enterokokker kan være lavere i komposterede fækalier efter 2 års kompostering i et "Kaggen-system" end i de øvrige gødningsprodukter. Det skal dog bemærkes, at der kun er undersøgt 1 portion fækalier opsamlet gennem 1 år i 1 husstand. Analyseresultaterne er ikke repræsentative for komposterede fækalier generelt, men giver et fingerpeg om, hvilken kvalitet af kompost, der kan opnås ved metoden.

Tungmetaller og miljøfremmede stoffer i komposten

Der er ikke analyseret for indhold af tungmetaller og miljøfremmede stoffer i komposten, da det var meningen, at disse analyser skulle foretages i andre projekter inden for rammerne af "Aktionsplanen". Analyserne er vigtige for at fastslå niveauerne til sammenligning med grænseværdier og afskæringsværdier i Slambekendtgørelsen. Det vil ikke være realistisk af økonomiske grunde at kræve, at kompost fra énfamiliesanlæg skal analyseres for tungmetaller og miljøfremmede stoffer før anvendelse på egen grund.

Anvendelse af de undersøgte komposttoiletsystemer

Stubbekøbing

"Kaggen"-systemet, med vandskylende toilet, er en god mulighed, hvis der er et ønske om at kompostere i et stort system med få tømninger, og der ikke er mulighed for eller interesse i at anbringe den store beholder under gulvet (jfr. kap. 4.2). Systemet har ligeledes sin berettigelse ved manglende accept af et toilet uden vandskyl og med frit fald for materiale. "Kaggen" kan desuden være et alternativ til en hustank eller overflødig afhentning af slam fra hustanken ved at dette, af brugeren selv, pumpes op i "Kaggen" til afvanding og efterfølgende kompostering. Systemet muliggør således også en helt lokal håndtering, hvor afhentning er umulig eller meget vanskelig.

Kvaliteten og effektiviteten i systemet kan videreudvikles. Såvel filterløsningerne som de vandskylende toiletter kan forbedres.

"Ecovip" produceres ikke længere. Toilettet er efterfølgende blevet afløst af "Clever". Toilettet vurderes ikke at være færdigudviklet (Personlig meddelelse: Friberg 2001, 2002). Et i Sverige anvendt "Mini Flush", fra "DP Sanitär" i plast med 0,8 l skyl, er blevet videreudviklet af "Gustavsberg". "Sealand"-toiletter med 0,5 l vandskyl til urin og 1,5 l vandskyl til fækalier bruges ikke kun til både, men også til komposttoiletsystemer (Del Porto et al. 2000).

Skelsnæs

To-kammerløsninger eller kontinuerlige et-kammersystemer med eller uden kildesortering bruges i offentlig sammenhæng i mange lande (Del Porto et al 2000). Brugere ved Skelsnæs Pavillionen er meget tilfredse med systemet. Personalets arbejdsmiljø og arbejde kan forbedres. Åbenlyse fejl med placering af ventilationsrør i Skelsnæs skal ændres.

Fremtidige systemer vil med fordel kunne dimensioneres større og anderledes, således at der, som nu, kun skulle udtages materiale en gang om året, men i stedet med en minimumsalder på et år. Dette materiale kunne blive godt omsat og efterkomposteres i stedet for umiddelbart at blive nedgravet. En konstruktionsændring kunne også muliggøre at begge toiletter kunne bruges samtidig som store kontinuerlige systemer med en årlig tømning, efter en første tømning, efter nogle år.

Der kan ved Skelsnæs Pavillionen med fordel gøres forsøg med optimering af driften af det eksisterende system med henblik på en forbedret volumenreduktion og en forbedret omsætning. Et af de parametre der let kan ændres, er mængden af tilsatte træspåner. En nedsættelse af denne mængde vil reducere tilførslen af vanskeligt omsætteligt **lignin** og give en mere passende fugtighed og reducere et eventuelt for højt C/N-forhold. Brugere er meget positive og vil bestemt ikke have problemer ved at tilsætte en afmålt mængde. I bedste fald ville der kunne gå væsentlig længere tid mellem skift af tilførsel, og der ville evt., hvis det var ønskværdigt, være mulighed for at begge toiletter i perioder kunne anvendes samtidigt.

I Nordjyllands Amt konstrueres toiletsystemet med kun et kammer. Materialet, der beskrives som muldlignende, tages ud hvert efterår. Toiletterne anvendes i skove, på primitive lejrpladser m.m.. Systemet er dog, i nuværende udformning, ikke konstrueret som et kontinuerligt system med henblik på optimal adskillelse af frisk og omsat materiale og årlig udtagning af en flere år gammel omsat delmængde ved tømningsslugen. Da de imidlertid bruges på steder med sæsonbesøg, foregår komposteringen reelt i nogle måneder uden tilførsel af yderligere frisk materiale. Systemerne burde kunne få en langt større udbredelse som offentlige toiletter i skove, feriekolonier og på primitive lejrpladser langt fra alfarvej.

