

**Vakuumtoiletter og behandling  
af det indsamlede materiale  
i biogasanlæg eller  
vådkomposteringsanlæg**

Vakuumtoiletter og behandling af  
det indsamlede materiale i  
biogasanlæg eller  
vådkomposteringsanlæg

Arne Backlund og Annette Holtze  
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

<b>INDHOLD</b>	<b>3</b>
<b>FORORD</b>	<b>7</b>
<b>SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER</b>	<b>9</b>
<b>SUMMARY AND CONCLUSIONS</b>	<b>15</b>
<b>1 INDLEDNING</b>	<b>15</b>
1.1 BAGGRUND	21
1.2 FORMÅL	22
1.3 DEFINITIONER	22
1.4 VAKUUMTEKNOLOGI I HISTORISK PERSPEKTIV	23
1.5 AFGRÆNSNING	24
1.6 PROJEKTFORLØB	25
1.7 SPILDEVANDSRELEVANTE FORHOLD PÅ LOKALITETERNE	25
<b>2 UNDERSØGELSESPROGRAM</b>	<b>27</b>
2.1 ERFARINGER FRA INSTALLATION OG DRIFT AF TOILETSYSTEMERNE PÅ ENKELTEJENDOMME	27
2.2 ERFARINGER FRA EKSISTERENDE VAKUUMTOILETSYSTEMER I STORSTRØMS AMT	27
2.3 VAKUUMTEKNOLOGI, VÅDKOMPOSTERINGS- OG BIOGASANLÆG	28
<b>3 URIN OG FÆKALIER</b>	<b>29</b>
<b>4 VAKUUMTEKNOLOGI</b>	<b>33</b>
4.1 VAKUUMTOILETSYSTEMER	33
4.2 VAKUUMTOILETTER	33
4.2.1 Kildesamlende vakuumtoiletter	34
4.2.2 Kildesorterende vakuumtoiletter	36
4.2.3 Vandforbrug	36
4.2.4 El-forbrug	36
4.2.5 Lydniveauer	37
<b>5 BESKRIVELSE AF DE AFPRØVEDE SYSTEMER</b>	<b>39</b>
5.1 DET KILDESAMLLENDE VAKUUMTOILETSYSTEM I STRANDBY	39
5.2 DET KILDESORTERENDE VAKUUMTOILETSYSTEM I BREGNINGE	41
<b>6 LOVGIVNING</b>	<b>45</b>
6.1 LOVGIVNING FOR INSTALLATIONERNE	45
6.1.1 Vakuumtoiletter	45
6.1.2 Samletanke	46
6.1.3 Rørinstallationer	46
6.2 BORTSKAFFELSE AF HUMAN URIN OG FÆKALIER	47

<b>7</b>	<b>ERFARINGER MED INSTALLATIONER OG DRIFT</b>	<b>49</b>
7.1	ERFARINGER MED ETABLERING OG DRIFT AF DET KILDESAMLLENDE SYSTEM I STRANDBY	49
7.2	ERFARINGER MED ETABLERING OG DRIFT AF DET KILDESORTERENDE SYSTEM I BREGNINGE	53
7.3	SAMMENFATNING	55
7.3.1	<i>Erfaringer og anbefalinger fra håndværkerne</i>	55
7.3.2	<i>Brugererfaringer</i>	56
7.4	BORTSKAFFELSE AF DET OPSAMLEDE "SORTE" SPILDEVAND	56
<b>8</b>	<b>SAMLETANKE OG VAKUUMTOILETSYSTEMER I STORSTRØMS AMT</b>	<b>57</b>
8.1	SAMLETANKE	57
8.2	VAKUUMTOILETSYSTEMER I STORSTRØMS AMT	57
8.2.1	<i>Offentlige vakuumtoiletter ved udflugsmål</i>	58
8.2.2	<i>Ældre vakuumtoiletsystemer i sommerhusområder</i>	59
8.2.3	<i>Sammenfatning</i>	64
<b>9</b>	<b>ERFARINGER MED VAKUUMTOILETSYSTEMER I SVERIGE OG TYSKLAND</b>	<b>65</b>
9.1	VAKUUMTOILETSYSTEM I BÄLINGE, SVERIGE	65
9.2	TEGELVIKEN I KVICKSUND, SVERIGE	66
9.3	VAKUUMTOILETSYSTEMER I HANNOVER, TYSKLAND	67
9.4	SAMMENFATNING	70
<b>10</b>	<b>VÅDKOMPOSTERING OG VÅDKOMPOSTERINGSSYSTEMER</b>	<b>71</b>
10.1	VÅDKOMPOSTERING	72
10.2	VÅDKOMPOSTERINGSPROCESSER	72
10.3	VÅDKOMPOSTERINGSREAKTORER I DRIFT	73
10.4	VÅDKOMPOSTERINGSSYSTEM/SYSTEMKOMPONENTER	74
10.5	VARMEBALANCESTUDIER	75
10.6	ENERGIFORBRUG	76
10.7	ANLÆGS- OG DRIFTSUDGIFTER	76
10.8	ERFARINGER FRA VÅDKOMPOSTERINGSANLÆGGET PÅ SÖRBY GÅRD I SVERIGE	77
10.9	SAMMENFATNING	79
<b>11</b>	<b>BIOAFGASNING OG BIOGASANLÆG</b>	<b>81</b>
11.1	OPBYGNINGEN AF ET BIOGASANLÆG	82
11.2	BIOAFGASNING AF FÆKALIER OG URIN	83
<b>12</b>	<b>TEORETISK BEREGNING AF KONCENTRATIONER I OPSAMLET MATERIALE FRA VAKUUMTOILETTER</b>	<b>85</b>
12.1	VOLUMEN OG KONCENTRATIONER AF INDHOLDSSTOFFER I SAMLETANKE EFTER VAKUUMTOILETTER	86
12.1.1	<i>Kildesorterende WM-vakuumtoiletter</i>	86
12.1.2	<i>Kildesamlende WM-vakuumtoiletter</i>	88
12.1.3	<i>Traditionelle kildesamlende vakuumtoiletter</i>	89
12.1.4	<i>Indhold i samletanke efter konventionelle vandbesparende toiletter</i>	91

<b>13</b>	<b>INDHOLDSSTOFFER I MATERIALE OPSAMLET MED ANDRE TEKNIKKER</b>	<b>83</b>
13.1	INDHOLDSSTOFFER I HUSTANKE	93
13.2	INDHOLDSSTOFFER EFTER SEPARATION I EN "AQUATRON"	94
13.3	"EKOPORTEN"	95
13.4	OPSAMLINGS-/KOMPOSTTOILETTER	96
13.5	SAMMENFATNING	97
<b>14</b>	<b>OMKOSTNINGER VED VAKUUMTOILETSYSTEMER PÅ ENKELTEJENDOMME</b>	<b>99</b>
14.1	ETABLERING	99
14.2	DRIFT	100
<b>15</b>	<b>DISKUSSION</b>	<b>103</b>
<b>16</b>	<b>LITTERATURLISTE</b>	<b>109</b>



# Forord

Storstrøms Amt har iværksat projektet: "Vakuumtoiletter og behandling af det indsamlede materiale i biogasanlæg eller ved vådkompostering".

Projektet er iværksat under Miljøstyrelsens "Aktionsplan til fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning", Tema 3, "Næringsstoffer fra by til land".

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 W. Hollesen, Miljøstyrelsen

Jakob Magid, Den Kongelige Veterinære Landbohøjskole, Institut for jordbrugvidenskab

Vagn Pollas, Nysted Kommune

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

Bent Rasmussen, Vandmiljøkontoret, Storstrøms Amt

Arne Backlund, A&B Backlund ApS

Annette Holtze, Vandmiljøkontoret, Storstrøms Amt (projektleder)

I rapporten videregives erfaringer med etablering og drift af mange forskellige vakuumtoiletsystemer og behandlingsanlæg. Det har kun været muligt, fordi så mange villigt har stillet deres viden og erfaringer til rådighed.

Storstrøms Amt vil gerne takke alle bidragydere. Uden jer kunne vi ikke have gennemført projektet tilfredsstillende.

En særlig tak til:

Sven Aage Wandrup, Troels Jørgensen Entreprise A/S, som har koordineret alt det praktiske arbejde på de to involverede ejendomme, både i anlægsfasen og i resten af projektperioden, og som har løst et utal af forskellige problemer, uanset hvornår de er opstået. Sven Aage Wandrup har også bidraget med erfaringer om anlægs- og kloakarbejde generelt og med udbytterige diskussioner i forbindelse med, at vi skrev rapporten.

Dan Raahauge og Boye Holm fra Rudbjerg Kommune, som har bidraget både med praktisk hjælp ved prøveudtagning på systemer med permanent vakuum, med billedmateriale, driftserfaringer og med konstruktive diskussioner af rapportudkastet.

Familierne Færk og Frederiksen i Nysted Kommune, som har hjulpet med at løse mange forskellige praktiske problemer og utrætteligt har svaret på spørgsmål og videregivet erfaringerne med driften af toiletsystemerne i deres hjem. Tak, ikke mindst for jeres udholdenhed, da de praktiske problemer var næsten uovervindelige, og for husly og kaffe i projektperioden.





# Sammenfatning og konklusioner

To enkeltliggende ejendomme i Nysted Kommune på Lolland har i 2000 fået vaku-umtoiletter af ny konstruktion. Toiletterne blev installeret som en del af et projekt, der skal belyse mulighederne for at recirkulere koncentreret "sort" spildevand (spildevand fra vandklosetter) til landbruget. I projektrapporten er erfaringerne med de nye toilet-systemer til enkeltejendomme og med ældre fælles vakuumanlæg i sommerhusområder på Lolland og Falster beskrevet.

De nye vakuumtoiletsystemer til enkeltejendomme, der er under stadig udvikling, har et meget lavt vand- og strømforbrug. Mange driftsproblemer ved de gamle fælles vaku-umanlæg er overvundet. Undersøgelserne tyder på, at det ved hjælp af vakuumtoiletter er muligt at opsamle et produkt, der er egnet til medbehandling på et biogas- eller våd-komposteringsanlæg. I rapporten inddrages også erfaringer fra vores nabolande.

Storstrøms Amt har iværksat projektet i samarbejde med A & B Backlund Aps, og det er støttet af Miljøstyrelsens "Aktionsplan til fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning".

## ***Baggrund og formål***

I Storstrøms Amt blev der i slutningen af tresserne og først i halvfjerdserne etableret vakuumtoiletsystemer i flere sommerhusområder, hvor spildevandet ikke kan trans-porteres ved gravitation (ikke "kan løbe selv") på grund af terrænforholdene eller på grund af højt liggende grundvandsspejl. I stedet for at behandle dette spildevand i ren-seanlæg kan energi- og næringsindholdet udnyttes ved behandling i et biogas- eller et vådkomposteringsanlæg. Materialet bidrager til energiproduktion (biogasanlægget) eller til varmeproduktion (vådkomposteringsanlægget). Næringsstofindholdet i rest-produkterne kan udnyttes ved udspreddning på landbrugsjord.

I projektet er der indsamlet erfaringer fra installation og drift af to nye typer vakuumtoiletter til enkelt-ejendomme, herunder et kildesorterende med særskilt opsamling af urin og fækalier, og fra driften af store fælles vakuumtoiletsystemer i amtet. Med udgangs-punkt i måleresultater og teoretiske beregninger er koncentrationer af organisk materi-ale/tørstof og næringsstoffer vurderet med henblik på at bestemme, hvor egnet materi-alet er til behandling i biogas- ellers vådkomposteringsanlæg. Det er samtidig under-søgt, om det er muligt at medbehandle det opsamlede "sorte" spildevand på det bio-gasanlæg, som ligger i kommunen. Til sammenligning er der indsamlet erfaringer fra vores nabolande med etablering og/eller drift af vakuumtoiletsystemer og vådkomposte-ringsanlæg.

## ***Undersøgelsen***

De to nye vakuumtoiletsystemer blev etableret i løbet af 2000. Toiletterne har direk-te/midlertidigt vakuum i stedet for permanent, som ellers er alment anvendt. Det op-samlede materiale transporteres ved hjælp af vakuum til samletanke. I det kildesorte-rende system løber urin og 0,1-0,2 l skyllevand ved gravitation til en særskilt tank. Bru-gernes og håndværkernes erfaringer med installationerne, driften og brugen af toiletter-ne er indsamlet i 2000 og 2001.

Der er indhentet erfaringer med driften af store vakuumtoiletsystemer i fire kommuner og med driften af to mindre systemer, som bruges i offentligt regi, i Storstrøms Amt. Vi har talt med både det tekniske og det administrative personale i kommunerne og med de lokale VVS-firmaer, som har repareret systemerne og udskiftet toiletterne. Erfaringer med vakuumtoiletsystemer i Sverige og Tyskland og medbehandling af humane restprodukter i et vådkomposteringsanlæg i Sverige er fulgt løbende gennem projektperioden.

Undersøgelsen og vurderingen af, om det opsamlede produkt egner sig til behandling i et vådkomposterings- eller biogasanlæg er foretaget ud fra teoretiske beregninger af indholdet af tørstof, organisk materiale og kvælstof og ud fra enkelte analyser af materialet, som er opsamlet i to vakuumsystemer i Rudbjerg Kommune. Der er desuden anvendt måleresultater fra svenske anlæg. På grund af driftsproblemer har det ikke været muligt at udtage repræsentative prøver af det opsamlede spildevand fra de nye installationer.

Omkostninger ved etablering og drift af vakuumtoiletter, herunder bortskaffelse af det opsamlede materiale, er belyst ud fra erfaringerne fra enkeltejendommene i Nysted. Der er ikke foretaget teoretiske beregninger af rentabiliteten ved at etablere toiletsystemer på et større antal ejendomme i kombination med behandling af materialet i et biogas- eller vådkomposteringsanlæg, da økonomien vil afhænge af de konkrete lokale forhold. Økonomiforhold fra anlæg i Norge og Sverige er beskrevet.

### **Hovedkonklusioner**

- Vakuumtoiletsystemer kan opsamle materiale med en høj koncentration af organisk materiale og næringsstoffer og med få miljøfremmede stoffer.
- På enkeltejendomme med samletanke vil tømningsmængde og -hyppighed blive væsentligt lavere med et vakuumtoilet end med et almindeligt vandskylende toilet. I forsøgsinstallationerne er der opnået vandbesparelser på 40-50%. Reduktionen er størst ved brug af sorterende toiletter.
- Strømforbruget er ubetydeligt og væsentligt lavere pr. person med de nyudviklede toiletter, hvor der kun laves vakuum, når toiletterne benyttes, sammenlignet med forbruget i toiletsystemer med permanent vakuum.
- Da systemerne ikke er udbredte, har håndværkere normalt ikke kendskab til systemet og systemkomponenterne. Det er derfor af stor betydning, at der er et godt og fyldestgørende dokumentations- og montagevejledningsmateriale til håndværkerne.
- Optimal funktion af toiletsystemerne forudsætter god information til brugerne. Brugernes adfærd har stor betydning for at undgå driftsproblemer og for, hvilke mængder og koncentrationer der tilføres samletanken.
- Toiletterne er mere rengøringskrævende end almindelige toiletter. Beboerne i de to ejendomme, der selv har valgt systemet, synes ikke, det er et problem i dagligdagen, bl.a. fordi de holder merarbejdet op mod vandbesparelsen.
- Erfaringerne fra Bälinge i Sverige og Storstrøms Amt med vakuumtoiletsystemer for mange sammenkoblede hustande viser, at det er muligt at drive sådanne systemer med få driftsproblemer under forudsætning af løbende vedligeholdelse af systemet og information af brugerne. De er mere vedligeholdelseskrævende end gravitationssystemer.
- De koncentrationer af organisk materiale, der er opmålt i store systemer med permanent vakuum i Storstrøms Amt samt i Sverige, indikerer, at materialet kan medbehandles i et biogas -eller vådkomposteringsanlæg. Koncentrationerne er imidlertid ikke høje nok til, at anlæggene kan fungere på dette materiale alene. Der er brug for at tilføre store mængder andet organisk materiale med væsentligt højere indhold af tørstof og organisk stof. Anvendelse af kildesortierende vakuumtoiletter kan hæve koncentrationen væsentligt.

- Det koster 70-150% mere at etablere et vakuumtoiletsystem kombineret med en eller to samletanke sammenlignet med udgifterne til at etablere et traditionelt toilet-system med en samletank. Til gengæld er de årlige driftsudgifter til det konventionelle system flere tusind kroner større end til et vakuumtoiletsystem.
- På biogasanlægget i Nysted Kommune er medbehandlingsprisen for organiske affaldsprodukter 65–180 kr./m<sup>3</sup>, bl.a. afhængigt af tørstofindholdet. Rentabiliteten af behandlingen afhænger bl.a. af, hvordan beskyttelse af vandmiljøet og nytteværdi prissættes.

### **Projektresultater**

*Erfaringer med de nyetablerede vakuumtoiletsystemer på to ejendomme i Nysted Kommune*  
Begge installationer havde indkøringsproblemer i ca. et halvt år, men de fleste blev overvundet. Det vil derfor være muligt at få dem til at fungere fint på enkeltejendomme. En del af systemkomponenterne er dog for skrøbelige og skal forbedres.

Arbejdet med opsætning af toilet, rørføring, nedgravning af tank m.v. er ikke større end ved brug af traditionelle systemer, hvis der er et godt dokumentations- og vejledningsmateriale. Elektrikerarbejdet er dog større, da der normalt ikke bruges elektrisk styring. En god information er afgørende for såvel tidsforbrug som for forebyggelse af en række efterfølgende driftsproblemer, da teknikken ikke er kendt på forhånd.

#### Styring

Håndværkerne fandt det vanskeligt at foretage en præcis indstilling af den elektriske styring af vakuumsystemet. Styrepladen og justeringsskruer er fremstillet af skrøbeligt materiale og tåler ikke, at styringen skal justeres mange gange. Allerede i indkøringsperioden måtte styrepladen udskiftes. Indstillingen af den rette sugetid blev foretaget ud fra firmaets anvisninger. Indstillingen forudsætter ”gefühl” og flere tests, før den er optimal. Afstandskravet på tre meter fra toilet til sluseventil er for kort til stabil drift. På grund af ustabil drift i den ene installation med kort afstand blev vakuumtoiletsystemet efter et halvt års tid erstattet med et kildesorterende dobbeltskylende toilet DS.

#### Sluseventil

De sluseventiler, der først blev leveret, var for spinkelt opbygget. Efter udskiftning med tungere klap med bedre befæstigelse har der ikke været problemer med dem.

#### Vakuumpumpe, filter og rørinstallationer

Installationerne er i sig selv uproblematisk. Filteret er nødvendigt både af hensyn til motoren og for, at omgivelserne ikke svines til. Det er let at rense for brugerne af systemet.

#### Vandforbrug og tømningshyppighed

Vandforbruget blev i husstanden med det ikke-sorterende vakuumtoilet reduceret med ca. 45% i projektperioden. Produktion af ”sort” spildevand skønnes til ca. 5 m<sup>3</sup> pr. år fremover. Det vil give en til to årlige tanktømninger mod tidligere ca. seks om året. Vandforbruget med kildesorterende vakuumtoilet blev reduceret med ca. 40%. Tømningshyppigheden kunne forventes reduceret fra ca. 12 gange pr. år (ca. 28 m<sup>3</sup> i 1 tank) til ca. to gange (11 m<sup>3</sup> i 2 tanke), hvis vakuumtoiletet var bibeholdt. På grund af udskiftning af toilet og stærkt svingende antal brugere har det ikke været muligt at anslå produktionen af ”sort” spildevand.

#### Elforbrug

Elforbruget i husstanden uden kildesortering skønnes til i alt ca. 7 kWh/år eller godt 1 kWh pr. m<sup>3</sup>. Det svarer til en årlig udgift på 12 kr. ved en pris på 1,7 kr./kWh. Ved alternativ anvendelse af kildesortering kunne det årlige forbrug ved et forsigtigt skøn være reduceret til i alt ca. 4 kWh, altså til godt halvdelen af forbruget i det ikke-

sorterende system. Det vil svare til en årlig udgift på 7 kr. ved en pris på 1,7 kr. pr. kWh.