Fremtidspeerspektiver

Komposterede fækalier kan give en god gødningseffekt og være et godt jordforbedringsmateriale. En tilførsel af materialet kan øge jordens indhold af organisk kulstof.

Der er brug for en risikoanalyse af risici forbundet med håndtering og anvendelse af komposteret fækalt materiale. En analyse som kan danne udgangspunkt for en vurdering af, om der er tale om acceptable eller uacceptable risici.

Det er vigtigt, at godkendelsesordninger for komposttoiletsystemer forholder sig til funktion ved hverdagsdrift af systemerne og ikke bliver så dyre, at de bremser produktudviklingen og forhindrer mindre producenter i at kunne teste systemerne (jfr. Del Porto et al. 2000). Endvidere er det vigtigt, at der kun er behov for undersøgelser for få parametre inden udspredning.

11 Litteraturliste

Almedal, C. 1998: Lokal Hantering Av Slam Från Enskilda Avlop I Svalövs Kommun. Examensarbete. Institutionsmeddelande 98:04. SLU Uppsala, Sverige.

Andersen, J. S., Hald, T 2001: "Risikovurdering ved anvendelse af vandingskanoner til udspredding af gylle fortyndet med vand". Miljøprojekt nr. 606, 2001. Miljøstyrelsen.

Ansbæk, J., Vandmiljøkontoret 1997: "Hvad er bæredygtig spildevandsrensning?" og "Eksempler på bæredygtig spildevandsrensning" Art. i TÆT PÅ Nr. 19 oktober 1997. Storstrøms Amt/Teknik og Miljø

Austin, A. 2001: Health implications of reusing dehydrated faecal matter: discussion of microbiological tests carried out on samples from some urine diverting toilets in South Africa. Proceedings of the International Symposium, 30-31 October 2000, Bonn, Germany.

Austin, A. 2001: Health aspects of ecological sanitation. Proceedings of International Ecological Sanitation Conference in Nanning China November 2001

Backlund, A., Eilersen, A.M., Larsen, I. 2001 (Manuskript): Økologisk håndtering af urin og fækaler i kolonihaver ved hjælp af kildesorterende toiletter. (Manuskript til rapport i serien: Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning. Miljøstyrelsen.)

Backlund, A. 2001: Third individual progress report FAIR CT97-3947 "Biomass short rotation willow coppice fertilized with nutrient from municipal wastewater (BWCW).Ed. Stig Larsson i samlerrapport med samme titel.

Backlund, A. 2002 (Manuskript): Udvidelse af videngrundlaget inden for tekniske delområder vedrørende separat opsamling af urin og fækaler (Manuskript til rapport i serien: Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning. Miljøstyrelsen.)

Bekendtgørelser:

- Bekendtgørelse nr. 210 af 6. april 1998:
Bekendtgørelse om økologisk jordbrugsproduktion.
- Bekendtgørelse nr. 366 af 10. maj 1992:
Bekendtgørelse om ikke-erhvervsmaessigt dyrehold, uhygiejniske forhold m.m.
- Bekendtgørelse nr. 501 af 21. juni 1999:
Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4 (spildevandsbekendtgørelsen) og vejledning nr. 5/1999.

- Bekendtgørelse nr. 528 af 20. juni 1997:
Bekendtgørelse om tilsyn med kvaliteten af kommunalt spildevandsslam og komposteret husholdningsaffald m.m. til jordbrugsformål.
- Bekendtgørelse nr. 49 af 20. januar 2000:
Bekendtgørelse om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål (slambekendtgørelsen).

Bendixen, H.J. et al. 1995: Smitstoffreduktion i biomasse. Det veterinære forsøgsprogram i biogasfællesanlæg, Bind 1: Hovedrapport 1995. Landbrugs- og Fiskeriministeriet. Veterinærdirektoratet

Bendixen, H.J. udateret; Hygiene Aspects Of Anaerobic Digestion Of Mixed Wastes. Sanitation Requirements in Danish Biogas Plants.

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

Boisen, T 2000.: "Smittetrisici ved håndtering af urin, fæces og spildevand". Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning nr. 1. Miljøstyrelsen 2000

Dalsgaard, A., Tarnow, I. 2001: Vurdering af muligheder og begrænsninger for recirkulering af næringsstoffer fra by til land. Mikrobiologiske undersøgelser af lagret urin fra separationstoiletter. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning Nr. 18 2001.

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

Drangert, J.-O., Bew, J. Winblad, U. 1997: Ecological Alternatives In Sanitation. Proceedings from Sida Sanitation Workshop. Balingholm, Sweden 6-9 August 1997. Publications on Water resources: No 9. Sida Swedish International development Cooperation Agency. Department for Natural Resources and the Environment. Stockholm. Sweden.

D. Trading, Silkeborg, Brochuren: "hurtig komposter", udateret

Eilersen, A.M., Magid J., Tjell J.C. 1998: Genanvendelse af affald på jord s. 493-510 i "Affaldsteknologi". Ed. T.H. Christensen. Teknisk forlag. København

Esrey, S.A., Gough, J., Rapaport, D., Sawyer, R., Simpson-Hébert, M., Vargas, J., Winblad, U. 1998: Ecological Sanitation. Sida. Swedish International Development Cooperation Agency. Stockholm. Sweden.

Fittschen, Imke 1999: Entsorgungsverfahren in Kleigartenanlagen mit Schwerpunkt Trockentoiletten. Art. i Schriftenreihe des Bundesverbandes Deutscher Gartenfreunde e. V. Grüne Schriftenreihe Heft 140/1999. Bonn, Tyskland

Fittschen, Imke & Janusz Niemczynowicz 1997: Experiences with Dry Sanitation and Greywater Treatment in the Ecovillage Toarp, Sweden. Art. i Wat. Sci. Tech. Vol. 35, No. 9. pp. 161-170.

Holtze, A., Backlund, A. 2002: Opsamling, opbevaring og udnyttelse af urin fra Museumsgården på Møn.

Hydro Agri Nordisk 1995: Gødning

Kaggen AB udateret: Brochure. Faktablad

Kaggen AB udateret: Brochure. Kaggen-Komplett avloppsanläggning för åretruntanvändning

Kaggen AB udateret: Brochure. Kaggen-Komposteringsanläggning för avloppsslam, köksavfall och trädgårdsavfall.

Kaggen AB udateret: Brochure. Kaggen-Sommaranvändning vid fritidshuset.

Kalkoffen, J., Fiedler, D., Kludt, R. 1995: Komposttoiletten-verschiedene Bauarten-Analyse und Bewertungen der Kompostqualität. Fachgebiet Siedlungswasserwirtschaft. Technische Universität Berlin.

Kärman, E., Jönsson, H., Gruvberger, C., Dalemo, M., Sonesson, U., Stenström, T.A. 1999: Miljösystemanalys av hushållens avlopp och organiska avfall – syntes av hanteringssystem undersökta inom FoU-programmet "Organisk avfall som väkstnäringsskälla". VA-FORSK Rapport 1999-15, Stockholm, Sverige.

Lange, J., Otterpohl, R. 1997: Abwasser - Handbuch zu einer zukunftsfähigen Wasserwirtschaft. Donaueschingen-Pföhren. Tyskland.

Miljøprojekt 351 1997:

Moe, C.L., Sobsey, M.D., Cohen, L.F., Esrey, S.A. 2001: Microbiological studies of ecological sanitation in El Salvador. Proceeding to International Ecological Sanitation Conference in Nanniang China November 2001.

Nordisk Miljømerking 1999: Miljømerking av avløpsfrie toalettsystemer. Kriteriedokument 9. april 1997-8. juli 2002. Versjon 2.2

Norin, Erik, 1996A: Vätkompostering som stabiliserings- och hygieniseringsmetod för organiskt avfall - försök i pilotskala med svartvatten, köksavfall och gödsel. JTI rapport Nr. 3 Kretslopp & avfall, Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala.

Norin, Erik, 1996B: Vätkompostering i ett lokalt, kretsloppsbaserat behandlingssystem för toalett- och köksavfall - Förstudie av planerad bebyggelse i Horn, Västerås kommun. JTI rapport Nr. 5 Kretslopp & avfall, Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala.

Skjelhaugen, O.J., 1999: Thermophilic aerobic reactor for processing organic liquid wastes. Water Research 33:7, pp 1593-1602.

Stenström, T.A. 2001: Reduction efficiency of index pathogens in dry sanitation compared with traditional and alternative wastewater treatment systems. Proceedings to International Ecological Sanitation Conference in Nanniang China November 2001

Stintzing, A. R., Rodhe, L. 2000: Humanurin som gödselsmedel i vårsäd. TEKNIK FÖR LANTBRUKET 84. JTI - Institutet för jordbruks- och miljöteknik, Uppsala, Sverige.