#### Brugereerfaringer

Brugen af toiletterne i sig selv har ikke givet anledning til problemer, heller ikke for de besøgende, hvoraf en del er børn. Brugere skal uanset køn sidde ned ved brug af den todelte toiletkumme af hensyn til kildesorteringen. Familien med det sorterende toilet har ikke savnet et børnesæde. Børnenes brug af toilettet har ikke resulteret i, at fækalier er havnet i skålen for urin eller på skillevæggen mellem de to skåle i toilettet. Det har tilsyneladende heller ikke været et problem at bruge en toiletspand til toiletpapiret efter "lille" besøg. Toiletterne kræver lidt mere rengøring end normalt, men det accepteres, fordi der er en stor vandbesparelse. Det er ikke svært at forklare gæster, hvordan toilettet bruges.

Motoren kan støje meget. Placeringen er derfor af stor betydning. Ved at placere pumpen (motoren) i tankhalsen forebygges et støjproblem.

#### Behandling af det opsamlede "sorte" spildevand

Det har ikke været muligt at få medbehandlet det "sorte" spildevand, som er opsamlet, på biogasanlægget i Kettinge i Nysted Kommune. Det er ikke begrundet i miljøgodkendelsen, men i en holdning. Biogasanlægget har tilladelse til at behandle slam fra bundfældningstanke (septikslam). Anlæggets restprodukter udspreddes på landbrugsjord hos landmænd, der på grund af aftaler med Danisco ikke kan anvende spildevandsslam på markerne. Biogasanlægget modtager derfor ingen former for spildevandsslam og sidestiller i dette tilfælde de "humane restprodukter" med slam i stedet for med gylle. Det opsamlede spildevand er blevet tilført et kommunalt renseanlæg.

#### ***Samletanke og vakuumtoiletsystemer i Storstrøms Amt***

Kun få ejendomme i det åbne land i Storstrøms Amt har samletanke. I 2001 er antallet af ikke-kloakerede ejendomme opgjort til 26.600 (Storstrøms Amt 2002), og heraf har kun 320 ejendomme samletanke. I nogle tilfælde nedsives det grå spildevand, i andre tilfælde ledes både det sorte og det grå spildevand til samletankene.

#### *Vakuumtoiletsystemer*

For cirka tredive år siden blev der etableret flere større vakuumtoiletsystemer med permanent vakuum i sommerhusområder i amtet. Erfaringer fra driften med disse anlæg i Holeby, Ravnsborg, Rudbjerg og Sydfalster kommuner er beskrevet i rapporten. Det "sorte" spildevand transporteres med vakuum til rensning i et fælles renseanlæg, mens det "grå" nedsives på den enkelte ejendom. Erfaringerne viser, at disse 30 år gamle transportsystemer er noget nedslidte og meget vedligeholdelseskrævende, selvom kommunerne ved forskellige tiltag og information har nedbragt driftsproblemerne markant. Der er generelt ingen planer om at nedlægge systemerne. I nogle tilfælde er der problemer med at nedsive det "grå" spildevand, især i vinterhalvåret, og ønsker om at få bortskaffet det på anden vis.

#### Driftserfaringer

Systemerne kræver mere tilsyn og vedligeholdelse end gravitationssystemer. Det sker ofte, at en vakuumventil er utæt, og det kan betyde, at en hel streng (vej) er ude af drift. I mange tilfælde er ventilerne ikke tilgængelige for driftspersonalet. Det er f.eks. tilfældet, hvis problemet opstår i et ubeboet sommerhus. Ventilerne bliver utætte af flere grunde, f.eks. af ælde eller hvis systemet står ubrugt hele vinteren, samtidig med at der konstant holdes vakuum i systemet. Der er ofte tilstopninger i ledningsnettene, f.eks. hvis brugere forsøger at skylle bleer, klude, m.v. ud gennem toiletterne. Disse tilstopninger skyldes i stor udstrækning, at mange sommerhuse udlejes, og at lejerne

ikke kender eller er ligeglade med systemernes sårbarhed. Endelig lukker rørene til på grund af kalkudfældning.

#### Afhjælpning af driftsproblemerne

Kommunerne har sat ind på to fronter de senere år for at afhjælpe driftsproblemerne. De har etableret renselommer på vejene eller endda på stikledningerne til de enkelte huse og gjort meget ud af information til brugerne. Det har nedbragt antallet af drifts-stop meget. Erfaringer fra Sverige viser også, at anlæggene efter indkøringsperioden kan drives tilfredsstillende.

#### Karakteristik af opsamlet sort spildevand

Øjeblikksprøver fra to anlæg i Rudbjerg Kommune viser en koncentrationen af organisk materiale på henholdsvis 5,4 mg/l og 5,8 mg/l. Det gør materialet egnet til medbe-handling i et biogas- eller vådkomposteringsanlæg. Koncentrationerne svarer til, hvad der er målt i Sverige.

#### Strømforbruget

Strømforbruget på de to anlæg i Rudbjerg Kommune er opgjort til godt 60 kWh/m<sup>3</sup> og er væsentligt større end i to boligområder i Sverige og Tyskland. Det skyldes, at transportafstandene er meget større i Rudbjerg Kommune.

#### *Vådkompostering og vådkomposteringsystemer*

Vådkompostering er en termofil biologisk behandlingsproces, som foregår under tilførelse af ilt. I en reaktor udnyttes energiindholdet i et biologisk restprodukt til at danne en høj behandlingstemperatur. Overskudsvarmen kan udnyttes til ekstern opvarmning. Det behandlede materiale (restprodukt) anvendes som gødning. I rapporten refereres angivelser om et strømforbrug ved drift på 19–35 kWh/m<sup>3</sup> behandlet råmateriale og muligheder for at udnytte 50–60 kWh/m<sup>3</sup> råslam til eksterne opvarmningsformål. Der er desuden gengivet varmebalcestudier fra Sverige.

#### *Bioafgasning og biogasanlæg*

Bioafgasning/udrødning er en anaerob mikrobiel omsætning af organisk materiale under dannelse af biogas (methan). Det behandlede materiale (restprodukt) anvendes som gødning i landbruget. Der er gårdbiogasanlæg, biogasanlæg på renseanlæg eller biogasfællesanlæg, som har en gasproduktion baseret på husdyrgødning, kildesorteret husholdningsaffald, spildevandsslam og organisk industriaffald. Hovedvægten er normalt på husdyrgødningen. Opholdstider og procestemperaturer kan variere. Der skelnes mellem mesofil udrødning (20–52 °C) og termofil udrødning (52–60 °C). Biogas-potentialet pr. år fra en person vurderes til ca. 4 m<sup>3</sup> biogas fra fækaliene og 5,4 m<sup>3</sup> fra urinen, i alt 9,4 m<sup>3</sup> biogas vurderet ud fra indholdet af organisk stof. Det høje kvælstofindhold i urin kan virke hæmmende på termofile processer.

#### *Teoretisk beregning af koncentrationer i opsamlet materiale fra vakuumtoiletter*

I rapporten er der resultater af beregninger af, hvilke koncentrationer af tørstof og organisk stof der kan opnås ved hjælp af vakuumtoiletsystemer. De kan medvirke til at kvalificere vurderingsgrundlaget for dimensionering af tanke, tømning-frekvenser, udgifter til tømning og behandling. De kan også benyttes til en vurdering af, om materialet (det "sorte" spildevand) kan være egnet til medbehandling på eksisterende biogasanlæg eller på nyetablerede vådkomposteringsanlæg til acceptable priser. I rapporten er der også resultater af undersøgelser af indholdsstoffer i materialer opsamlet med andre teknikker, f.eks. i bundfældningstanke mv.

#### *Udgifter til etablering af vakuumtoiletsystemer på enkeltejendomme*

Etableringsomkostningerne for vakuumsystemerne er blandt andet bestemt af, om der anvendes en eller to samletanke. Udgiften kan forventes at blive 70–150% højere end ved etablering af et konventionelt system med et almindeligt toilet (3/6 liter).

### *Drift af vakuumtoiletsystemerne*

Driftsudgifterne omfatter tanktømning og strøm og udgifter til vedligeholdelse af komponenterne. De årlige udgifter til drift af et konventionelt system med samletank er ved normalt brug flere tusind kroner større, end hvis der etableres et vakuumtoiletsystem. De større etableringsomkostninger for vakuumtoiletsystemet kan tjenes ind over driften i løbet af få år, hvis der ikke skal foretages reparationer. En anden ting er så, om det er rentabelt at medbehandle det "sorte" spildevand på et biogasanlæg. Den gennemsnitlige kommunale udgift i amtet til at behandle spildevandet på et renseanlæg er på ca. 30 kr./m<sup>3</sup>. Behandlingsprisen på biogasanlægget i Kettinge er på 180 kr./m<sup>3</sup>, en merpris på 150 kr./m<sup>3</sup>. Den bør vurderes i forhold til den fordel det kan være at udnytte materialet til fremstilling af energi og som gødning i stedet for at udlede spildevandet til vandmiljøet.

### ***Fremtidsudsigter***

Der er etableret ca. 15 toiletsystemer med de nyeste ændringer i Sverige og Finland. Her er det muligt at følge driften og tage prøver. Interessen for vakuumsystemer, som består af et enkelt toilet med midlertidigt vakuum, er stor. Det skyldes, at såvel anlægsudgifter som driftsudgifter til systemer med permanent vakuum, er meget større. De nyeste ændringer ser ud til at have løst de problemer, der har været i Nysted Kommune.

Der mangler viden om de faktiske muligheder for at tilføre de danske biogafællesanlæg "sort" spildevand opsamlet fra vakuumtoiletter.

# Summary and conclusions

In the municipality of Nysted on Lolland vacuum toilets of a new design were installed two detached houses in 2000. The toilets were installed as part of a project to illustrate the possibilities of recycling concentrations of "black" wastewater (wastewater from water closets) for agricultural purposes. The project report describes experience gained from the new toilet systems for detached houses and from earlier common vacuum systems in summer cottage areas on Lolland and Falster.

The new vacuum toilet systems for detached houses, which are continuously developed, have very low water and electricity consumption. Many of the difficulties connected to the operation of the earlier vacuum systems have been solved. Studies indicate that vacuum toilets allow collection of a product applicable for co-treatment at a biogas and wet composting plant. The report also includes experience from our neighbouring countries.

Storstrøm County has initiated the project in co-operation with A & B Barklund ApS, and the project is supported by the Danish Environmental Protection Agency through the "Sustainable Urban Renewal and Wastewater Treatment" programme.

## ***Background and objective***

By the end of the 1960s and at the beginning of the 1970s, Storstrøm County established vacuum toilet systems in a number of summer cottage areas, where - due to the conditions of the soil or elevated groundwater level - wastewater cannot move by means of gravitation. Instead of treating this wastewater at sewage plants, the content of energy and nutrients is exploited through treatment at biogas or wet composting plants. The material may be utilized for energy purposes (biogas plant) or for the generation of heat (wet composting plant). The nutrients contained in the residual product may be used for agricultural purposes.

During the project experience was collected from the installation and operation of two new types of vacuum toilets for detached houses, including a source segregation toilet with separate collection of urine and faeces, as well as the operation of large, common vacuum toilet systems in the county. Based on test results and theoretical calculations, concentrations of organic material/dry matter and nutrients have been tested with a view to identifying the applicability of the material for biogas or wet composting treatment. At the same time it has been examined whether it is possible to treat the collected "black" wastewater at the municipal biogas plant as well. In comparison to this, experience has been gathered from the establishment and/or the running of vacuum toilet systems and wet composting works in our neighbouring countries.

## ***The study***

The two new vacuum toilet systems were established in 2000. The toilets are equipped with direct/temporary instead of the permanent vacuum system, which is more commonly used. The collected material is transported to storage tanks by means of vacuum. In the source segregation system urine plus 0.1-0.2 liter flush water run to a separate tank by means of gravitation. The users' and the plumbers' experience from the installations, the operation and use of the toilets has been gathered during the years 2000 and 2001.



Experience was gathered from the running of large vacuum toilet systems in four municipalities as well as from the running of two minor public systems in Storstrøm County. We have interviewed both the technical and the administrative staff of the municipalities as well as the local plumbing service, which repaired the systems and replaced the toilets. Test results from vacuum toilet systems in Sweden and Germany as well as the treatment of human residual products in a Swedish wet composting works have been consulted throughout the entire project period.

The study and evaluation of the suitability of collected product for treatment in a wet composting or biogas plant were made on the basis of theoretic calculations of the content of dry matter, organic material and nitrogen, as well as of individual analyses of the material collected in two vacuum systems in the municipality of Rudbjerg. Moreover, test results from Swedish works were applied. Due to operating troubles it proved impossible to take out representative samples of the collected wastewater from the new installations.

The costs of establishment and running of vacuum toilets, including disposal of the collected material, are illustrated on the basis of experience from detached houses in Nysted. As the economy will depend on specific local conditions, no theoretical calculations were made concerning the profitability of establishing toilet systems in a larger number of houses in combination with treatment of the material at a biogas or wet composting works. Economic aspects in connection with plants in Norway and Sweden are presented.

### ***Main conclusions***

- Vacuum toilet systems can collect material with a high concentration of organic material and nutrients and with very few xenobiotic substances.
- In detached houses with storage tanks the quantity and frequency of emptying will be considerably lower than is the case with an ordinary water-flushing toilet. With the pilot installations, water savings of 40-50% have been obtained. The largest reduction is seen in connection with source segregation toilets.
- With the new toilets the electricity consumption is negligible and considerably lower per person for the toilet equipped with a temporary vacuum, compared to the consumption by permanent vacuum systems.
- Normally the plumbers do not know about the system and its components, since the systems are not commonly used. It is therefore very important that detailed assembling instructions are available to the plumbers.
- To obtain the optimal function of the toilet systems, sufficient user information is crucial. The way the users' use the toilets is important – both to the quantities and concentrations supplied to the storage tank.
- The toilets must be cleaned more frequently than ordinary toilets. The residents of the two houses, who have chosen the system themselves, do not find the extra work a problem in their everyday lives, because they compare it with the water savings achieved.
- Experience from Bålinge, Sweden, and Storstrøm County concerning vacuum toilet systems for many connected households shows that it is possible to run such systems with a minimum of operating troubles, provided the system is in good repair and the users are well informed. The systems require more maintenance than the gravitation systems
- The concentrations of organic material tested in large systems with permanent vacuums in Storstrøm County and in Sweden indicate that the material is treatable in a biogas or wet composting plants. The concentrations are not high enough, however, for the works to operate exclusively on the basis of this material. Large quan-

tities of organic material with considerably higher contents of dry matter and organic matter must be added. The application of source segregation vacuum toilets can increase the concentration significantly.

- The costs of establishing a vacuum toilet system combined with one or two storage tanks are 70-150% higher than for ordinary toilet system with a storage tank. On the other hand, the annual expenses related to a traditional toilet system are much higher than for a vacuum toilet system.
- At the biogas plant in the municipality of Nysted, the co-treatment price for organic residual products is DKK 65-180 per cubic meter, depending on the content of e.g. dry matter. The profitability of the treatment depends on e.g. the pricing of the protection of the aquatic environment and the utility value.

### ***Project results***

#### *Experience from newly established vacuum toilet systems in two houses in the municipality of Nysted*

Both installations had problems in the initial phases, i.e. for about six months, but most of them were solved. It will thus be possible to make them function perfectly in all houses. However, some of the system components are too fragile and need improvement.

The installation of the toilet, including piping, burial of the tank etc. Does not require more work than for traditional systems, provided efficient documentation and instruction are available. The electricity work is more extensive, however, since, normally, electric control systems are not used. Only very few people are familiar with the technical aspects, detailed information is crucial, both to reduce time consumption, and to prevent a number of subsequent operating troubles.

#### Control

The plumbers found it difficult to adjust the electric control of the vacuum system. The guide plate and the adjusting screws are produced from fragile material, and not strong enough for frequent adjustment. Even during the running-in period the guide plate had to be changed. The adjustment of the correct sucking-out intervals was made according to the instructions of the firm. The adjustment depends on a certain expert feeling and several tests, before it functions optimally. The required three meter between the toilet and the flush pipe valve is too short a distance to ensure stable operation. Due to the unstable operation of one of the installations with a short distance, the vacuum toilet system was replaced after six months by a source segregation double-flush toilet, DS.

#### Flush pipe valve

The flush pipe valves first delivered were too fragile. After the valves were equipped with heavier flaps and stronger fixing, no problems were seen.

#### Vacuum pumps, filter and piping

The installation itself is unproblematic. The filter is indispensable to the motor and to avoid leaving a repulsive toilet bowl. It is easy for the users to clean the system.

#### Water consumption and emptying frequency

In the household with the non-segregating vacuum toilet, water consumption was reduced by approx. 45% during the project period. In the future, the production of "black" wastewater is estimated to be about 5 m<sup>3</sup> per year. This means emptying one or two times a year, compared to earlier approx. six times a year. The water consumption of the source segregation vacuum toilet was reduced by approx. 40%. The emptying frequency could be expected to be reduced from approx. 12 times a year (approx. 28 m<sup>3</sup> in one tank) to about two times (11 m<sup>3</sup> in two tanks), had the vacuum toilet been

retained. Because of the replacement of the toilet and the varying number of users, it has not been possible to estimate the production of "black" wastewater.

#### Power consumption

In the household without source segregation, the power consumption is assessed to total 7 kWh/year somewhat more than 1 kWh per cubic meter, corresponding to annual expenses of DKK 12 at a price of DKK 1.7/kWh. Using source segregation as an alternative, the annual consumption would roughly be reduced to approx. 4 kWh in total, i.e. half the consumption of the non-segregating system. This corresponds to annual expenses of DKK 7 at a price of DKK 1.7 per kWh.

#### Users' experience

Using the toilets has caused no problems to the visitors, among whom many were children. Because of the source segregation, all users, irrespective of sex, must sit down when using the two-part toilet. The family with the segregation toilet did not miss a child's seat, and the children using the toilet did not cause faeces in the urine bowl or on the partition between the two toilet bowls. Apparently it has been no problem, either, to use a sanitary pail for toilet paper after a "short visit". The toilets require somewhat more cleaning than usually, which, however, is acceptable because of the considerable water savings. It is fairly easy to explain to guests how to use the toilet.

The motor may make a lot of noise, and therefore is very important to locate it properly. To avoid noise nuisances, the pump (motor) can be placed at the entrance to the tank.

#### Treatment of the collected "black" wastewater

It has not been possible to treat the collected "black" wastewater at the biogas plant in Kettinge in the municipality of Nysted, however not because of environmental requirements, but because of attitudes. The biogas plant is authorized to treat sludge from sedimentation tanks (septic tank sludge). The residual products of the plant are spread on farmland of farmers who, due to agreement made with Danisco, are not allowed to use residual sludge. Therefore the biogas plant in question accepts no residual sludge and in this case ranks the "human residual products" alongside with sludge instead of with semi-liquid manure. The collected wastewater was supplied to a municipal wastewater treatment plant.

#### ***Storage tanks and vacuum toilet systems in Storstrøm County***

In the Storstrøm County only a few houses have storage tanks. In 2001 26,600 houses were not connected to the sewage disposal system (Storstrøm County 2002), and of these only 320 houses had storage tanks. In some cases the "gray" wastewater is percolated, in other cases the "black" and the "gray" wastewater are both supplied to the storage tanks.

#### *Vacuum toilet systems*

About 30 years ago several major vacuum toilet systems with permanent vacuums were established in the summer cottage areas of the county. Experience from the operation of these systems in the municipalities of Holeby, Ravnsborg, Rudbjerg and Sydfalster are presented in the report. The "black" wastewater is transported by vacuum to a common wastewater treatment plant for purification, whereas the "gray" wastewater is percolated at the individual property. Experience shows that these 30-year-old transportation systems are worn down and requires extensive maintenance work, even though the municipalities have reduced the operating problems considerably by information and various other initiatives. Generally, plans to dismantle the systems have not been made. However, in some cases there are problems percolating the "gray" waste-

water, especially during the winter, and therefore other disposal methods would be better.

#### Operating experience

The systems require more frequent inspection than the gravitation systems. Vacuum valves are often leaky, which means that an entire pipe (the passage) may be out of order. In many cases the valves are not accessible to the personnel; this is e.g. the case if the problem occurs in an unoccupied summer cottage area. The valves turn leaky for many reasons, e.g. with age or if the system is left unused during the winter with a constant vacuum maintained. If the users try to flush out napkins, cloths etc., which often occurs, the pipes will choke. These problems are caused by a large number of different tenants during a season, who are not familiar with the system or just do not care about the special care required. Apart from that, the pipes may choke because of calcareous sediments.

#### How to remedy operating troubles

In recent years the municipalities have taken steps to remedy the operating troubles in many respects. They have established clean-out holes at the roads or even on the service pipes to the houses and done much to inform the users. They have reduced the number of operating stops considerably. Experience from Sweden also shows that the installations can be run satisfactorily after the running-in period.

#### Description of collected "black" wastewater

Test samples from two installations in the municipality of Rudbjerg show concentrations of organic material of 5.4 mg/l and 5.8 mg/l respectively. These figures make the material suitable for treatment at a biogas or wet composting plant. The concentrations measured correspond to the ones found in Sweden.

#### Power consumption

The power consumption of the two installations in the municipality of Rudbjerg has been estimated at somewhat above 60 kWh/m<sup>3</sup>, which is considerably larger than in two residential areas in Sweden and Germany. This is due to the transport distance being much longer in Rudbjerg.

#### *Wet composting and wet composting systems*

Wet composting is a thermophilic, biological treatment process, which develops under the supply of oxygen. In a composting drum the energy content in a biological residual product is used to produce high treatment temperature. The surplus heat may be used for external heating. The treated material (the residual product) is used as a fertilizer. The report states power consumption figures during operation to be 19-35 kWh/m<sup>3</sup> treated raw material and possibilities of using 50-60 kWh/m<sup>3</sup> raw sludge for external heating purposes. Moreover, reference is made to Swedish heat balance studies.

#### *Biodegassing and biogas works*

Biodegasification/digestion is an anaerobic, microbial decomposition of organic material under the generation of biogas (methane). The treated material (the residual product) is used as an agricultural fertilizer. Farm biogas installations, biogas installations at purifying plants or biogas joint installations have gas production based on domestic animal manure, source segregated household waste, residual sludge and organic industrial waste. Main focus is normally on livestock manure. Residence time and process temperatures may vary. A distinction is made between mesophilic digestion (20-52° C) and thermophilic digestion (52-60° C). The biogas potential per year from a person is assessed at approx. 4 m<sup>3</sup> biogas from faeces, and 5.4 m<sup>3</sup> from urine, i.e. a total of 9.4 m<sup>3</sup> biogas, estimated from the content of organic matter. The high content of nitrogen in urine can have an inhibitory effect on the thermophilic processes.

#### *Theoretic calculation of the concentration of collected material from vacuum toilets*

The report presents calculations of the concentrations of dry matter and organic matter that can be obtained through vacuum toilet systems. These results may be used to estimate the dimensions of tanks, emptying frequencies, costs of emptying and treatment. They may also be used to assess whether the material (the "black" wastewater) is suitable for treatment at existing biogas plants or at newly established wet composting plants at an acceptable price. The report also presents the test results of components of material collected by other techniques, e.g. sedimentation tanks etc.

#### *Expenses for the establishment of vacuum toilet systems in detached houses*

The costs of establishment of the vacuum systems depend on whether one or two storage tanks are used. Costs are estimated to be 70-150% higher than those required for the establishment of a conventional system with an ordinary toilet (3/6 litres).

#### *The operation of vacuum toilet systems*

The operating costs include emptying the tanks, power expenses and maintenance of the components. The annual costs of operating conventional systems with storage tanks are normally several thousand DKK higher than the costs related to vacuum toilet systems. The higher costs of establishing vacuum toilet systems may be recovered within a few years, provided no repair work is required. Another question is if it pays to co-treat the "black" wastewater at a biogas plant. The average costs at county level for treatment of wastewater at a wastewater treatment plant are approx. DKK 30 per cubic meter. The treatment price at the biogas plant at Kettinge is DKK 180 per cubic meter – an additional DKK 150 per cubic meter. This amount should be compared to the benefits of using the material for power generation or as a fertilizer instead of discharging the wastewater to the aquatic environment.

#### ***Future prospects***

About 15 toilet systems have been established, including the latest changes in Sweden and Finland. Here it is possible to monitor operation and to take samples. Vacuum systems consisting of a single toilet with a temporary vacuum system give rise to great interest, because both establishment and operating costs for systems with permanent vacuums are much higher. The latest changes seem to have solved the problems experienced in the municipality of Nysted.

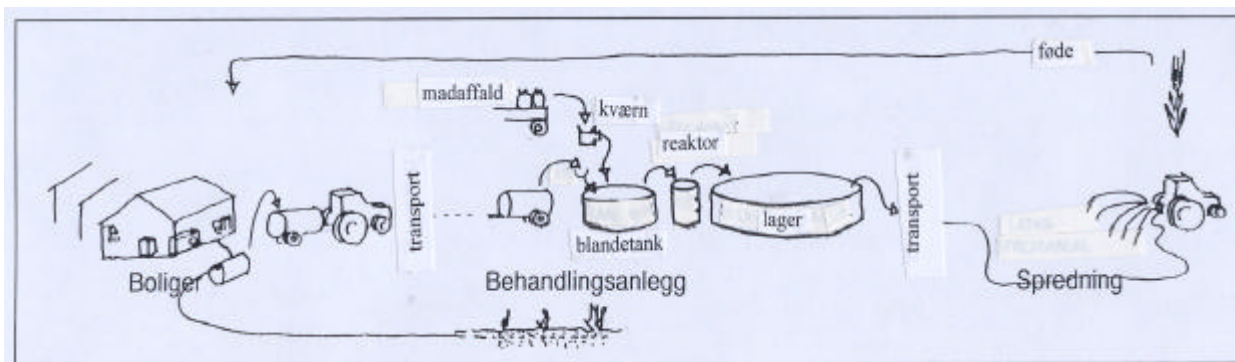
The present knowledge is not sufficient to determine the actual possibilities of supplying biogas common installations with "black" wastewater collected from vacuum toilets.

# 1 Indledning

Kravene til rensningen af spildevandet i det åbne land er blevet skærpet 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.

I Storstrøms Amt er der ca. 200 landsbyer, hvor der er et behov for forbedret rensning af spildevandet. I ca. 100 landsbyer renses spildevandet ved den enkelte hustand, typisk ved mekanisk rensning i bundfældningstanke. Andre ca. 100 landsbyer er kloakerede, men spildevandet renses kun mekanisk, hvilket er utidssvarende. Derudover er der 26.600 ukloakerede ejendomme i det åbne land, hvoraf 21.000 ifølge Regionplanen ligger i såkaldte "forureningsfølsomme områder", hvor der skal ske en forbedret rensning af spildevandet (Regionplan 2001-2013 og Punktkilder 2001, Storstrøms Amt, 2002). En af løsningerne til en forbedret rensning af spildevandet i disse områder kunne være separat opsamling af koncentreret "sort" spildevand (humane restprodukter) med henblik på viderebehandling i et biogasanlæg eller ved vådkompostering.

Storstrøms Amt har iværksat projektet "Vakuums toiletter og bearbejdning af det indsamlede materiale ved bioforgasning eller ved vådkompostering" med henblik på at få belyst mulighederne for at recirkulere humane restprodukter indeholdt i "sort" spildevand til landbruget. Projektet er støttet af Miljøstyrelsens "Aktionsplan til fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning".



Figur 1.1 Recirkulering af næringsstofferne i det "sorte" spildevand.

Kilde: Alfa Laval Agri (brochure om reaktor til vådkompostering).

## 1.1 Baggrund

I Storstrøms Amt blev der i slutningen af tresserne og først i halvfjerdserne etableret vakuumsystemer i flere sommerhusområder. Områderne er karakteriseret ved, at spildevandet ikke kan transporteres ved gravitation, dels på grund af terrænforholdene, dels på grund af højt liggende grundvandsspejl. Vakuumsystemerne er også kendt fra fly, tog og skibe. Strategien er at opsamle urin og fækalier ved hjælp af et vandskyl på ca. 1 liter og transportere det ved vakuum fra et net af koblede husstande til rensning i et renseanlæg. Der har været mange driftsproblemer med disse systemer.

Der er også eksempler på vakuumtoiletter i offentligt regi i forbindelse med rasteplasser og besøgsmaal ude i det fri. I disse tilfælde opbevares det opsamlede spildevand i samletanke for siden at blive rensat på et kommunalt renseanlæg. Erfaringerne fra disse eksisterende anlæg gør det relevant at undersøge, om de toiletter og vakuumsystemer, som findes på markedet i dag, er mere driftsstabile.

I stedet for at behandle de indsamlede humane restprodukter (det "sorte" spildevand) i et konventionelt renseanlæg, kan energi- og næringsindholdet udnyttes ved at behandle dem i et biogasanlæg eller et vådkomposteringsanlæg. Materialet bidrager her til energiproduktion (biogasanlægget) eller til varmeproduktion (vådkomposteringsanlægget). Næringsindholdet i restprodukterne herfra kan udnyttes ved udspreddning på landbrugsjord. I Kettinge på Lolland ligger der f.eks. et biogasanlæg, som bl.a. behandler gylle, og som evt. kunne medbehandle humane restprodukter opsamlet på enkeltejendomme i det omkringliggende åbne land. I vore nabolande er der eksempler på brug af vakuumtoiletsystemer og på behandling af humane restprodukter i vådkomposterings-/biogasanlæg.

Det er Storstrøms Amts vurdering, at der er behov for at tilvejebringe en større viden om vakuumtoiletsystemerne, deres driftsstabilitet og om brugernes accept af dem. Der er desuden behov for at undersøge materialets egnethed til behandling i biogas- og vådkomposteringsanlæg. De udenlandske erfaringer er relevante at inddrage i denne sammenhæng.

## 1.2 Formål

Formålet med projektet er bl.a. at indsamle erfaringer med installering og brug af henholdsvis et kildesamlende og et kildesortende vakuumtoilet på to enkeltejendomme i Nysted Kommune samt at undersøge muligheden for at medbehandle det opsamlede "sorte" spildevand på biogasanlægget i Kettinge.

Et andet formål er at undersøge og vurdere det opsamlede materiales egnethed til behandling i et vådkomposterings- eller biogasanlæg.

Projektet har desuden til formål at indsamle erfaringer med driften af større vakuumtoiletsystemer. I den forbindelse ønskes det opsamlede materiales egnethed til behandling i biogas- og vådkomposteringsanlæg belyst.

Til sammenligning skal der indsamles erfaringer fra vore nabolande med etablering og/eller drift af vakuumtoiletsystemer og biogas- og vådkomposteringsanlæg, som behandler "sort" spildevand.

Alt i alt skal projektet bidrage til at afklare muligheder for og perspektiver i at recirkulere næringsstoffer og organisk materiale i humane restprodukter til landbrugsproduktionen.

## 1.3 Definitioner

**Husspildevand** er spildevand fra husholdninger, herunder afløb fra vandklosetter (jf. § 4, stk. 2, i bekendtgørelse nr. 501 af 21. juni 1999 om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4).

Ved **humane restprodukter** forstås fækalier og urin (jf. bekendtgørelsens § 4, stk. 4).

Det er almindelig praksis at skelne mellem "sort" og "gråt" spildevand

**"Sort" spildevand** er spildevand fra toiletter, dvs. urin, fækalier samt skyllevand.

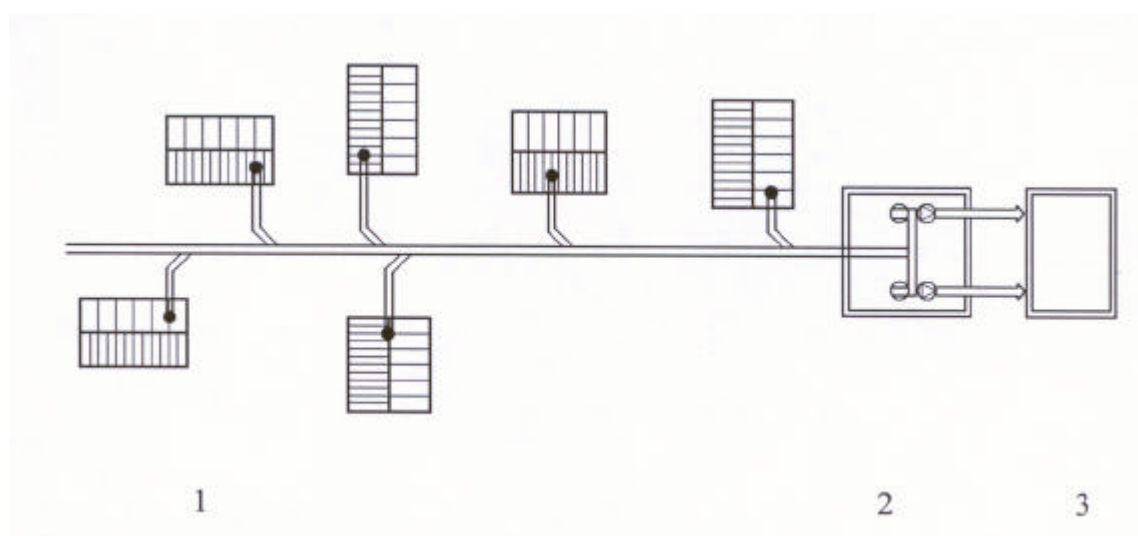
**"Gråt" spildevand** er husspildevand uden det "sorte" spildevand, dvs. spildevand fra køkken, bad, vaskemaskine med videre.

**Vakuumtoiletsystemer** er toiletsystemer, hvor transporten af det opsamlede materiale sker ved hjælp af vakuum, og hvor vakuomet er ført helt frem til toilettet. Der kan enten være tale om et permanent vakuum i systemet, eller at vakuum kun etableres i forbindelse med benyttelse af toilettet (jf. figur 1.2 og 4.3).

**VakufLOWanlæg** er toiletsystemer, hvor spildevandet ved gravitation ledes fra toiletterne til en indtagsenhed, en brønd, hvori der er placeret en vakuumentil. Herfra transporteres materialet videre ved hjælp af vakuum.

**Bioafgasning/udrødning** er en anaerob mikrobiel omsætning/udrødning af organisk materiale. Organisk materiale reduceres med 30-80% under bioafgasning under dannelse af biogas (methan).

**Vådkompostering** er en termofil biologisk behandlingsproces, som foregår under tilførsel af ilt. Her udnyttes energindholdet i et biologisk restprodukt til at danne en høj temperatur i en reaktor, og herved fremmes omsætningen af det organiske stof til bl.a. CO<sub>2</sub> og vand.



Figur 1.2 vakuumtoiletsystem med permanent vakuum, som er ført helt frem til toilettet.

1. Toiletter med vakuumentil i de enkelte huse.
2. Vakuumstation med vakuumpumper og spildevandspumper.
3. Opsamlingstank. Spildevandet kan alternativt pumpes videre til et andet renseanlæg.

#### 1.4 Vakuumteknologi i historisk perspektiv

Allerede i 1860'erne blev der bygget pneumatisk (trykluft) drevne spildevandssystemer under ledelse af den hollandske ingeniør Liernur (1828–1893). Det første system blev etableret i den hollandske by Harlem i 1866, samme år som systemet blev patentansøgt i England og Holland. Et af de tekniske problemer, der gav systemet problemer i konkurrencen med andre systemer, var utætheder (Grünert 1999).

I 1956 anmeldte den svenske ingeniør Joel Liljendahl et patent til opsamling og transport af spildevand fra toiletter ved hjælp af vakuum. Der figurerer her for første gang et vakuumtoilet, der kun skyllede med 1,5 l pr. skyl. Til transporten igennem vakuumentilen og ud i rørsystemet skulle der bruges ca. 50 l luft. I 1968 erhvervede Elektrolux AB rettighederne og videreudviklede teknikken. De kildesamlende vakuumtoiletter, der blev installeret i Storstrøms Amt i 1970'erne (se kapitel 8.2.2), samt de toiletter, der i samme periode blev installeret i Bälinge i Sverige (se kapitel 9.1) er af mærket Elek-



trolux. I 1985 solgte Elektrolux vakuumafdelingen til Ifö Sanitär AB, som markedsførte teknikken via firmaet EVAC (Grünert 1999). De kildesamlende vakuum-toiletter, der er installeret på Tegelviken skole i Sverige i 1998 og ved modernisering af et socialt boligbyggeri i 1997-98 i Hannover i Tyskland er af mærket EVAC. De er omtalt i kapitel 9.2 og 9.3. Det samme er de toiletter i systemerne i Storstrøms Amt, der bliver sat op ved udskiftning af gamle Elektrolux-toiletter. Der er i dag mange firmaer ud over EVAC, der tilbyder vakuumteknologi og kildesamlende vakuumtoiletter, bl.a. det norske firma Jets og det amerikanske SeaLand.

I 1995-1996 begyndte firmaet WM-Ekologen AB i Stockholm (nu Wost Man Ecology AB) at lave nogle enkelte kildesortende toiletter med vakuum til fækaliestrømmen. De tog udgangspunkt i et kildesortende porcelænskloset ES uden vandskyl til fækalier og med 1-2 dl skyl til urin. De byggede det om til et toilet med vakuum til fækalier og beholdt det lille skyl med gravitation til urinstrømmen. Toiletet blev kaldt Ecovac. Toiletet arbejder med en vakuummotor, der kun laver et vakuum, når toiletet benyttes. Motoren arbejder typisk nogle få sekunder ad gangen. Ecovac-toiletet er primært produceret i en udgave uden vakuumentil, Ecovac 1, men også i nogle udgaver med vakuumentil, Ecovac 2 (Backlund 2002). Det kildesortende vakuumtoilet Clevervac og det kildesamlende Clearvac, der er afprøvet i Storstrøms Amt, er begge senere produceret af Wost Man Ecology AB efter samme teknik som i Ecovac 1 uden afløbsventil.

## 1.5 Afgrænsning

I undersøgelserne er hovedvægten lagt på at undersøge systemernes installationsvenlighed, funktionsdygtighed samt driftsstabilitet med vægten på de nye installationer på 2 ejendomme i Nysted Kommune.

Undersøgelsen og vurderingen af det opsamlede materiales egnethed til behandling i et vådkomposterings- eller biogasanlæg foretages dels ud fra teoretiske beregninger af indholdet af tørstof, organisk materiale og kvælstof, dels ud fra målinger på materiale, som opsamles i vakuumsystemer i 2 sommerhusområder i Rudbjerg Kommune. Toiletterne her er kildesamlende.

Indholdet af tungmetaller, miljøfremmede stoffer og mikroorganismer i de humane restprodukter er ikke undersøgt i dette projekt. Det er tidligere behandlet i rapportererne "Opsamling, opbevaring og udnyttelse af urin fra Museumsgården på Møn" (Holtze & Backlund 2002 A) og "Kompostering og efterkompostering af humane restprodukter indeholdt i afvandet "sort" spildevand" (Holtze & Backlund 2002 B).

På grund af driftsproblemer har det ikke været muligt at udtage repræsentative prøver af det opsamlede spildevand på de 2 enkeltejendomme med nye installationer. Det kildesortende vakuumtoilet på den ene ejendom er blevet udskiftet med et toilet uden vakuum i projektperioden. På den anden ejendom har der været problemer med utilsigtet tilledning af overfladevand til den tank, som tilledes materiale fra det kildesamlende toilet.

Omkostninger ved etablering og drift af vakuumtoiletter, herunder bortskaffelse af det opsamlede materiale, belyses ud fra erfaringerne fra Nysted. Der foretages ikke teoretiske beregninger af rentabiliteten ved at etablere sådanne toiletsystemer på et større antal ejendomme i kombination med behandling af materialet i et biogas- eller vådkomposteringsanlæg, da økonomien vil afhænge af de konkrete lokale forhold.

## 1.6 Projektforløb

I slutningen af 1998 blev der bevilget midler til projektet fra Miljøstyrelsens "Aktionsplan for økologisk byfornyelse og spildevandsrensning". På det tidspunkt var der ikke fundet samarbejdspartnere blandt kommunerne eller husejerne i amtet. Der var heller ikke fundet egnede steder til at etablere spildevandssystemer omfattende vakuumtoiletter. I løbet af 1999 undersøgte flere forskellige muligheder for etablering af vakuum-toiletsystemer, både i privat og offentligt regi. I foråret 2000 blev der indgået aftaler med ejere af 2 ejendomme (1-familieshuse) i Nysted Kommune. For at mindske investeringsomkostningerne valgtes ejendomme med eksisterende samletank for det "sorte" spildevand. Der blev installeret henholdsvis et kildesamlende og et kildesortende toilet på de 2 ejendomme.

Installationsarbejdet blev udført på de to ejendomme i henholdsvis juni og september 2000. Der blev fejlagtigt leveret toiletter, hvor vandskyllet aktiveres ved hjælp af en fodpedal og en vakuumentil. Ventiler er ikke nødvendige i installationer med kun et toilet. Toiletterne benyttedes alligevel, men måtte udskiftes på grund af driftsproblemer. I oktober 2000 installeredes toiletter uden vakuumentiler. Da der stadig var driftsproblemer med vakuumsystemet på ejendommen med det kildesortende vakuumtoilet, blev det i april 2001 udskiftet til et kildesortende DS-toilet, hvor urin og fækalier transporteres til lagertankene ved gravitation.