Stubsgaard, A.E. 1996: Hygiejniske og miljømæssige aspekter af komposttoiletter. Specialrapport. Mikrobiel Økologi. Biologisk Institut. Århus Universitetet.

Sundberg, K. 1995: Vad innehåller avlopp från hushåll? Statens naturvårdsverk. Rapport4425. Solna, Sverige

Tafdrup, S., Christensen, J., Gregersen, K.H.Jensen, J.D., Birkmose, T., Bendixen, H.J., Møller, H.B. 1995: Biogasfællesanlæg – fra idé til realitet. Energi styrelsen.

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

Vinnerås, B. 2001: Faecal separation and urine diverting for nutrient management of household biodegradable waste and wastewater. Licentiate Thesis. Swedish University of Agricultural Sciences Department of Agricultural Engineering. Report 244. Uppsala.

VKI et al. 1997: Hygiejniske aspekter ved behandling og genanvendelse af organisk affald. Miljøprojekt nr. 351. Miljøstyrelsen.

WM-Ekologen, udateret: Brochure

Wrisberg, S. 1996: Urinseparation i København–Genoprettelse af forbindelsen mellem land og by. Bachelorprojekt. Institut For Jordbrugsvidenskab. Sektion For Agroøkologi. Den KGL. Veterinær Og Landbohøjskole. Frederiksberg.

Wrisberg, S., Eilersen, A.M., Nielsen, S.B., Clemensen, K., Henze M. og Magid J. 2001: Vurdering af muligheder og begrænsninger for recirkulering af næringsstoffer fra husholdninger fra by til land. Miljøprojekt/Aktionsplanen for økologisk omstilling og spildevandsrensning. Miljøstyrelsen.

Personlige meddelelser:

Aronsson 2001: Personlig meddelelse fra Pär Aronsson, SLU Uppsala

Friberg, 1998-2002: Personlige meddelelser fra Stefan Friberg, Wost Man Ecology AB, Stockholm, Sverige

Kaggen AB 1998-2002

Landskrona kommune 1998-

Örnstedt 2002: Personlig meddelelse fra Ingegerd Örnstedt, Värmdö kommu

Bilag 1

Kortudsnit Skelsnæs



Bilag 2

Billedserie over komposteringsforløbet i Stubbekøbing

1 November 1999, i slutningen af opsamlingsperioden (ca. 12 måneder)



Filterposen er trukket skæv p.gr.a den dårlige ophængning



Kompostmassen er meget kompakt

2 Juni 2000, efter ½ års kompostering i Kaggen



Kun få kompostorme i komposten

3

November 2000, efter 1 års kompostering i Kaggen



Materialeoverfladen virker muldagtig





Der er mange orme i kompostmassen. Denne fremtræder uomsat i de nederste ca. 20 cm af filterposen.



Der er mange kompostorme i komposten.

4 August 2001, efter knap 8 måneders efterkompostering i "Hurtig komposterer"



Myrer har bygget en tue i den ene side af kompostbeholderen



Komposten ligner havemuld, er vellugtende og fyldt med kompostorme

5
år

Kaggenbeholder 2. februar 2001 efter en opsamlingsperiode på godt 1



Afløbet fra Kaggen er stoppet og kompostmassen er meget våd.



Filterposen er ophængt bedre end i Kaggen 1 og Kaggen 2



August 2001, hvor DS toiletet har været installeret i knap 4 måneder. Toiletets vandskyl er væsentlig større end skyllet i Eco-vip og materialeoverfladen virker ”slammet”.

Bilag 3

Spørgeskema

Kære bruger af mult-toilettet

Læg venligst dit svar i den ophængte postkasse.

1. Er mult-toilettet af tilfredsstillende standard, når det skal bruges som "skov-toilet"? Ja Nej

Evt. Bemærkninger: _____

2. Er der en lugt, som er UBEHAGELIG , UDEN BETYDNING, , eller er der INGEN LUGT

Evt. Bemærkninger: _____

3. Hvordan er det at skulle bruge strøelse? OK , ULÆKKERT , UDEN BETYDNING

Evt. Bemærkninger: _____

4. Der er ikke en vandhane på stedet, kun vand i søen. Er det ET PROBLEM , UDEN BETYDNING

Evt. Bemærkninger: _____

5. Amtet har planer om at opstille flere af disse toiletter i naturen, hvor der ikke er adgang til vand. Synes du at det er en GOD IDE , DÅRLIG IDE

Evt. Bemærkninger: _____

Hvis du har yderligere kommentarer eller spørgsmål er du velkommen til at ringe til :
Annette Holtze, Storstrøms amt, Parkvej 37, 4800 Nykøbing F., tlf.: 54 84 48 22