Biogasanlægget i Kettinge blev i august 2000 spurgt, om de opsamlede humane restprodukter kan medbehandles på anlægget. Det kan ikke lade sig gøre på grund af de kontraktlige forpligtelser, som landmændene har over for Danisco med hensyn til udspreddning af biogasanlæggets restprodukter. Derfor må materialet indtil videre bortskaffes til det kommunale renseanlæg.

Der blev indsamlet erfaringer med installationerne gennem 2001. Erfaringer med vakuumtoiletsystemer i Sverige og Tyskland og medbehandling af humane restprodukter i et vådkomposteringsanlæg i Sverige blev løbende fulgt i projektperioden.

## 1.7 Spildevandsrelevante forhold på lokaliteterne

Begge ejendomme ligger uden for Nysted Kommunes kloakerede og planlagt kloakerede områder. På begge ejendomme var der i forvejen samletanke til det "sorte" spildevand. Det "grå" spildevand (husspildevand uden det "sorte" spildevand) nedsi- ves/afledes til recipient. Der er i begge tilfælde tale om enfamilieshuse med en husstand på 2 personer.

### ***Ejendom med kildesamlende vakuumtoilet***

På ejendommen i Strandby valgtes et kildesamlende vakuumtoilet, da de eksisterende afløbsforhold gjorde det vanskeligt at etablere et dobbeltstrenget afløbssystem.

Husstanden består af 2 personer med relativ høj hjemmefrekvens, idet den ene er hjemmearbejdende. Familien er meget ressourcebevidst og havde allerede inden projektets start et lavt vandforbrug på 40 m<sup>3</sup>/år. Derudover bruges ca. 3 liter "kildevand" pr. døgn i husstanden, det vil sige ca. 1 m<sup>3</sup>/år.

### ***Ejendom med kildesortende vakuumtoilet***

På ejendommen i Bregninge gjorde de eksisterende afløbsforhold det muligt at vælge et kildesortende vakuum-toilet. Den eksisterende samletank kunne ikke bruges til opsamling af fækalier, men kun til urin. Derfor blev der etableret en ny tank til opsamling af fækalierne.

Husstanden består af 2 personer med relativ høj hjemmefrekvens, idet kun den ene er udearbejdende. Der er hyppigt flere personer i huset, blandt andre ofte børnebørn i alle aldre. Denne familie er også meget ressourcebevidst og havde inden projektets start et årligt vandforbrug på 80 m<sup>3</sup>.

## 2 Undersøgellesprogram

I dette kapitel beskrives projektets undersøgelsesprogram. Det omfatter indsamling af erfaringer med installation og drift af de to spildevandsystemer samt en undersøgelse og vurdering af det opsamlede materiales egnethed til behandling i et vådkomposterings- eller biogasanlæg.

### 2.1 Erfaringer fra installation og drift af toiletsystemerne på enkel tejdomme

#### ***Det kildesortende toiletsystem***

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

- kildesortende "Clevervac" toilet
- elektronisk styringsenhed
- rørinstallationer
- sluseventil
- samletanke
- vakuummotor
- filter

#### ***Det kildesamlende toiletsystem***

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

- kildesamlende "Clearvac" toilet
- elektronisk styringsenhed
- rørinstallationer
- sluseventil
- samletank
- vakuummotor
- filter

### 2.2 Erfaringer fra eksisterende vakuumtoiletsystemer i Storstrøms Amt

Der er taget udgangspunkt i rapporten "Spildevandstransportsystemer" udgivet af Storstrøms Amt (1997), hvori de eksisterende vakuumtoiletsystemer i amtet er beskrevet kort. Oplysningerne er suppleret med samtaler med medarbejdere i kommunerne og med oplysninger fra de årlige driftsrapporter, som kommunerne sender til amtet om driften af de kommunale renseanlæg.

Der er udtaget en enkelt prøve af tilløbene til 2 renseanlæg, som udelukkende modtager "sort" spildevand fra 2 sommerhusområder i Rudbjerg Kommune. Sommerhusene er forsynet med kildesamlende toiletter med et vandskyl på ca. 1 l, og spildevandet transporteres ved hjælp af vakuum. Prøverne kan derfor bruges til at give en karakteristik af

potentiallet i "sort" spildevand (humane restprodukter + skyllevand) opsamlet i kilde-samlende systemer for behandling i et biogas- eller vådkomposteringsanlæg. Prøverne er analyseret for indhold af tørstof, organisk stof og næringsstofferne kvælstof (N), fosfor (P) og kalium (K). Prøverne er udtaget af driftspersonalet ved renseanlæggene og analyseret af ROVESTA Miljø I/S, Næstved. Der er benyttet følgende analysemetoder.

Tabel 2.1 Anvendte parametre og analysemetoder i analyse udført på prøver af tilløb til renseanlæggene i Kramnitze og Hummingen i Rudbjerg Kommune.

Parameter	Enhed	Analysemetode
Tørstof (inddampningsrest)	mg/l	DS 204
Glødetab	% af tørstof	DS 204
NVOC (ikke flygtigt organisk kulstof)	mg/l	SM 16 ed. 505 ed.
Total kvælstof (N)	mg N /l	DS 221 +FIA
Total fosfor (P)	mg P /l	DS 292
Kalium (K)	mg/l	DS/EN ISO 11885 mod.

Der er desuden indhentet oplysninger hos driftspersonalet om det årlige elforbrug til vakuumsystemet og det årlige spildevandsflow gennem systemet.

### 2.3 Vakuumteknologi, vådkomposterings- og biogasanlæg

Der gøres rede for vakuumteknologien samt for biogas- og vådkomposterings-teknologierne ud fra litteraturstudier. Der er indhentet oplysninger om anlæggenes udbredelse og indsamlet erfaringer med driften af vakuumtoiletsystemer og vådkomposteringsanlæg i Sverige og Hannover i Tyskland og fra et vådkomposteringsanlæg i Norge. Biogasteknologien, der er velkendt i Danmark, beskrives kort med anlægget i Nysted Kommune som eksempel.

### 3 Urin og fækalier

Til vurdering af varmpotentiale, biogaspotentiale og næringsstofpotentiale i opsamlet materiale fra vakuumtoiletter vil det bl.a. være nødvendigt at have kendskab til udgangsværdier for volumener og koncentrationer i human urin og humane fækalier, dvs. indholdet af tørstof, organisk stof, kvælstof, fosfor og kalium. Disse værdier er i kombination med fastsættelse af skyllevandsmængder og skyllefrekvenser vigtige ved såvel teoretiske beregninger af forventede koncentrationer som ved vurdering af praktisk opsamlede volumener og koncentrationer.

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**

Selvom urin og fækalier normalt kun udgør ca. 1–1,5 procent af husspildevandet, leverer de tilsammen 91% af udledningen af N, 83% af P og 60% af K. Dette er udgangspunktet for den mulige opsamling af N, P og K i husspildevandet via toiletter. Urin alene står for ca. 80% af N, 55% af P og 44% af K i husspildevandet (Sundberg 1995, Vinnerås 2001).

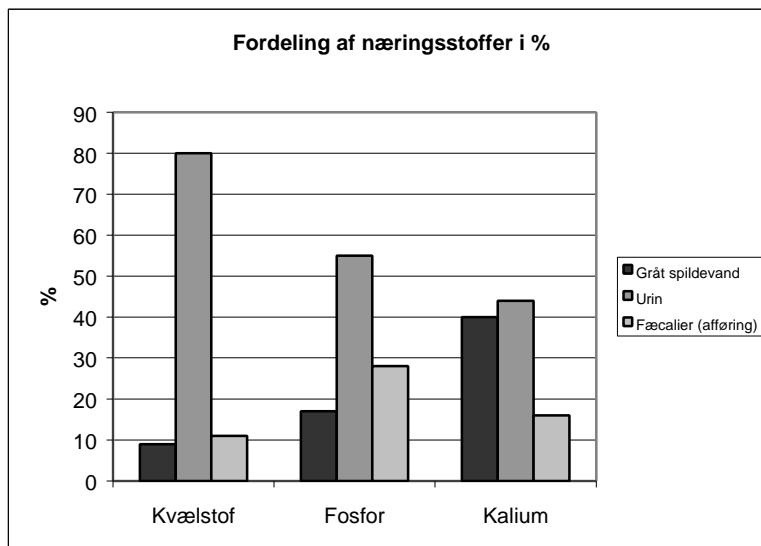
Fordelingen af næringsstoffer i husspildevandet fordelt på urin, fækalier og gråt spildevand fremgår af tabel 3.1. og figur 3.1.

Koncentrationerne af næringsstoffer i sort spildevand afhænger bl.a. af udgangsvolumener og af koncentrationer af indholdsstoffer i urin og fækalier samt af skyllevandsmængder.

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: Vinnerås 2001.



Figur 3.1 Fordeling af næringsstoffer i spildevandsstrømmene.

Kilde: Vinnerås 2001.

Standardtal for masse, tørstof og indhold af næringsstoffer er samlet i tabel 3.2. Standardmængder for urinproduktion angives som 365–550 kg pr. person og år alt efter kilde. Variationen i standardmængder for fækalieproduktionen 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).

Tabel 3.2 Masse, tørstof og næringsstoffer pr. person og år samt koncentrationer i urin og fækalier.

Stof	Enhed	Urin (1)	Urin (2)	Fækalier (2)	Fækalier (3)	Fækalier (4)
Masse (MS)	kg/år	365	550	33	75	109,5
Tørstof (TS)	kg/år	21,9	21,9	10,8	13	16,4
Tørstof (TS)	%	6,0	4,0	32,7	17,3	15,0
<b>Næringsstoffer</b>						
Kvælstof (N)	g/år	4.015	4.015	548	370	730
Kvælstof (N)	g/kg MS	11,0	7,3	13,7	4,9	6,7
Fosfor (P)	g/år	365	365	183	180	219
Fosfor (P)	g/kg MS	1,0	0,7	5,6	2,4	2,0
Kalium (K)	g/år	913	1.100	400	370	219
Kalium (K)	g/kg MS	2,5	2	12,1	4,9	2,0

Kilde: Sundberg 1995 (1), Vinnerås 2001 (2), Vrisberg et al. 2001 (3), Del Porto 2000 (4).

Det fremgår tydeligt, at der fås meget forskellige udgangsmængder og udgangskoncentrationer afhængigt af, hvilke standardværdier der tages udgangspunkt i. Forskellene på indhold i urin i tabel 3.2 er, bortset fra koncentration af kalium, bestemt af forskellige standardværdier for urinproduktion. Standardværdierne for indhold i fækalier varierer meget mere og er dels bestemt af store variationer i standard for fækalieproduktion, men også i standard for indhold. Størst er forskellen for kalium med koncentrationer på 2,0, 4,9 og 12,1 g/kg MS afhængigt af kilden. Standardtallene kan generelt være forbundet med betydelige usikkerheder, da der er foretaget et begrænset antal målinger på et begrænset antal personer. Der vil i det følgende blive taget udgangspunkt i standardtallene (1) for human urin og standardtallene (3) for humane fækalier.

I de teoretiske udregninger af stofkoncentrationerne i "sort" spildevand (se kapitel 11) tages der også udgangspunkt i disse standardtal, som suppleres med angivelser hos Del Porto et al (2000). Der anvendes følgende værdier pr.døgn pr. person: 200 g fækaler med 35 g TS/32 g VS og 1,5 l urin med 60 g TS/45 g VS (VS = indholdet af organisk materiale målt som glødetab af TS (tørstof)). Andelen VS af TS for såvel fækalier som urin er baseret på Del Porto et al. (2000). Fækalier sættes til 200 g (0,2 l) /p/d og 35 g TS, 32 g VS, 1,5 g N, 0,5 g P og 0,6 g K pr person og dag for ikke at undervurdere volumen og overvurdere koncentrationerne. Urin sættes til 1,5 l/p/d og 60 g TS, 45 g VS, 11 g N, 1 g P og 1,5 g K pr. person og dag, ligeledes for ikke at undervurdere volumen og overvurdere koncentrationerne.

### **Tørstof- og næringsstofkoncentrationer i svine- og kvæggylle**

Da de fleste biogasanlæg primært behandler gylle, sammenlignes koncentrationerne i de humane restprodukter med koncentrationerne i gyllen.

Tabel 3.3 Tørstof- og næringsstofkoncentrationer i svine- og kvæggylle.

Stof	Enhed	Svinegylle	Kvæggylle
Tørstof	%	7	12
Kvælstof	g/kg MS	9,1	7,4
Fosfor	g/kg MS	1,8	0,9
Kalium	g/kg MS	3,3	6,2

Kilde: Eilersen et al. 1998.

Det fremgår tydeligt ved sammenligning med tabel 3.2, at selv begrænsede vandskyl, ved opsamling af humane restprodukter fra vandskylende vakuumtoiletter i samletanke vil kunne resultere i væsentligt lavere koncentrationer end i den behandlede gylle.

### **Tungmetaller, miljøfremmede stoffer og mikroorganismer i urin og fækalier**

Indholdet af disse stoffer i urin og fækalier behandles ikke i denne rapport, men er tidligere behandlet i rapporterne "Opsamling, opbevaring og udnyttelse af urin fra Museumsgården på Møn" (Holtze & Backlund 2002 A) og "Kompostering og efterkompostering af humane restprodukter indeholdt i afvandet "sort" spildevand" (Holtze & Backlund 2002 B).

### **Toiletpapir**

Mængder af anvendt toiletpapir har betydning for såvel mængder som koncentrationer af tørstof, organisk stof og næringsstoffer i det materiale, som opsamles med henblik på tilførsel til vådkompostering eller bioafgasning.

Det har ikke været muligt at finde undersøgelser af papirforbrug i forbindelse med toiletbesøg. Ved en skylletest hos SPI (Statens Provningsinstitut) i Borås i Sverige blev der brugt 7 g papir pr. toiletbesøg ved aflevering af fækalier (Backlund 2002). Norin (Norin 1996 A) sætter det årlige totalforbrug af toiletpapir, der tilføres toiletter, til 4 kg/pe/år svarende til 11 g/pe/d. Vinnerås (Vinnerås 2001) anvender et tal på 7 kg/pe/år svarende til 19 g/pe/d og angiver et svensk normtal for brug af toiletpapir til 8,5 kg/pe/d svarende til 23 g/pe/d.

Papirmængderne, der tilføres toilettet ved toiletbesøg, har betydning for mængderne af tørstof og organisk materiale, der opsamles. I kildesortering vakuumpoiletter har det desuden betydning for samtlige koncentrationer, om papir anvendt ved toiletbesøg,



hvor der kun urineres, skylles ud med det fækale skyl i stedet for at blive anbragt i en sanitetsspand.

# 4 Vakuumteknologi

Vakuum betyder luftfortyndet, f.eks. tilnærmelsesvis lufttomt. I en beholder eller i et rør, hvor der er vakuum, er der et lavere tryk end i omgivelserne. Alt efter størrelsen af undertrykket skal den afgrænsende beholder være trykstabil for ikke at blive trykket ind. Undertrykket kan være permanent eller etableres fra gang til gang i forbindelse med den ønskede aktivitet.

Vakuumtoiletteknologien baserer sig på naturloven om en naturlig trykudligning imellem to rum med forskellige tryk.

## 4.1 Vakuumtoiletsystemer

Vigtige systemkomponenter i et vakuumtoiletsystem er:

- Vakuumtoilet
- Vakuumrørsystem
- Vakuumtank/tank
- Vakuumpumpe

Vakuumtoiletsystemerne kan være karakteriseret af et permanent undertryk eller af, at det ønskede aktivitetsbestemte undertryk etableres fra gang til gang.

I et stort system med mange tilkoblede toiletter, hyppige skyl og betydelige løft af spildevandet vil der typisk blive etableret kraftigt permanent undertryk. Mange toiletter på en skole eller i en række husstande kan være koblet sammen i et system med vakuumtoiletter med vakuumventiler (figur 1.2). En eller flere vakuumpumper sørger for, at der konstant er et kraftigt undertryk i en eller flere centralt placerede vakuumtanke samt i rørsystemet. Ved "skyl" af et tilsluttet vakuumtoilet åbnes vakuumventilen i toiletet, og toiletindholdet suges med høj hastighed til vakuumtanken. Materialet kan efterfølgende pumpes videre med en eller flere spildevandspumper (Backlund 2002). I kapitlerne 8 og 9 beskrives kort nogle store systemer med kildesamlende vakuumtoiletter i Sverige, Tyskland og Storstrøms Amt.

I små systemer med få toiletter, et begrænset antal skyl og et begrænset løft af spildevandet er det muligt at operere med et mindre undertryk, der etableres fra gang til gang. De to vakuumsystemer, der er etableret i projektet, er systemer med et enkelt vakuumtoilet uden vakuumventil (figur 4.3).

## 4.2 Vakuumtoiletter

Vakuumtoiletter kan bl.a. inddeles efter, hvilke strømme eller delstrømme der går igennem toiletet. Ved separat transport af delstrømme kan der også inddeles efter, hvilke af strømmene der "skylles" og transporteres ved hjælp af vakuum.

#### 4.2.1 Kildesamlende vakuumtoiletter

De første vakuumtoiletter var kildesamlende, og stort set alle etablerede vakuumtoiletter er stadig kildesamlende. Det kildesamlende toilet samler de humane delstrømme, urin og fækalier med vand og papir. Der skylles i et etstrenget system.



Figur 4.1 Kildesamlende Vakuumtoilet fra et lejlighedskompleks i Hannover. Bebyggelsen indgår i "Öko-Technik-parken" i byen.

#### ***Kildesamlende vakuumtoiletter med permanent kraftigt vakuum***

To af de mest kendte producenter af kildesamlende vakuumtoiletter i Europa er firmaerne "Jets" fra Norge og "EVAC" med hovedsæde i Finland. I USA producerer "Sea Land" vakuumtoiletter. Toiletterne er udbredt anvendt i tog, fly og på skibe til at løfte spildevandet og minimere spildevandsmængden.

Vakuumtoiletssystemerne anvendes også i bebyggelser ved manglende højdeforskelle i terrænet og ved høj grundvandsstand. Toiletterne er bl.a. blevet anvendt i sommerhusbebyggelser. Sådanne bebyggelser er der flere af i Storstrøms Amt.

Vakuumtoiletterne bruges også på offentlige toiletter til opsamling af spildevandet fra toiletterne og eventuelt også fra håndvaske. Spildevandet opsamles i lukkede tanke med henblik på transport til behandling på et renseanlæg. På grund af det beskedne vandforbrug til håndvask er vakuumtoiletlets begrænsede vandforbrug af stor interesse.

På de tyske motorveje er der flere anlæg med vakuumtoiletter. Vakuumtoiletterne er blevet brugt nogle få steder på institutioner af forskellige årsager. På klinikker, hvor man f.eks. arbejder med kræftbehandling med skrappe midler, er det en stor fordel at

opsamle denne delstrøm separat og så koncentreret som muligt af hensyn til den videre behandling. I kapitel 9.2 omtales en projekt med vakuumtoiletter på en skole i Sverige med henblik på koncentreret opsamling af indholdsstoffer i humane restprodukter til behandling på et vådkomposteringsanlæg. I kapitel 9.3 og i Backlund (2002) omtales nogle installationer med kildesamlende vakuumtoiletter etableret i Tyskland med henblik på koncentreret opsamling af toiletindhold til videre behandling i biogasanlæg.

#### ***Kildesamlende vakuumtoiletter med temporært og lavere undertryk***

Vakuumtoiletter til et enkelt toilet eller et par stykker er dyrt og kompliceret med et system med stort undertryk og permanent vakuum.

"Wost Man Ecology AB" ("WM-Ekologen AB") i Stockholm har derfor lavet et koncept med et vakuumtoilet med lavt undertryk genereret af en motor på 1.400 W, der kun laver og holder undertrykket ved "skyl" af toilettet. Trykket bygges op i røret, og materialet når en opsamlingsbeholder via en slusemekanisme (figur 4.2 og 4.3). Systemet beskrives nærmere i kapitel 5.



Figur 4.2 Kildesortierende Vakuumtoilet fra "Öko-Technik-parken" i byen, hvor et enkelt toilet er opsat i demonstrationsøjemed.

#### 4.2.2 Kildesorterende vakuumtoiletter

Et kildesorterende hybridtoilet med vakuums skyl af fækalier, vand og papir kombineret med et gravitationssystem til urin og vand er blevet markedsført siden midten af 1990'erne. Toiletet produceres af "Wost Man Ecology AB" ("WM-Ekologen AB") og skriver sig ind i en udvikling af kildesorterende toiletter i øvrigt.

Kildesorterende toiletter er på ingen måde en ny konstruktion, men i 1990'erne er der i Sverige blevet produceret kildesorterende alternativer til såvel komposttoiletet, det konventionelle vandskylende toilet og senest vakuumtoiletet.

#### ***Flere kildesorterende toiletter koblet i ét system***

Der er etableret nogle systemer med mere end et toilet. Toiletterne er her udstyret med vakuumventiler, der åbnes og lukkes via en fodpedal (se figur 4.2). Et toilet med vakuumventil er testet koblet på et stort system i Hannover. Fortsat udvikling af den anvendte ventilteknologi er nødvendig for at sikre en driftsstabil løsning af åbne-/lukke-mekanismen (Backlund 2002).

#### 4.2.3 Vandforbrug

Vandforbruget ved brug af vakuumtoiletter er bestemt af skyllemængde pr. skyl og skyllefrekvens. Skyllemængden pr. skyl kan være bestemt af skylledysen eller af vand-spejlet i toiletet. Etableringen af vandspejlet kan være tids- eller niveaustyret. For konventionelle kildesamlende vakuumtoiletter angives typisk skyllemængder fra 1–1,5 l. "Wost Man Ecology AB" angiver et skyl på 0,5–0,8 l. Urinskylling er 0,1–0,2 l i de kildesorterende toiletter.

Skyllefrekvensen afhænger af antal personer i husstanden, deres hjemmefrekvens og af en række personlige forhold.

Tal for vandforbrug til skyl af vakuumtoiletter i husstande, der ikke har været specielt motiveret til at begrænse vandforbruget til toiletskyl, kan ses i kapitel 9.3. I et socialt boligbyggeri i Hannover i Tyskland med 32 vakuumtoiletter målt i perioden 1998–2000 et vandforbrug på ca. 8,5 l/pe/d og en skyllefrekvens på ca. syv gange pr. dag og person ved et skønnet vandskyl på 1,2 l/skyl. I 600 husstande i Bålinge i Sverige med vakuumtoiletter i et vakuumsystem vurderes vandforbruget til ca. 12 l/pe/d. Skyllefrekvens var ca. 8 gange/pe/dag ved et skønnet vandskyl på 1,5 l/skyl (se kapitel 9.1). Tallene er udregnet på basis af faste brugere eller anslået antal PE og tager ikke hensyn til antal gæster m.m.

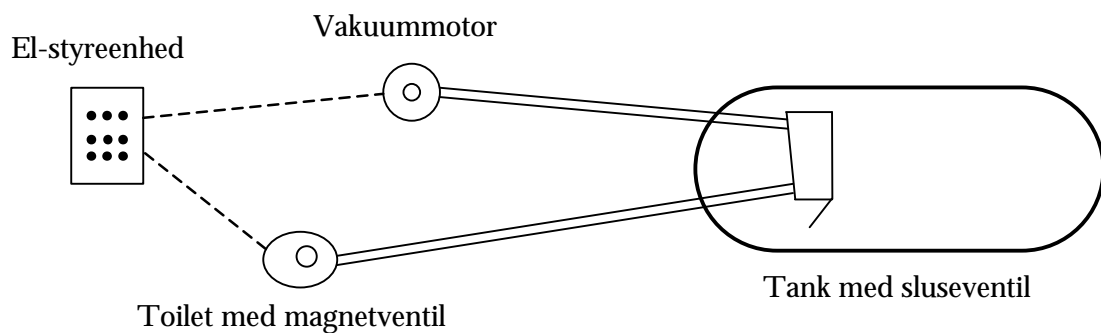
Standardværdi for frekvens af vandskyl af konventionelle toiletter er 5–6 gange pr. dag og person ifølge Sundberg (1995). Jönsson et al. (2000) og Vinnerås angiver som gennemsnit hjemmefrekvenser på 15–16 timer pr. person pr. dag, hvor Wrisberg et al. (2001) opererer med 13 timer.

#### 4.2.4 El-forbrug

Elforbruget er bestemt af det samlede vakuumtoiletsystem. Forbruget i vakuumtoiletsystemet i Hannover var i 2000 ca. 20 kWh/pe/år (se kapitel 9.3). Systemer med midlertidigt og svagere vakuum til et enkelt toilet vil have et meget lavere strømforbrug og endnu lavere, hvis det drejer sig om et kildesorterende vakuumtoilet (se kapitel 7).

#### 4.2.5 Lydniveauer

Lydniveauer er målt i lejlighederne i ejendommen med vakuumtoiletsystem i Hannover. Niveauerne i lejlighederne var på 35–60 dB(A), højest i entreerne og lavest i stuerne. Lyden fra vakuummotorerne i kælderen er ikke målt, men var meget høj (se kapitel 9.1).



Figur 4.3 Principskitse af et vakuumtoiletsystem, hvor der kun etableres vakuum i forbindelse med benyttelse af toilettet.



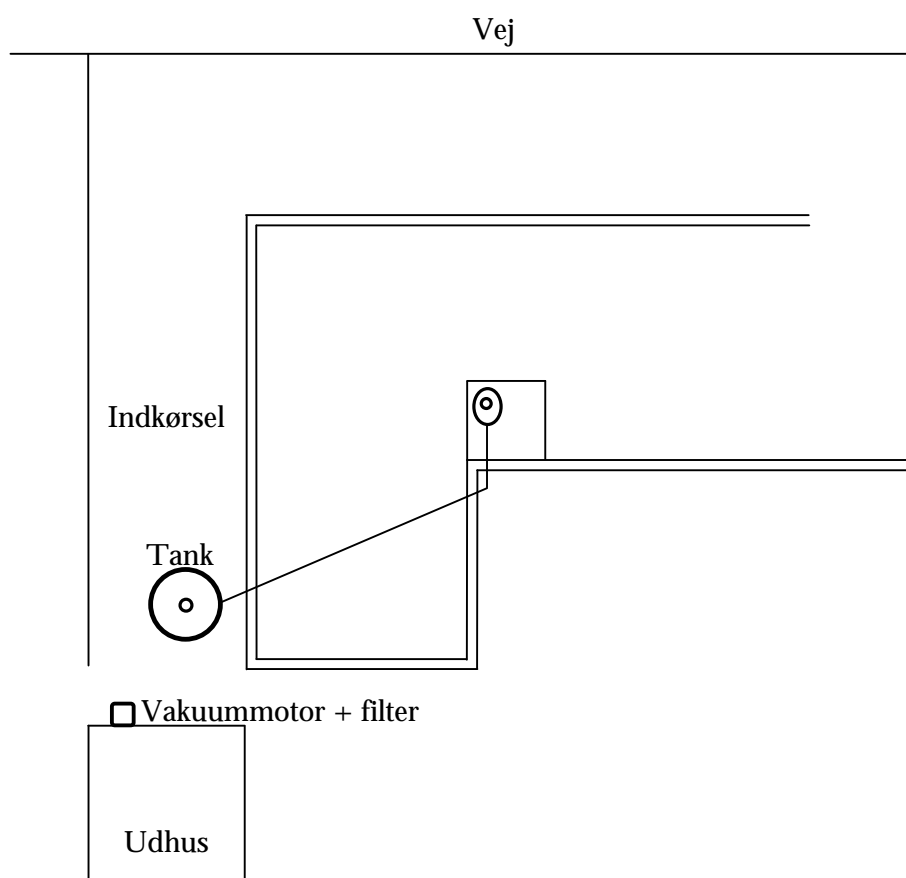
## 5 Beskrivelse af de afprøvede systemer

I dette kapitel beskrives de vakuumtoiletsystemer, som er installeret i Strandby og Bregninge i Nysted Kommune, og som undersøges i projektet.

Kommunen har ikke oplysninger om afløbsforholdene på ejendommene, ud over at der på hver er en samletank af ukendt størrelse. Valget af system og dermed af komponenter er foretaget på baggrund af en besigtigelse af forholdene sammen med entreprenøren.

### 5.1 Det kildesamlende vakuumtoiletsystem i Strandby

Afstanden mellem toilettet og samletanken på ejendommen i Strandby og afløbsforholdene i øvrigt har resulteret i, at der her er valgt et kildesamlende system. Toilettet er i ejendommen placeret ud mod haven, mens samletanken ligger i indkørslen på den modsatte side af huset. Afstanden mellem toilettet og samletanken er ca. 15 m. En principskitse over toilet- og afløbssystem er vist i figur 5.1. Toiletstolen er placeret på væggen modsat ydervæggen i toiletrummet. Det vil sige, at afløbet fra toilettet ligger både under toiletgulvet og går under husets sidebygning. Det er hensigtsmæssigt at trække det nye afløbsrør gennem det eksisterende afløbssystem, men ikke muligt at trække 2 igennem som nødvendigt i et kildesorterende system.



Figur 5.1 Principskitse over det kildesamlende vakuumtoiletsystem i Strandby.



### ***Kildesamlende vakuumtoilet***

Det kildesamlende vakuumtoilet er gulvstående. Det støtter på gulvet, men skal boltes til bagvæggen. Toiletkummen er udformet i porcelæn, men kummen er omsluttet af glasfiberarmeret plast. Toilettet er ikke udstyret med vakuumventil. Vakuumventil og f.eks. fodpedal til aktivering af ventilen er kun nødvendig, hvis flere toiletter skal kunne kobles på samme vakuumsystem. I en sådan installation ville vakuumventilerne sikre, at der ved skyl af et toilet ikke samtidig blev skyllet vand ud af andre tilknyttede toiletter. I toilettet i Strandby uden vakuumventil står vandet, der udgør vandspejlet i toiletkummen, i en bøjning inden afløbet. Afløbet er Ø 50 mm. Betjening af toilettet sker ved hjælp af tryk på en knap. Vandtilførselen, der kan justeres til 0,5–1 l, sker via vandtryk og en monteret magnetventil, der aktiveres elektronisk. Ved tryk på knappen aktiveres en tidsstyret sekvens med aktivering af vakuummotor, udsugning af materiale og re-etablering af vandspejl.



Figur 5.2 Kildesamlende toilet i Strandby. (Se også figur 7.3).

### ***Samletank***

I Strandby benyttes en eksisterende samletank med et volumen på  $2\frac{1}{2}$  m<sup>3</sup>. Samletanken er en afløbsfri kugletank af glasfiber. Der er en betonkegle over tanken, som er ført til terræn. Dækslet på kugletanken fjernes af hensyn til monteringen af sluseventilen. Ved brug af en ny afløbsfri tank vil sluseventilen typisk blive monteret i tankhalsen. En ny

tank vil også blive dimensioneret efter forventet brug af toiletsystemet og ønsket tømningsfrekvens.

### **Rørsystem**

Toilettets afløb skal forbindes til 50 mm helsvejsede/helt tætte plastrør frem til en sluseventil. Rørlængden må maksimalt være 25 m. Rørene kan lægges uden fald. Hvis der er en stigning, skal denne være gradvis og begrænset, højst 50 cm på 1 m. Der må højst være 5 retningsændringer på max. 45 grader. En fleksibel slange forbinder sluseventilen med vakuummotoren. En returventil gør, at fugt suget op mod motoren kan løbe ned i tanken. Vakuummotoren kan endvidere være forbundet med yderligere en slange til den anvendte transportluft.

### **Sluseventil**

Rørsystemet er forbundet med en sluseventil udformet i metal. Sluseventilen er desuden forbundet med en slange til vakuummotoren (se princip i figur 5.5). Sluseventilen har en metalklap, der er således afbalanceret, at den åbne metalklap ved aktivering af motoren lukkes, så der etableres et vakuum. Ved det tidsstyrede vakuums ophør åbnes klappen igen, og fækali vand og papir falder ned i den beholder, sluseventilen er monteret i. I den seneste udgave af systemet er slusemekanismen bygget sammen med motoren og beregnet til samlet montering i en tankhals.

### **Vakuummotoren/pumpen**

Vakuummotoren/pumpen placeres på udhuvæggen (se figur 5.1) Vakuummotoren er på 1.400 W, indbygget i et hus af hård plast og opbygget med lameller, så den kan tåle fugt. Den arbejder ved aktivering i et forudindstillet antal sekunder bestemt af transportafstanden. Motorens arbejdstid sættes i relation til rørlængden. Vakuumpumpen indstilles til at arbejde 2-5 sekunder. Transporthastigheden er ca. 10 m/s. Det tager ca. et sekund at reetablere undertrykket. Hvis rørlængden er 20 m, skal vakuumgeneratoren arbejde i ca. 3 sekunder. Tiden indstilles på et potentiometer i styreelektronikken. Det er vigtigt at stille motorens arbejdstid rigtigt og at overholde afstandskriterierne. Motoren skal anbringes tørt i en højde af minimum 50 cm over jorden og med en horisontal afstand mellem motor og sluseventil på minimum tre meter. I den nyeste version af systemet fra 2001, hvor slusesystemet og vakuumpumpen er bygget sammen til placering i tankhalsen, er afstandskravene elimineret. Den nyeste motor er på 1.200 W.

### **Filter**

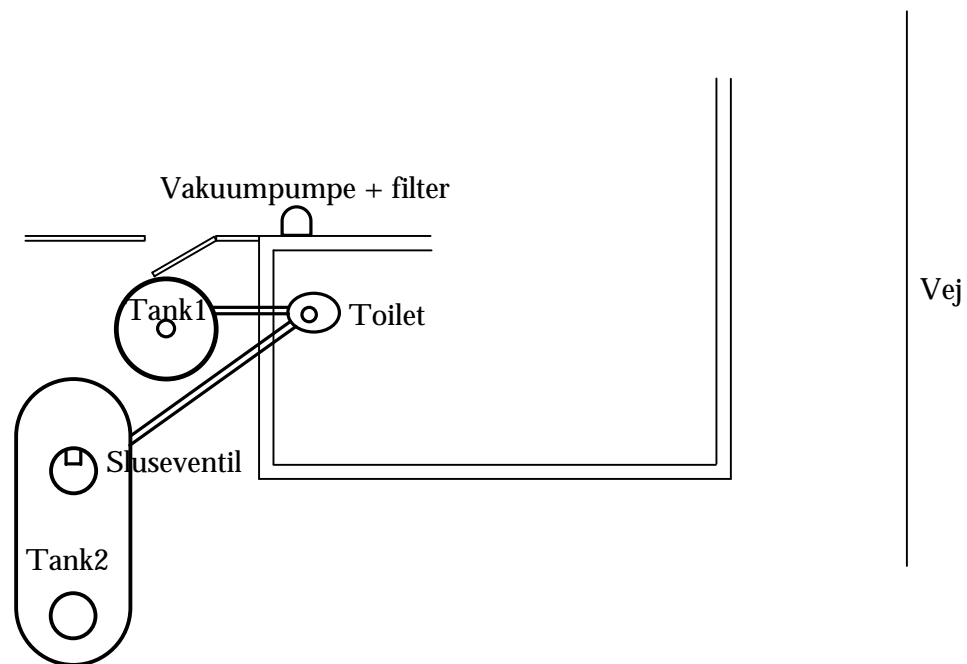
Mellem sluseventil og vakuummotor er der placeret et filterhus i hård plast indeholdende en vaskbar filterindsats bestående af lecakugler.

### **Elstyring**

El-styresystemet for skylleaktivitet består af en skylleknop forbundet med en styreenhed. Vakuummotorens arbejdstid og åbning af magnetventil for tilførsel af vand til reetablering af vandspejl i toilettet er tidsstyret via stilbare potentiometre.

## 5.2 Det kildesorterende vakuumtoiletsystem i Bregninge

I Bregninge gør placeringen af toilettet og af den eksisterende tank det forholdsvis let at etablere et kildesorterende vakuumtoiletsystem. Derfor vælges dette koncept på denne ejendom. Den eksisterende tank skal bruges til opsamling af urin, og der skal etableres en ny til opsamling af fækaliernes. En principskitse over installationerne er vist i figur 5.3.



Figur 5.3 Principskitse over installationerne i Bregninge.

### ***Det kildesorterende vakuumtoilet***

Det kildesorterende vakuumtoilet er gulvstående og som det kildesamlende udformet i en kombination af porcelæn og glasfiberarmeret plast. Forskellen er, at der her er tale om et hybridtoilet med kombination af vakuum og gravitation. Vakuumsystemet er som ved det kildesamlende toilet. Det kildesorterende toilet har dog også et urinsystem med særskilt vandskyl og afløb. Toilet-kummen er todelt med opsamling af urin i den forreste del (se figur 5.4) Afløbet er forbundet til en Ø 22 mm fleksibel plastslange, hvormed der etableres en vandlås. Vandtilførsel sker via vandtryk og en elektrisk aktiveret magnetventil. Betjeningen af toilettet foregår ved hjælp af to knapper. Ved hjælp af den ene startes vakuummotoren til en forudindstillet arbejdstid med en efterfølgende, ligeledes tidsbestemt, reetablering af vandspejlet i toilettet. Mængden af vand i vandspejlet bliver skyllemængden. Den samme aktivitet udløser et forudindstillet vandskyl via en anden magnetventil til urinskålen. Skyllemængden stilles typisk til 0,1–0,2 l. Når toilettet kun bruges til urin, trykkes der på den anden knap, der kun aktiverer et urinskyl.

Det først leverede toilet var udstyret med vakuumentil og fodpedal, som ikke er nødvendigt i en installation med kun ét toilet. Ved tryk på fodpedalen åbnes vakuumentilen, og den etablerede elektriske kontakt udløser samme aktivitet som tryk på knappen i det andet toilet.

### ***Samletanke***

Urin samt skyllevand kan efter ønske føres til en særskilt samletank eller til den samme tank, der bruges til fækalt materiale. I Bregninge er den eksisterende kugletank af glasfiber og har et volumen på ca. 2 m<sup>3</sup>. Den anvendes til urin blandet med skyllevand (urinblanding), mens der er installeret en ny cylinderformet tank på 3 m<sup>3</sup> til opsamling fra fækale skyl. Tanken er af armeret polyester og har 2 tankhalse med en diameter på 60 cm (se figur 5.5).



Figur 5.4 Kildesortierende toilet med pedal til aktivering af vakuum og vandskyl.

### ***Rørsystem***

Ud over rørsystemet til fækaliesystemet skal der etableres rør til urinsystemet. Den fleksible Ø 22 mm plastslange fra toilettet forbindes typisk til et Ø 110 mm rør i jord.

### ***Sluseventil***

Sluseventilen er af samme slags som anvendt i det kildesamlende system, og den er monteret i den ene tankhals på den nye tank.

### **Vakuummotoren/pumpen**

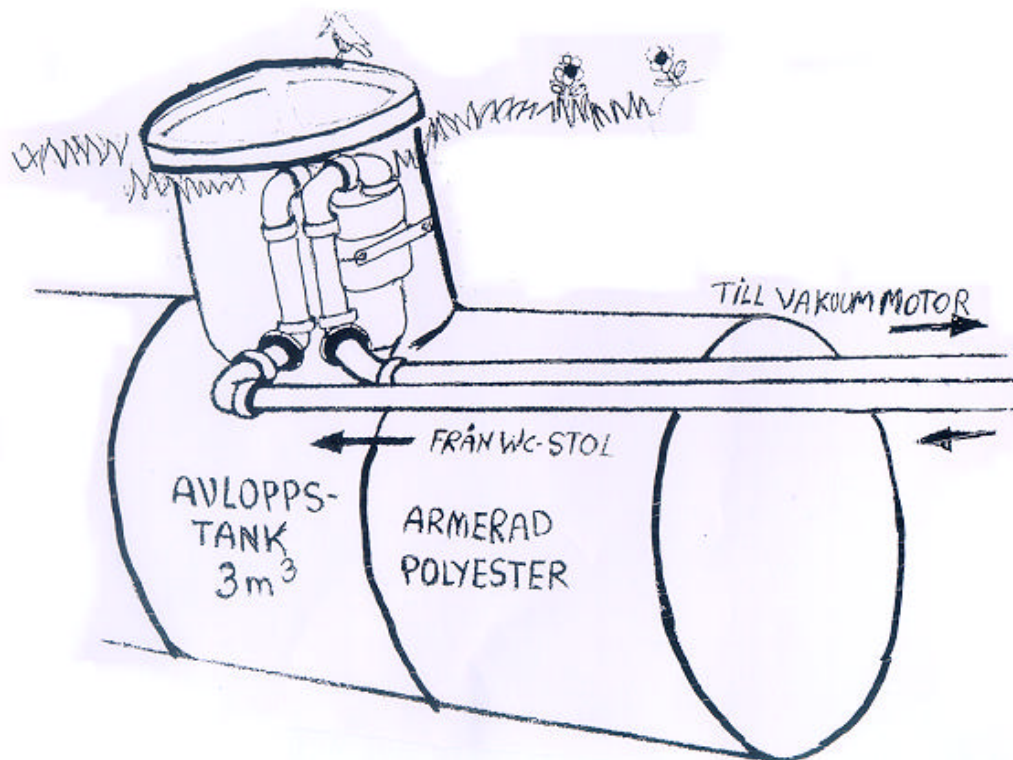
Vakuummotoren er af samme type som den anvendte i det kildesamlende system, og den monteres på væggen ind til toiletrummet.

### **Filter**

Filteret er ligesom i det kildesamlende system.

### **Elstyring**

Elstyringsenheden er den samme som til det kildesamlende toilet. Der skal dog også kobles til en knap og en magnetventil til urinskyl samt til knappen til fækalieskyl, således at et fækalieskyl også udløser et urinskyl. Alle funktioner er tidsstyrede og indstilles via potentiometre.



Figur 5.5 Skitse af tank til opsamling af fækalier med sluseventilen monteret i tankhalsen.

# 6 Lovgivning

I kapitlet gennemgås kort den lovgivning, som er relevant i forbindelse med etablering af et vakuumtoiletsystem.

## 6.1 Lovgivning for installationerne

Spildevandssystemer er omfattet af både miljøbeskyttelsesloven og bygge-loven. 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-godkendt, forudsætter en tilladelse fra kommunen. Arbejdet skal udføres af autoriserede mestre. Disse lovgivningsmæssige bestemmelser og en række projekteringsregler er bl.a. sammenfattet i projektrapporten "Økologisk håndtering af spildevand" (Dansk 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 (bekendtgørelse nr. 501 af 21. juni 1999 om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4, § 37).

### 6.1.1 Vakuumtoiletter

På nuværende tidspunkt er der ikke fastsat prøvnings- og godkendelsesbetingelser for vakuumtoiletter. Kommunerne må derfor give særskilt og individuel godkendelse til hver opsætning. DTI (Dansk Teknologisk Institut) har i forbindelse med det nævnte projekt testet det kildesorterende toilet "DS", som er installeret i Bregninge til erstatning for det kildesorterende vakuumtoilet. DTI vurderer et fækkalt 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 udmønte sig i en godkendelsesordning for kildesorterende toiletter (Dansk Teknologisk Institut, Rørcentret 2001). Der er ikke foretaget en sådan test af vakuumtoiletterne, som afprøves i dette projekt. Når producenten har udviklet en endelig model af både et kildesorterende og et kildesamlende toilet, bør de underkastes en sådan test med henblik på en eventuel godkendelse.

Både vakuumtoiletterne og "DS"-toiletet er produceret i Sverige, men her eksisterer der ikke en VA-godkendelsesordning svarende til den danske. I Sverige godkender de enkelte kommuner bygherrernes toiletsystemer på baggrund af producentoplysninger.

Vakuumtoiletterne fra "Jets" og "EVAC", som benyttes i systemer med permanent vakuum, er ikke VA-godkendt (oplyst af DTI).

### 6.1.2 Samletanke

Opbevaring af spildevand eller "humane restprodukter" (urin og fækalier hver for sig eller sammen) i nedgravede tanke forudsætter en tilladelse fra kommunalbestyrelsen eller amtsrådet i henhold til §§ 37-39 i bekendtgørelse nr. 501 af 21. juni 1999. Kommunen kan give denne tilladelse, hvis tanken enten

- er typegodkendt af Prøvningsudvalget for Olietanke. (jf. den til enhver tid gældende bekendtgørelse om kontrol med oplag af olie)

eller

- efter tilladelsesmyndighedens vurdering opfylder lignende kvalitetskrav til opbevaring af husspildevand og "humane restprodukter".

Den ene nyledgravede tank er svenskproduceret, men er ikke typegodkendt i Danmark. Nysted Kommunes godkendelse af tanken er begrundet i, at den opfylder kravene, som er fastsat i "Sveriges Plastförbunds Verksnorm 1300" og "Svenska Vatten-och Avloppsverksförningens Typgranskningsregler, nr. 2/92".

Inden godkendelsesmyndigheden meddeler tilladelsen, skal det sikres, at tømning, transport og slutdisponering sker på forsvarlig vis. Ansøgeren skal i ansøgningen give kommunen oplysning om lokaliteten for slutdisponering og dokumentere, at der foreligger tilladelse til slutdisponering på den pågældende lokalitet (bekendtgørelsen nr. 501, § 37, stk. 9).

### 6.1.3 Rørinstallationer

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

Separate urinledninger:

- I bygninger skal ledninger have en indvendig diameter på mindst Ø 44 mm og gerne Ø 75 mm. Tilsvarende ledninger i jord skal have en indvendig diameter på mindst Ø 75 mm og gerne Ø 100 mm.
- Ledningerne skal lægges med et fald på minimum 2%.

Separate ledninger til fækalier:

Krav til separate ledninger til fækalier er ikke omtalt særskilt, men reglerne for toiletter både med normalt skyl (min. 6 l) og med et meget lille skyl kan danne udgangspunkt for vurderinger i forbindelse med projektering:

- Ledninger, der fører afløb fra toilet (fækaliedelen), skal i bygninger have en indvendig diameter på mindst Ø 75 mm og i jord mindst Ø 96 mm. Det er her forudsat, at vandskyllet er mindst 6 liter.
- 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 minimum 2%, når afstanden mellem toilet og tank er mindre end 3 m. Ved større afstand skal faldet øges.

- Der findes ikke VA-godkendte toiletter, som skyller med mindre end 2 liter. Ved brug af disse toiletter er man derfor henvist til at følge fabrikantens anvisninger.

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

## 6.2 Bortskaffelse af human urin og fækal ier

Humane restprodukter opsamlet i vakuumtoiletter er som udgangspunkt husspildevand og skal behandles efter reglerne i spildevandsbekendtgørelsen (jf. Vejledning fra Miljøstyrelsen, nr. 5 1999, kapitel 13.2.2, til bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4). Bortskaffelse kan ifølge vejledningen ske ved tilførsel til renseanlæg, herunder samletanke, nedsivningsanlæg, minirenselanlæg m.v.

Det ubehandlede affaldsprodukt kan også sidestilles med latrin og nedgraves efter kommunens anvisning (jf. bekendtgørelse nr. 366 af 10. maj 1992 om ikke-erhvervs-mæssigt dyrehold, uhygiejniske forhold m.m.). Hvis der er tale om meget koncentreret "sort" spildevand, kan det ifølge vejledningen også sidestilles med affaldsproduktet fra et komposttoilet og efter behandling udbringes på jordbrug og privat havebrug. Det behandlede slutprodukt sidestilles da med spildevandsslam for så vidt angår de hygiejniske begrundede anvendelsesrestriktioner ved meddelelse af tilladelse efter slambekendtgørelsen (bekendtgørelse nr. 49 af 20. januar 2000 om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål), jf. vejledningen. Tilladelsen meddeles af amtet efter slambekendtgørelsens § 21.

De fleste kommuner har en tømningsskema for afhentning af slam fra bundfældningstanke ("septiktankslam") og spildevand fra samletanke på ejendomme i det åbne land. Kommunerne modtager derfor også opsamlede "humane restprodukter". Bestemmelser for afhentning, priser med mere fremgår af kommunens tømningsskema. Regulativet er udarbejdet i henhold til kapitel 15 i bekendtgørelse nr. 501 af 21. juni 1999. Husejerne har pligt til at benytte tømningsskemaet. I tilfælde af, at kommunen ikke har en tømningsskema, er det den enkelte husejer eller typisk slamsugerfirmaerne, der indgår en aftale med kommunen om at modtage slammet/spildevandet. For humane affaldsprodukter, der er opsamlet i en samletanke, er deltagelse i en kommunal tømningsskema ikke obligatorisk, når der er opnået tilladelse til alternativ slutdisponering eller genanvendelse (jf. bekendtgørelse nr. 501 af 21. juni 1999 om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4).

Ønskes det opsamlede materiale i stedet afleveret på et biogasanlæg (eller et vådkomposteringsanlæg), skal kommunen give tilladelse til denne slutdisponering og dermed til fritagelse for deltagelse i en eventuel tømningsskema. Det vil afhænge af det enkelte anlægs miljøgodkendelse, om det kan modtage og behandle materialet. Det vil fremgå af miljøgodkendelsen, hvilket materiale anlægget må modtage. Der er ikke noget i miljølovgivningen, der hindrer, at "humane restprodukter" kan behandles på et biogasanlæg/vådkomposteringsanlæg i lighed med forskellige organiske affaldsprodukter og gylle.

Af hensyn til anvendelsen af biogasanlæggets restprodukter som gødningsmiddel på landbrugsjord bør det vurderes, om "humane restprodukter" kun må behandles på anlæg, som underkaster materialet en hygiejniserende eller en behandling, som kan sidestilles hermed. Dette sker faktisk på en del biogasanlæg, hvor materialet opholder sig i en hygiejniseringskammer ved 70°C i minimum 1 time, som svarer til slambekendtgørelsens anvisning på en hygiejniserende behandling (bekendtgørelse nr. 40 af 20. januar 2000 om anvendelse af affaldsprodukter på landbrugsjord). En sådan vurdering bør foretages af de centrale myndigheder.





## 7 Erfaringer med installationer og drift

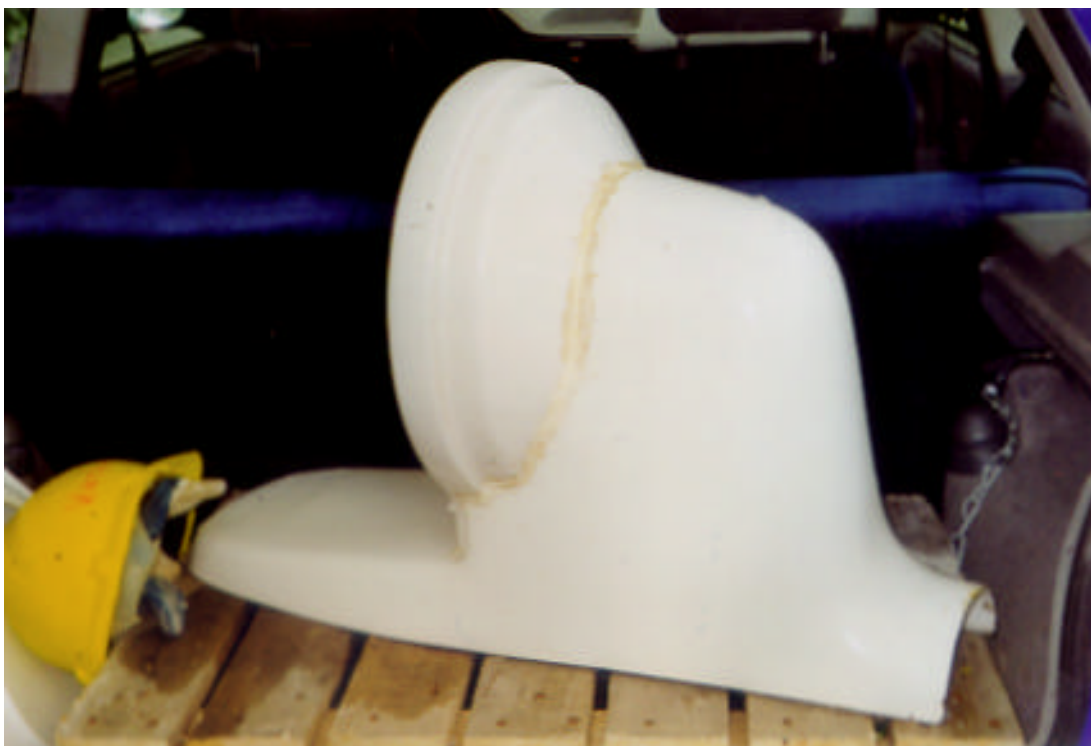
Der er i projektet på to enkeltejendomme blevet installeret vakuumtoiletsystemer, som er nyudviklede, idet der kun laves vakuum i systemerne i forbindelse med toiletbesøg. Systemerne har været præget af mange "børnesygdomme" både i installations- og driftsperioden. De burde have været mere gennemprøvet på virksamheden eller hos en afprøvnings- og vurderingsinstans som Dansk Teknologisk Institut inden opsætning i private husstande.

I det følgende gennemgås erfaringerne med etableringen og driften af de to systemer. Redegørelsen er skrevet på baggrund af den logbog, som entreprenøren har ført i projektperioden, samt ud fra interviews af beboerne.

### 7.1 Erfaringer med etablering og drift af det kil desamlende system i Strandby

#### ***Vakuumtoiletet***

Monteringen af det første toilet forløber uden problemer, selvom der ved en fejl er leveret et toilet med ventil, hvor vandskyllet aktiveres ved hjælp af en fodpedal. Toiletets udseende er ikke stilfuldt, men fremstår lidt klodset. Dets finish er ikke i orden. Samlingen mellem de to skålhalvdele udført af henholdsvis porcelæn og glasfiber ses for tydeligt, og der er ujævnheder i overfladen (figur 7.1). Der skal ændres på rørføringen for vandtilførslen i forhold til det tidligere konventionelle toilet, og det er vanskeligt på grund af pladsforholdene i toiletboden.



Figur 7.1 Det første toilet i Strandby, som mangler finish.

Det elektriske kontaktpunkt, som aktiveres ved hjælp af fodpedalen, og som aktiverer vandskyllet, fungerer ikke, som det skal. Toilettet udskiftes med et andet uden pedal, fordi problemet ikke kan afhjælpes tilfredsstillende, og fordi det ikke er nødvendigt at have et toilet med ventil i en installation med kun et toilet. På det nye toilet aktiveres vakuum og vandskyl ved tryk på en knap på toileryggen. Desværre er der lang leveringstid (1-2 mdr.), da det først skal produceres. Den lange produktionstid skyldes, at der er tale om en sideproduktion i et meget lille svensk firma. Dette er naturligvis til stor gene for familien. Rørføringen skal ændres igen ved monteringen af den nye model. Dette toilets finish er langt bedre. Dog er der en skarp underkant på toiletskålens krave, som fordeler vandskyllet i kummen. Den kan man skære sig på ved rengøring af toilettet.

Toilettets normale skyl er 0,8 l (0,5–1,0 l). Toiletkummen er imidlertid udformet som dem, der kendes fra tog, skibe og fly. De har et meget lille afløbsrør, som sidder fremme i skålen (figur 7.3). Det resulterer i, at vandskyllet ikke er tilstrækkeligt til at tømme og renholde toilettet ordentligt. Ved installeringen blev toiletskyllet sat til 0,5 l ved at hæve vandstanden i toiletkummen. Efter disse mange indkøringsvanskeligheder fungerer toilettet fint nu.



Figur 7.2 Vakuumtoilet nr. 2 i Strandby (bemærk samlingen sammenlignet med figur 7.1).

### ***Elstyringen***

Håndværkerne fandt det vanskeligt at foretage en præcis indstilling af den elektriske styring af vakuumsystemet.

Styrepladen er fremstillet af skrøbeligt materiale og tåler ikke, at styringen skal justeres mange gange. Allerede i indkøringsperioden må styrepladen udskiftes. Endvidere reguleres sugetider m.v. ved at dreje på små skruer. Her er kærven sårbar over for gentagne justeringer. Indstillingen af den rette sugetid er foretaget ud fra firmaets anvisninger. De svenske anvisninger, som følger med toilettet ved leveringen, må dog suppleres. Indstillingen forudsætter "gefühl" og flere tests, før den er optimal. Efter ud-

skiftning af toilettet med pedal-kontaktsystem til et toilet med trykknop har styringen fungeret.

### ***Rørinstallationerne***

Det nye afløbsrør (Ø 50 mm) trækkes i det eksisterende Ø 110 mm rør. Der viser sig at være bøjninger undervejs i afløbsledningen, og derfor bruges en flekslange, som monteres med noget besvær. Afgangsrøret fra toilettet er af plast og er udført i et for tyndt materiale, som må udskiftes.

Ved etablering af systemet har entreprenøren valgt at bruge samletankens udluftningsrør som forbindelsrør mellem tanken og motoren. I forbindelse med et ualmindelig højt sekundært vandspejl i vinteren 2001-2002 har det vist sig, at dette rør ikke er tæt. Det har resulteret i indsivning af overfladevand, som blev trukket op i motoren. Røret er siden udskiftet til et tæt pvc-rør.

Der var i en periode mange lugtgener. Det viste sig at være en utæthed i overgangen mellem det nye og gamle afløbssystem under toilettet. Efter tætning har der ikke været lugtproblemer.

### ***Lagertank***

Dækslet i tankens mandehul fjernes for at give plads til montering af sluseventilen. Keglen over tanken tætnes for at hindre at overfladevand tilledes ad denne vej. I vinteren 2001/2002, hvor grundvandsstanden er meget høj, viser det sig, at tætningen ikke er god nok, så der siver meget overfladevand ind i systemet. Keglen tætnes igen.

Ejeren har gennem flere år tilsat et enzymprodukt (Super Chemzym III) til tanken, som gør det lettere at tømme den. Der dannes mindre bund- og flydeslam i tanken da det tilsatte enzymprodukt virker fedtopløsende og fremmer bakterievæksten og dermed omsætningen af det organiske stof i tanken. Anvendelsen af produktet bør vurderes nærmere, hvis det opsamlede materiale skal behandles i en biologisk proces (f.eks. i et biogasanlæg eller ved kompostering) og eventuelt anvendes som gødnings- eller jordforbedringsmiddel.

### ***Vakuumpumpen/motoren***

Installationen af motoren har i sig selv har været uproblematisk og ligeledes driften. Der har været driftsstop på grund af tilstopning, fordi der i starten ikke var monteret et leca-filter mellem sluseventilen og vakuummotoren og en returventil til at fange eller returnere evt. materiale, der suges op i udsugningsluften til tanken. Filteret har tidligere været leveret sammen med motoren som standard, og denne procedure er indført af firmaet igen. I det nye system, der har kunnet leveres fra 2001, er slusemekanismen sammenbygget med en vakuumpumpe med en motor på 1.200 W. Denne enhed kan placeres i tankhalsen.

### ***Filteret***

Monteres filteret samtidig med motoren, er det ukompliceret. Filteret er som beskrevet nødvendigt af hensyn til motorens drift, men også for at der ikke slynges partikler ud med luften fra vakuumsystemet, som kan svine omgivelserne til. Beboerne har selv renset filteret, dvs. skyllet leca-kuglerne. De har oplyst, at det er let at gøre det, og opfatter det som uproblematisk. Problemet opstår ikke med det nye system med pumpe og sluseventilen placeret i tankhalsen.

### ***Sluseventilen***

På sluseventilens afgangsstuds er der monteret en klap, som åbnes når vakuumsuget aktiveres, og der skal leveres skyllevand med indhold til tanken. Der har været 2 typer problemer med denne klap, som har resulteret i, at suget ikke opretholdes, og toilettet dermed ikke fungerer.

Klappen er i standardudgaven udført i en for spinkel udgave med en befæstigelse, som er for spinkel. Materiale har sat sig fast på klappen, og suget har så ikke været tilstrækkelig kraftigt til at trække klappen på plads. Desuden er klappen faldet helt af. Efter udskiftning med en tungere klap, der er monteret forsvarligt, har der ikke været disse problemer. Denne fejl er ikke konstateret på de toiletter, som er installeret i Sverige. Det er uklart, om der tidligere har været anvendt mere solidt materiale.

### ***Alarm***

Der monteres uden problemer niveaularm i samletanken, og den fungerer som den skal. En alarm er vigtig, når tanken skal tømmes så sjældent.

### ***Vandforbrug og tømningshyppighed***

Vandforbruget udgjorde før projektets start 40 m<sup>3</sup> og er i projektperioden reduceret med 18 m<sup>3</sup> til 22 m<sup>3</sup>. Forbruget af "kildevand" er uændret og indgår ikke i regnskabet. Ud fra reduktionen i vandforbruget forventes det, at der fremover skal foretages 1-2 årlige tanktømninger mod tidligere ca 6 pr. år. Dette kan ikke helt bekræftes af erfaringen i projektperioden på grund af indsivningen af overfladevand til tanken.

Et skøn over produktionen af "sort" spildevand ud fra et skøn over antallet af personer i huset incl. gæster, hjemmefrekvens og skyllefrekvens giver en opsamlet mængde på ca. 5 m<sup>3</sup>, hvilket svarer til 2 tømninger pr. år.

### ***Elforbrug***

Elforbruget kan skønnes ud fra følgende beregning:

Anslået skyllefrekvens x motorens gangtid x motorens effekt.

Ved 4.000 årlige skyl à 3 sekunder giver det en driftstid for pumpen på 3 timer og 20 minutter. Med en anslået starteffekt for motoren på maks. 2 kWh giver det et årligt forbrug på i alt ca. 7 kWh. Det svarer til et elforbrug på 7 kWh pr. år og en udgift på 12 kr. ved en pris på 1,7 kr./kWh.

### ***Rengøring***

Toiletkummens udformning, med et lille afløbsrør forrest i kummen er uhensigtsmæssig (figur 7.3). Kummen skylles ikke ordentligt ren. I dagligdagen lægges et par toilet-papirblade på den bageste side af kummen, hvor fækaliernes typisk lander ved brug af toilettet. Papiret sikrer, at fækaliernes skylles ud, og gør det lettere at renholde skålen. Brugt på denne måde, er rengøringsarbejdet ifølge brugerne stadig lidt større end ved et traditionelt toilet, men familien opfatter det ikke som et problem. Producenten har allerede forbedret toiletskålens udformning i næste generation toiletter på baggrund af disse erfaringer.



Figur 7.3 Afløbet i det kildesamlende vakuumtoilet.

## 7.2 Erfaringer med etablering og drift af det kildesortierende system i Bregninge

Det kildesortierende toilet afviger fra det ikke sortierende toilet og traditionelle toiletter ved, at toiletkummen er todelt. Derfor skal brugerne sidde ned ved toiletbesøg uanset køn. Aftøringspapiret fra "lille" besøg lægges i en affaldsspand. I det følgende beskrives erfaringerne med systemet.

### ***Vakuumtoiletet***

Der har været de samme installations- og styringsproblemer med det første toilet i Bregninge som i Strandby. Toiletet med pedal er også her blevet udskiftet til et uden. Brugen af toiletet i sig selv har ikke givet anledning til problemer, heller ikke for de besøgende, hvoraf en del af børn. Det har tilsyneladende heller ikke været et problem at bruge en toiletspand til aftøringspapiret efter "lille" besøg. De besøgende, der ikke bryder sig om dette, kan lægge papiret i fækalieskålen og aktivere det store skyl. Der er fra 2001 mulighed for at vælge mellem to forskellige udformninger af kildesortierende vakuumtoiletter.

Når toilet nr. 2 efter knap ½ års drift blev udskiftet med et kildesortierende DS toilet uden vakuum, skyldes det problemerne med den elektriske styring af systemet. Det lykkedes ikke at indstille motorgangen stabilt til den begrænsede afstand fra toilet til

sluseventil. Afstandskravet for det nye system angives til minimum 5 meter. Erfaringerne med DS-toilettet er undersøgt og beskrevet i et andet projekt under Aktionsplanen (Holtze & Backlund 2002).

### ***Elstyringen***

I Bregninge har der været de samme installationsvanskeligheder som i Strandby. Desuden giver afstanden mellem toilet og tank tilsyneladende nogle ekstra problemer.

Producenten foreskrev, at der mindst skulle være en afstand på 3 meter mellem toilet og tank (sluseventilen), for at sugetiden kunne indstilles optimalt. Dette afstandskrav er opfyldt i Bregninge. Alligevel har det vist sig at være næsten umuligt at indstille sugetiden, som er meget kort, når afstanden er så lille. Som nævnt angives afstandskravet i det nye system nu til minimum 5 meter.

Det har givet ekstra problemer, at der opstod utæthed i vandlåsen, fordi toilet nr. 2, som er væghængt, faldt ned. Et problem, som selvfølgelig ikke kan tilskrives hverken systemet som sådan eller elstyringen, men som sled på den i forvejen hårdt prøvede familie.

### ***Rørinstallationerne***

Rørinstallationen i forbindelse med systemets etablering har været uden problemer, bl.a. fordi toilettet står op ad den ydervæg, som vender mod tanken. Installationerne ved tank og sluseventil gav sig på et tidspunkt og var ved at skille ad, måske på grund af et for kraftigt sug, da dette var svært at regulere.

### ***Lagertankene***

Afløbet til urin fra toilettet kobles uden problemer til den eksisterende tank. Den eksisterende tank er en kugletank uden mandehul. Konstruktionen giver ikke mulighed for at montere en sluseventil, så tanken kan ikke bruges til opsamling af fækalier, men til opsamling af urin. Tanken tømmes via et 110 mm afløbsrør, der er ført til terræn.

Nedgravningen af en ny tank til lagring af fækalier og skyllevand gav ikke anledning til problemer.

### ***Vakuummotoren***

Installationen og driften af motoren har været uproblematisk. De problemer, der har været, skyldes dels, at der ved leveringen af den ene motor var glemt en skrue inde i den. Derfor blev lamellerne i motoren ødelagt, da den blev sat i drift. Der har desuden været driftsstop på grund af tilstopning ligesom i Strandby, fordi der i starten ikke var påmonteret et filter. Det betød også, at væggen, som motoren var hængt op på, blev svinet til, inden der blev monteret filter.

Der har gentagne gange været suget materiale op fra tanken, formentlig på grund af problemerne med at indstille sugetiden. Motoren har i disse tilfælde været stoppet totalt til og har måttet skilles ad og renses for at kunne fungere igen. Dette problem forventes ikke at kunne opstå i det videreudviklede system.

### ***Filter og sluseventil***

Se beskrivelsen af det ikke-sorterende system.

## **Alarm**

Der blev uden problemer monteret niveualarm i fækali tanken. Flyderen blev i første omgang monteret lidt uhensigtsmæssigt. Den satte sig fast i mandehullets nedre kant, og alarmen blev derfor ikke aktiveret som den skulle, da tanken var fuld.

## **Vandforbrug og tømningshyppighed**

Vandforbruget var før projektets start 80 m<sup>3</sup> pr. år. Der er registreret et forbrug på ca. 4 m<sup>3</sup> pr. måned over ½ år, hvor der har været et vakuumtoilet i huset svarende til et årsforbrug på 48 m<sup>3</sup>. Det giver en vandbesparelse på ca. 40%. Tømningshyppigheden kan på denne baggrund forventes at blive reduceret fra ca. 12 gange pr. år (ca. 28 m<sup>3</sup> i 1 tank) til ca. 2 gange (11 m<sup>3</sup> i 2 tanke). Det giver ingen mening at skønne størrelsen af den årligt producerede mængde "sort" spildevand. Dels er toilettet udskiftet til et DS-toilet, som er kildesorterende, men som har et fækkalt skyl på 3-6 liter. Dels er antallet af brugere af toilettet meget svingende.

## **Elforbrug**

Beregnes elforbruget ud fra de samme forudsætninger med hensyn til antal beboere, hjemmefrekvens og skylleadfærd som i Strandby, og tages der højde for, at der i Bregninge kun bruges el i forbindelse med det fækale skyl, fås følgende resultat:

2.000 skyl à 3 sekunder svarende til 1 time og 40 minutter. Med en anslået starteffekt for motoren på maks. 2 kWh giver det et årligt forbrug på i alt ca. 4 kWh. Det svarer til en årlig udgift på 7 kr. ved en pris på 1,7 kr. pr. kWh.

## **Rengøring**

Der er lidt mere rengøring af toilettet, men det betragtes ikke som et problem, da man til gengæld får en meget stor vandbesparelse.

Familien har ikke savnet et børnesæde. Børnenes brug af toilettet har ikke resulteret, i at fækalier er havnet i skålen for urin eller på skillevæggen mellem de to skåle i toilettet.

## **7.3 Sammenfatning**

Der har på begge ejendomme i ca ½ år været indkøringsproblemer med toilet nr. 2, og det er for længe. Så mange "børnesygdomme" må et nyt system ikke have, når det sendes på markedet. Hvis disse kan overvindes, kan toiletterne/ vakuumsystemerne fungere fint på enkeltejendomme.

### **7.3.1 Erfaringer og anbefalinger fra håndværkerne**

Der er holdt formøde med entreprenørfirmaet om installationsarbejdet, men ikke med den entreprenør og de håndværkere, som skulle udføre arbejdet. Der fulgte monteringsanvisninger, tegninger med videre med systemkomponenterne ved leveringen. Dette er dog ikke tilstrækkeligt, da både toiletter og afløbs- og styresystem afviger meget fra de konventionelle systemer. En grundig information fra leverandøren, inden arbejdet sættes i værk, kan uden tvivl reducere antallet af installerings- og driftsproblemer og dermed tidsforbruget.

Derudover bør der medsendes komponentlister og let forståelige funktions- og monteringsvejledninger til brug for håndværkerne. Materialet bør være på dansk. Der bør også medfølge beskrivelse af funktion og vedligeholdelse af toilet og vakuumsystem til ejerne/brugere.



Flere komponenter i toilet, sluseventil og styringssystem er af for skrøbeligt materiale og virker efter håndværkernes opfattelse lidt for "hjemmelavede".

Selve entreprenør- og VVS-arbejdet med opsætning af toilet, rørføring, nedgravning af tank mv. er ikke større end ved brug af konventionelle/traditionelle systemer, hvis disse forudsætninger er til stede, og komponenterne fungerer, som de skal. Elektrikerarbejdet er dog større, da der normalt ikke bruges elektrisk styring.

### 7.3.2 Brugererfaringer

"Børnesygdomme" bør være overvundet inden installering i private beboelser. Brugen af toiletterne giver som beskrevet ikke anledning til problemer. Der er lidt mere rengøring end normalt, men det accepteres, fordi der er en stor vandbesparelse. Dog har man en forventning om videreudvikling af toiletterne, så de bliver mindre rengøringskrævende. Det er ikke svært at forklare gæster om brugen af toiletterne.

Motoren kan støje meget. Derfor skal man tænke over dens placering, hvis man ikke vil genere naboer og ikke ønsker, at naboer eller familien skal følge med i toiletbesøgene. Ved placering af pumpen (motoren) i tankhalsen afhjælpes dette problem. I de eksisterende systemer vil brugerne placere pumpen i et skab eller udhus.

### 7.4 Bortskaffelse af det opsamlede "sorte" spildevand

På biogasanlægget i Kettinge har man ikke ønsket at medbehandle de "humane restprodukter" (toiletspildevandet), som er opsamlet i projektet, selvom man her overvejende behandler gylle. Dette er ikke begrundet i miljøgodkendelsen, men i en holdning. Ifølge miljøgodkendelsen af biogasanlægget har det tilladelse til at behandle slam fra bundfældningstanke (septikslam). Anlæggets restprodukter udspreddes på landbrugsjord hos landmænd, der typisk har aftaler med Danisco, og som derfor ikke kan modtage spildevandsslam på deres marker. Biogasanlægget modtager derfor heller ikke nogen former for spildevandsslam og sidestiller i dette tilfælde de "humane restprodukter" med slam i stedet for med gylle. Derfor bortskaffes det opsamlede spildevand til et kommunalt renseanlæg.

# 8 Samletanke og vakuumtoiletsystemer i Storstrøms Amt

En af løsningerne til en forbedret rensning af spildevandet i landområder kunne være separat omsamling af koncentreret "sort" spildevand (humane restprodukter og skyllevand) med henblik på viderebehandling i et biogasanlæg eller ved vådkompostering. Det er umiddelbart oplagt at undersøge muligheden for at anvende denne teknologi, dels for ejendomme i det åbne land med samletanke til det "sorte" spildevand, dels for de sommerhusområder/landsbyer, som i forvejen er tilsluttet vakuumtoiletsystemer. Erfaringerne med driften i Holeby, Ravnsborg, Rudbjerg og Sydfalster kommuner beskrives kort i dette kapitel. Der er taget udgangspunkt i rapporten "Spildevandstransportsystemer" (Storstrøms Amt 1997). Oplysningerne om vakuumsystemerne er ajourført på baggrund af samtaler med drifts- og administrativt personale i kommunerne og med de lokale VVS-firmaer, som foretager reparationer af systemerne og udskiftning af toiletter. Endvidere er der indhentet erfaringer med driften af 2 mindre vakuumtoiletsystemer, som bruges i offentligt regi.

## 8.1 Samletanke

Efter lovændringerne i 1997 indberetter kommunerne hvert år data til amtet om spildevandsrensningen på ejendommene i det åbne land. I 2001 er antallet af ukloakerede ejendomme i Storstrøms Amt opgjort til 26.600 (Storstrøms Amt 2002), og heraf har kun 320 ejendomme samletanke. Der er typisk tale om ejendomme, hvor spildevandet af forskellige grunde ikke kan bortledes til dræn/vandløb efter rensning.

I Nysted Kommune på Lolland er der 10 ejendomme med samletanke, heraf indgår de 2 i dette projekt. I nogle tilfælde nedsives det grå spildevand, i andre tilfælde ledes både det sorte og det grå spildevand til samletankene. Det grå spildevand renses mekanisk inden udledning. Det sker i mange tilfælde kun i en køkkenbrønd eller evt. i en lille bundfældningstank, som typisk er mindre end 1 m<sup>3</sup> (Storstrøms Amt 1998).

Om det er mest rentabelt at transportere spildevandet fra disse ejendomme til behandling på nærmeste renseanlæg eller til et biogasanlæg afhænger af, hvordan regnskabet laves. Et udgangspunkt vil være at sammenholde de gældende behandlingspriser for spildevandet i de enkelte kommuner (vandafledningsafgiftens størrelse) med biogasanlæggets behandlingspris. Men i dette regnestykke indgår ikke værdien som gødningsprodukt og energikilde eller den mindre udledning af næringsstoffer til vandmiljøet.

## 8.2 Vakuumtoiletsystemer i Storstrøms Amt

Der findes flere ældre vakuumtoiletsystemer i sommerhusområder i amtet. Der gøres rede for erfaringerne fra driften af disse i Holeby, Ravnsborg, Rudbjerg og Sydfalster kommuner, hvor systemerne indgår i de kommunale kloakområder. Det "sorte" spildevand transporteres her med vakuum til rensning i et fælles renseanlæg, mens det "grå" nedsives på den enkelte ejendom. Der er også indhentet erfaringer fra 2 mindre vakuumtoiletsystemer, som benyttes af offentligheden. Der er i alle tilfælde tale om systemer med permanent vakuum (figur 1.2).

### 8.2.1 Offentlige vakuumtoiletter ved udflugtsmål

På rastepladser, i rekreative områder og andre steder, som er tilgængelige for offentligheden, kan spildevandet ikke altid ledes til et kloaksystem. I disse tilfælde opsamles spildevandet evt. i samletanke. Vakuum benyttes, hvor man er interesseret i at opsamle så koncentreret et materiale som muligt for at minimere transportmængden. Eksempler på det er de offentlige toiletter ved Stevns Klint i Stevns Kommune og på Nyord i Møn Kommune. Her opsamles spildevandet i en samletank for siden at blive behandlet på et kommunalt renseanlæg.

#### ***Toiletvogn ved Stevns Klint***

Falster Skovdistrikt har en toiletvogn stående ved Stevns Klint, som kan benyttes af offentligheden i sommerhalvåret. Toiletvognen indeholder en herre- og dameafdeling med hver 2 toiletter og en håndvask. Toiletterne er fra Evac og af samme type som benyttes i tog og skibe, dvs. med en lille kumme, der har et lille afgangsrør (ca. Ø 10). Se figur 7.3. De er kildesamlende, og vandskyllet er på ca. 1,0 liter. Toiletterne er forsynet med vakuumentiler, så der kun suges fra et toilet ad gangen.

Vakuumtoiletsystemet består af følgende komponenter:

- Busch Vakuumpumpe med en 1,1 kW motor
- Gasballastventil
- Indsugningsfilter
- 4 vakuumtoiletter

Alt spildevand ledes til en samletank på 1.200 l. Der opsamles i sommerhalvåret ca. 2 m<sup>3</sup> spildevand, som transporteres til det kommunale renseanlæg. Det årlige strømforbrug skønnes til 1.600 kWh og svarer til 800 kWh/m<sup>3</sup> (Peer Nørgaard, Stevns Natur Center, personlig meddelelse). Ved installation af et vakuumtoiletsystem uden permanent vakuüm ville strømforbruget måske kun have været på ca. 3 kWh eller 1,5 kWh pr. m<sup>3</sup> (jf. kapitel 7).

Det primære driftsproblem med toiletvognen er utilsigtede stop af vakuumpumpen (motoren), fordi den bliver varm. Der er ikke problemer med, at systemet tilstopper (Peer Nørgaard). I forbindelse med udskiftning af vakuumpumpen er denne blevet indstillet til at "efterpumpe" i 10 minutter, når pumpen har været aktiveret ved toiletbesøg. Det betyder i praksis, at pumpen næsten kører konstant. Systemet er dyrt at vedligeholde. Omkostningerne i forbindelse med udskiftning af pumpen var ca. 15.000 kr. ekskl. moms. Der overvejes en anden toiletløsning, evt. et komposterings toilet.

#### ***Offentligt toilet på Nyord***

Toiletbygningen er placeret på den private havn, men toiletterne passes af kommunen. Der er 6 toiletter og 2 håndvaske. Oprindeligt blev der installeret Electrolux-toiletter, men de blev i 1993 udskiftet med Evac. Toiletsystemet er opbygget som systemet ved Stevns Klint med en vakuumpumpe, som skaber et permanent vakuüm.

Spildevandet opsamles i 3 tanke, 2 kugletanke på hver 4 m<sup>3</sup> og 1 cylindertank på 4½ m<sup>3</sup>. Der er opsamlet følgende mængder i de foregående 3 år:

1999: 23 m<sup>3</sup>  
2000: 33½ m<sup>3</sup>  
2001: 33 m<sup>3</sup>

Det har ikke været muligt at få oplyst strømforbruget.

Møn Kommune (Allan Smith) har oplyst, at der er mange driftsstop på grund af tilstopninger i systemet. Det skyldes dels, at der er for mange "knæk" i rørsystemet, dels brugernes adfærd. Mange putter desværre ting i toilettet, som ikke hører hjemme der, f.eks. bleer m.m.

## 8.2.2 Ældre vakuumtoiletsystemer i sommerhusområder

I Storstrøms Amt blev der i slutningen af tresserne og først i halvfjerdserne etableret vakuumsystemer i en række sommerhusområder og på flere campingpladser. Områderne er karakteriseret ved højt liggende grundvandsspejl og/eller ved terrænforhold, der betyder, at spildevandet ikke kan transporteres ved gravitation. Strategien er at opsamle urin og fækalier ved hjælp af et reduceret vandskyl og transportere det ved vakuum fra et net af koblede husstande til rensning i et renseanlæg. Det "grå" spildevand nedsives de fleste af stederne. I tabel 8.1 er de væsentligste oplysninger om de største af disse anlæg sammenfattet.

Tabel 8.1 Vakuumtoiletsystemer i Storstrøms Amt.

Kommune Område	Kapacitet PE	Belastning PE	Rensning af spildevandet	Etableringsår
Fakse Fed Camping (privat)	800	800	Mekanisk kemisk	1969
Holeby Hyltofte Østersøbad	600	110	Mekanisk kemisk	1972
Ravnsborg Fejø Vestergård	560	199	Mekanisk	Ca. 1970
Brudbjerg Hummingen	2.000	1.880	Mekanisk kemisk	1971
Kramnitze	1.500	1.080	Mekanisk kemisk	1971
Sydfalster Elkenøre	Ca. 1.000	-	Afskåret til Væggerløse Centralrenseanlæg	Ca. 1970
Sillestrup	Ca. 1.000)	-		

Kilde: Storstrøms Amt (1997), personlige meddelelser fra driftspersonale og/eller de kommunale forvaltninger i de 5 kommuner i 2002.

I disse ældre systemer er vakuumventilerne placeret direkte i toiletterne (figur 1.2). Denne konstruktion benyttes ikke i de systemer, som etableres i forbindelse med enkeltliggende ejendomme i dag, og som er testet på 2 ejendomme i dette projekt (figur 4.3). Vakuummet skabes i en vakuumstation, som typisk er placeret sammen med opsamlingsstankene på renseanlægget (figur 8.1). I nogle tilfælde er der ikke etableret et renseanlæg i sommerhusområdet, men spildevandet pumpes videre til et andet kommunalt renseanlæg.

Oprindeligt blev der installeret toiletter af mærket Electrolux, som var fremherskende på markedet dengang. Fra midten af 1980'erne blev markedet overtaget af Evac, og det er disse toiletter, som siden da er installeret i forbindelse med udskiftning og nybyggeri i sommerhusområderne. Toiletternes vandskyl er kun ca. 1 liter pr. skyl, og den vandmængde, som skal transporteres, er derfor meget lille. Ledningsdimensionerne er også små, maks. Ø 75 mm. Anlæggene er 30-35 år gamle og er noget nedslidte. Rørledningerne er af PVC, som på etableringstidspunktet var af en ringere kvalitet end i dag både med hensyn til materiale og samlinger (Storstrøms Amt 1997).



Figur 8.1 Vakuumpumper på Hummingen renseanlæg. Foto: Boye Holm, Rudbjerg Kommune.

### ***Driftserfaringer***

Kommunerne oplyser samstemmende at vakuumtransportsystemerne kræver mere tilsyn og vedligeholdelse end gravitationssystemerne. Det er stop i ledningssystemerne, der er vedligeholdelseskrævende. Vakuumstationerne (pumperne) kræver ikke mere vedligeholdelse end andre pumpestationer, oplyser driftspersonalet.

Placeringen af vakuumentilene inde i husene giver til stadighed drifts- og vedligeholdelsesproblemer. Alle beretter om driftsforstyrrelser i form af tilstopninger i ledningsnettet. Det sker ofte, at en vakuumentil er utæt, og det kan betyde, at en hel streng (vej) er ude af drift. I mange tilfælde er ventilerne ikke tilgængelige for driftspersonalet. Det er f.eks. tilfældet, hvis problemet opstår i et ubeboet sommerhus. Personalet kan da ikke afhjælpe problemet, hvilket i en del tilfælde er til stor gene for de øvrige beboere, som er tilsluttet strengen.

Ventilerne bliver utætte af flere grunde, f.eks. af ælde eller hvis systemet står ubrugt hele vinteren, samtidig med at der konstant holdes vakuum i systemet. I 1970'erne var det almindeligt at montere membranventiler, som er gode til rent vand, men sårbare over for det "tykkere" toiletspildvand. I dag bruges "skydeventiler", som er mere robuste og driftssikre (Jens Severin Jensen, Ravensborg Kommune).

Der er ofte tilfælde af tilstopninger i ledningsnettene, f.eks. hvis brugerne forsøger at skylle bleer, klude, m.v. ud gennem toiletterne. Disse tilstopninger skyldes i stor udstrækning, at mange sommerhuse udlejes, og at lejerne ikke er bekendt med eller er ligeglade med systemernes sårbarhed. Der kan også opstå tilstopninger i ledningssystemerne og ikke mindst i stikledningerne på de enkelte grunde, fordi ledningerne ikke

skylles/suges helt rene, hver gang toiletterne bruges. Hvis der ligger noget materiale i ledningen sidst på sommersæsonen, kan det sætte sig helt fast. Endelig lukker rørene til på grund af kalkudfældning.

### Afhjælpning af driftsproblemerne

Kommunerne har sat ind på to fronter de senere år for at afhjælpe driftsproblemerne. De har sørget for nogle konstruktionsændringer i vakuumsystemerne og har informeret brugerne om toiletternes brug og vedligeholdelse. Det har nedbragt antallet af driftspersonalets ud kald på grund af stop i systemerne. Vedligeholdelse, udskiftning og reparation af de enkelte toiletter samt udsyring af ledningsstrækninger ordnes af de lokale VVS firmaer, som har opnået stor ekspertise med denne type toiletter og afløbssystemer.

Alle kommuner har etableret renselommer på vejene, så man kan tømme/rense ledningerne her i forbindelse med tilstopning. Enkelte kommuner har desuden sørget for, at der er etableret renselommer (renseventiler) på stikledningerne ind til de enkelte huse og/eller afspærringsventiler (stophaner) ved de enkelte huse. Ved montering af en afspærringsventil kan brugerne lukke for vakuummet i perioder, hvor de ikke kommer i sommerhuset. En utæt ventil kan da ikke blive årsag til, at vakuummet tabes på en længere strækning. Placeres afspærringsventilen uden for huset, kan driftspersonalet også lukke af for vakuummet, hvis en ventil bliver utæt i et ubeboet sommerhus. I Ravnsborg Kommune er der krav herom i forbindelse med ejerskifte eller nybyggeri. I Sydfalster Kommune har stort set alle 600 ejendomme fået påbud om at etablere renselommer og afspærringsventiler, så der kan lukkes af for vakuummet. Arbejdet er gennemført samtidig med etablering af brønde til vandmålere. Der er også monteret afspærringsventiler på stikledninger til alle ejendomme i sommerhusområderne Hummingen og Kramnitze i Rudbjerg Kommune.

I flere af sommerhusområderne udsyres ledningerne med nogle års mellemrum med fortyndet saltsyre. Rørene kalker ikke lige så hurtigt til som på færger, hvor belastningen på det enkelte toilet kan være væsentlig større end i et sommerhus. Endvidere er udfældningen her større, fordi rørene ligger i varmere rum end afløbsrørene i sommerhusområder. Til sammenligning får mange færger udsyret afløbsrørene hvert kvartal (personlig meddelelse, Rødby VVS, v/Flemming Petersen). En del driftsstop kan undgås ved forebyggende vedligeholdelse af toiletter og ventiler. De fleste, og det gælder ikke mindst de driftsansvarlige på campingpladser og udlejere af sommerhuse, gør først noget, når "ulykken" er sket, fortæller Hans Erik Nielsen, lokal autoriseret VVS-installatør, som forestår mange reparationer og udskiftninger af toiletter i sommerhusområder og på campingpladser.

Kommunerne har gentagne gange og på forskellig vis informeret ejere og udlejningsbureauer om, hvordan vakuumtoiletterne/-systemet skal bruges og vedligeholdes. Informationen gives på grundejerforeningsmøder og i udsendte brochurer og ved opslag på informationstavler. I Sydfalster Kommune har man også uddelt informative klistermærker, som kan klæbes på toiletsæderne. I Ravnsborg opkræver man et gebyr i forbindelse med ud kald ved driftsstop. Det har været effektivt i forhold til udlejningsbureauerne. Når lejere kontakter Rudbjerg Kommune ved driftsstop, kontaktes ejerne, som må tjekke, om stoppet skyldes fejl på systemet på ejerens grund eller i vejen, før driftspersonalet rykker ud. Disse forskellige tiltag har også fået udlejere til at sørge for en bedre vedligeholdelse af toiletsystemerne og bedre information af deres lejere.

## Spildevandets sammensætning

Spildevandet er meget koncentreret, da det kun består af den "sorte" fraktion, som opsamles ved brug af et lille vandskyl. For at give en karakteristik af det spildevand, som kan opsamles i et vakuumtoiletsystem, er der udtaget en øjebliksprøve af hvert af tilløbene til Hummingen og Kramnitze renselanlæg i Rudbjerg Kommune. Resultaterne fremgår af tabel 8.2

Tabel 8.2 Sammensætningen af spildevand opsamlet i vakuumtoiletsystemerne i Hummingen og Kramnitze i Rudbjerg Kommune.

Anlæg	Belastning *1 PE	Mængde i 2001 *2 m <sup>3</sup>	Tørstof mg/l	Glødetab Procent af tørstof	Organisk stof (be- regnet) mg/l	NVOC** mg/l	Total N mg N /l	Total P Mg P/l	Kalium mg/l
Hummingen	1.880	1.215	8.350	65	5.428	950	1.040	150	210
Kramnitze	1.080	1.676	15.300	38	5.814	350	5.70	78	170

\*\* Ikke flygtigt organisk bundet kulstof.

Kilde: \*1 Storstrøms Amt (1997), \*2 Rudbjerg Kommune, kommunens driftskontrol.

Beregnet ud fra oplysningerne i tabellen er produktionen af sort spildevand i 2001 0,65 m<sup>3</sup>/PE i Hummingen og 1,55 m<sup>3</sup>/PE i Kramnitze. Det giver følgende antal skyl pr. PE/år baseret på 1-1,5 l pr. skyl:

Hummingen: 323-538

Kramnitze: 776-1.293

Forskellen i spildevandsmængden pr. PE skyldes formentlig forskelle i, hvor meget husene benyttes. Begge steder er der campingpladser, men den største og mest benyttede ligger i Kramnitze. Der kan også være forskel på toiletternes skyllemængde og skyllefrekvensen de to steder.

Det fremgår, at glødetabet er næsten dobbelt så stort på spildevandet fra Hummingen i forhold til Kramnitze, og at tørstofindholdet omvendt kun er halvt så stort i spildevandet fra Hummingen sammenlignet med Kramnitze. Det kan skyldes, at der på prøvedagen manuelt er blevet tilført kalkholdigt vand til opsamlingstanken i Kramnitze, fordi der lå kalk på gulvet efter spild fra kalkdoseringsanlægget (oplyst af driftspersonalet). Indholdet af organisk stof i mg/l beregnet ud fra tørstofindholdet og glødetabet er imidlertid stort set det samme i spildevandet i de to anlæg.

Koncentrationen af organisk materiale gør begge steder materialet egnet til medbehandling i et biogas- eller vådkomposteringsanlæg. Men materialets tørstofindhold og indhold af organisk stof er ikke højt nok til at give en ordentlig proces, hvis der kun behandles dette materiale. TS bør da være 2-4% og VS (glødetabet) bør være ca. 80% (Norin et al 2000). Koncentrationen af NH<sub>4</sub>-N er ikke målt, men ligger - vurderet ud fra total-N - på under 0,11% af massen. Hvis materialet kunne medbehandles på biogasanlægget i Kettinge, anslås medbehandlingsprisen til 180 kr./m<sup>3</sup>. Det svarer til ca. 116 kr./PE for spildevandet fra Hummingen og til ca. 279 kr./PE for spildevandet fra Kramnitze. Prisforskellen skyldes forskellen i transporteret spildevandsmængde pr. PE de to steder.

Indholdet af kvælstof, fosfor og kalium, målt i mg pr. liter spildevand, udgør i Kramnitze kun ca. halvdelen af indholdet pr. liter spildevand i Hummingen. Der er ikke nogen entydig forklaring på det. Det kan være, at skyllemængden er større i Kramnitze end i Hummingen. Det kan også skyldes, at der er sket en ekstra bundfældning i tanken



i Kramnitze end i Hummingen på grund af tilførslen af kalk; men så skulle man forvente, at noget af det organiske stof også ville være bundfældet, så der alt i alt er udtaget en for tynd og ikke repræsentativ prøve. Det tyder indholdet af organisk stof imidlertid ikke på. Prøverne er udtaget straks efter, at spildevandet er suget ind i lagertanken. Ved vurdering af analyseresultaterne skal man dog være opmærksom på, at der kun er udtaget en prøve på hvert anlæg.

### ***Strømforbrug i vakuumsystemerne***

Strømforbruget de sidste 5 år i de to vakuumsystemer i Hummingen og Kramnitze er vist i tabel 8.3. Det svinger lidt fra år til år, formentlig som følge af variationen i de transporterede mængder. Mængderne er kun oplyst for 2001. Det ses, at strømforbruget pr. transporteret m<sup>3</sup> er ens for de to systemer. Strømforbruget pr. m<sup>3</sup> er desuden væsentligt mindre end i vakuumsystemet i toiletvognen på Stevns.

Tabel 8.3 El forbrug, el forbrug/PE og el forbrug/ m<sup>3</sup>.

Periode	Hummingen kWh	kWh/PE	kWh/m <sup>3</sup>	Kramnitze kWh	kWh/PE	kWh/m <sup>3</sup>
1997	121.221	64		118.492	110	
1998	83.479	44		111.666	103	
1999	86.232	46		124.804	116	
2000	111.778	59				
2001	77.629	41	64	101.652	94	61

### ***Spildevandsrensningen***

Det fremgår af tabel 8.1, at spildevandet fra vakuumsystemerne generelt behandles lokalt, enten mekanisk eller mekanisk-kemisk (figur 8.2). Kun spildevandet fra vakuumanlæggene i Sydfalster Kommune ledes til et kommunalt renseanlæg med biologisk rensning.



Figur 8.2 Slamtank på Kramnitze renseanlæg. Foto: Storstrøms Amt.



I de mekanisk-kemiske anlæg benyttes enten kalk eller aluminiumsulfat som fældningsmiddel. Efter bundfældning udledes det rensede spildevand til vandområdet, mens slammet typisk behandles på et konventionelt renseanlæg. I Rudbjerg Kommune har man forbedret og modificeret processerne på anlæggene i Hummingen og Kramnitze, bl.a. ved en forbedret kalkdosering, installering af syredosering og tilsætning af et bundfældningsmiddel (PAX 14). Andre og lignende tiltag for at forbedre bundfældningen i de mekaniske anlæg er sket i de andre kommuner i amtet, som har vakuum-anlæg.

Anlæggene er imidlertid af et forældet design, og nogle anlæg er nedslidte. Spildevandsrensningen må derfor betegnes som utidssvarende. Det vil blive nødvendigt at afskære spildevandet til andre anlæg eller at udskifte dem for at forbedre spildevandsrensningen. Det kan være relevant at overveje, om de eksisterende renseanlæg kan erstattes med biogasanlæg eller vådkomposteringsanlæg, så næringsstofpotentialet i spildevandet udnyttes.

#### Det grå spildevand

Der er primært beboere i sommerhusene sommerhalvåret, og det er derfor i den periode, der udledes mest gråt spildevand. Der er sjældent problemer med en høj grundvandsstand midt og sidst på sommeren, da kan det grå spildevand normalt nedsives uden problemer. Til gengæld opstår der jævnligt problemer med nedsivningen af det grå spildevand i vinterhalvåret i nogle af områderne.

Det er ikke her vurderet, om det er hensigtsmæssigt at nedsive det grå spildevand de pågældende steder. Hvis det grå spildevand skal behandles på en anden måde, skal der etableres transportsystemer til det.

#### **8.2.3 Sammenfatning**

Der er kun er få ejendomme i det åbne land med samletanke, selvom der kan være relativt mange i enkelte kommuner. Datagrundlaget er ikke så detaljeret, at det kan afgøres, hvor stor andelen af ejendomme er, som opsamler det "sorte" spildevand særskilt. Det "sorte" spildevand kan evt. recirkuleres ved, at materialet medbehandles på et biogasanlæg i stedet for at blive transporteret til et kommunalt renseanlæg, hvis der ligger et sådant inden for en passende afstand. Om det er økonomisk fordelagtigt/rentabelt afhænger til dels af, hvordan regnskabet gøres op, og kommer an på en konkret vurdering af de aktuelle lokale forhold.

Erfaringsindsamlingen fra de eksisterende større vakuumtoiletsystemer i amtet viser, at disse er godt 30 år gamle, noget nedslidte og meget vedligeholdelseskrævende, selvom kommunerne ved forskellige tiltag og information har nedbragt driftsproblemerne markant. Kommunerne har dog generelt ingen planer om at nedlægge vakuumtoiletsystemerne. Der er i nogle tilfælde problemer med at nedsive det "grå" spildevand, især i vinterhalvåret, og ønsker om at få bortskaffet dette sammen med det "sorte" spildevand. Men det vil være meget bekosteligt at etablere et nyt kloaksystem, som kan medtage alt spildevandet.

# 9 Erfaringer med vakuumtoiletsystemer i Sverige og Tyskland

## 9.1 Vakuumtoiletsystem i Bäl inge, Sverige

Bäl inge er en lille by med ca. 2.000 indbyggere, som ligger ca. 15 km nord for Uppsala. Her blev der i begyndelsen af 1970'erne etableret et vakuumtoiletsystem. Der er ca. 600 husstande med ca. 2.070 personer tilsluttet vakuumsystemet. Hvert hus har 2–3 vakuumtoiletter af mærket "Electrolux". Systemets ledningsnet har tre rørdimensioner, en hovedledning med Ø 75 mm, en stikledning med Ø 63 mm samt Ø 50 mm i huse-  
ne. Toiletterne kan udstyres til vandskyl med 0,8, 1,3 eller 1,5 l. Hovedparten af toilet-  
terne skyller med 1,3 eller 1,5 l (Norin 1996 A). Vakuumtoiletterne og vakuumsyste-  
met svarer til dem, der blev etableret i Storstrøms Amt i 1970'erne.

### **Måleresultater**

Den samlede materialestrøm gennem systemet er typisk på 24–27 m<sup>3</sup> pr. døgn. Bereg-  
net ud fra antallet af faste brugere er mængderne 11,59–13,04 l/pe/d. Ved et vandskyl  
på 1,5 l svarer det til, at der skylles 7,5 gange/pe/d. Årsagen til de store vandmængder  
kan også være, at der tilføres vaske- eller rengøringsvand (Norin 1996 A). Indholdet af  
tørstof og næringsstoffer i spildevandet er vist i tabel 9.1.

Tabel 9.1 koncentrationer af indhold-  
stoffer i spildevand fra vakuumtoilet-  
systemet i Bäl inge.

Stof	Enhed	Sort spildevand
Tørstof	%	0,75
Organisk materiale	%	0,53
Kvælstof	%	0,105
NH <sub>4</sub> -N	%	0,079
Fosfor	%	0,018
Kalium	%	0,029

Værdierne er middelværdier af resultater af  
5 analyser.

Kilde: Norin (1996 A).

Koncentrationerne i materialet fra Bäl inge svarer meget til koncentrationerne i materi-  
alet fra Hummingen for såvel TS, VS som næringsstoffer. Koncentrationen af NH<sub>4</sub>-N  
for materialet som helhed ligger under det niveau, som vurderes at kunne give proces-  
mæssige problemer ved termofil behandling i et biogasanlæg (jf. kapitel 11 om bio-  
gasanlæg).

### **Driftserfaringer**

Det var almindeligt med driftsproblemer i de første år efter etableringen, men der har  
kun været få driftsforstyrrelser i perioden 1985–1995 (Norin 1996 A).

## 9.2 Tegel viken i Kvicksund, Sverige

Det følgende er baseret på Norin et al (2000) samt på samtaler med forfatterne.

Tegelviken Skola, der ligger lidt nordvest for Eskilstuna, blev indviet i efteråret 1998. Skolen er udstyret med 43 EVAC vakuumtoiletter. Toiletterne skyller med 1–1,2 l pr. skyl. Rørsystemet består af svejsede PEH-rør Ø 50–Ø 75 mm. Anlægget drives af to vakuumpumper på hver 4,0 kW. Toiletterne skyller med 1–1,2 l pr. skyl til en 10 m<sup>3</sup> tank i armeret plast.

Vakuumtoiletterne og vakuumsystemet er nyere end de vakuumtoiletter og de vakuumsystemer til permanent vakuum, der er installeret i Storstrøms Amt i 1970'erne, men principperne er de samme.

Toiletvandet samles særskilt i en tank og transporteres ca. hver tredje uge i tankvogn med traktor ca. 3 km til et vådkomposteringsanlæg ved Sörby Gärd. Systemet er forberedt til at tilføre delstrømmen fra toilettet og en delstrøm af madrester ved hjælp af en køkkenkværn. Der tilføres i dag en begrænset mængde madaffald for at hæve TS og VS i spildevandet. Der er dagligt ca. 500 personer på skolen.

### **Måleresultater**

Der blev i 1999 taget prøver af tre opsamlede portioner ("batch") fra tanken. For det sorte spildevand regnes med i gennemsnit ét skyl/pe/d. De gennemsnitlige koncentrationer af indholdsstoffer som procent af massen fremgår af tabel 9.2.

Tabel 9.2 Koncentrationer af indholdsstoffer opsamlet fra vakuumtoiletsystemet på Tegel viken skola.

Stof	Enhed	Sort spildevand
Tørstof	%	0,27
Organisk materiale	%	0,14
Kvælstof	%	0,088
NH <sub>4</sub> -N	%	0,087
Fosfor	%	0,006
Kalium	%	0,05

Kilde: Norin et al (2000).

Koncentrationerne af TS og VS er meget lave, meget lavere end i Hummingen og Kramnitze. Koncentrationen af kvælstof ligger mellem koncentrationerne på de to andre lokaliteter, men fosfor ligger under. Det lave indhold af organisk materiale gør egentlig materialet uegnet til behandling på vådkomposteringsanlægget. En del af forklaringen fremgår af nedenstående driftserfaringer. De lave koncentrationer viser, hvor galt det kan gå, hvis ikke en række såvel tekniske, fysiologiske som adfærdsmæssige betingelser opfyldes.

Det første år opsamledes der ca. 180 m<sup>3</sup> sort spildevand fra vakuumtoiletterne svarende til ca. 0,5 m<sup>3</sup>/dag eller ca. 11 liter pr. toilet og dag. De to vakuumpumper har i gennemsnit arbejdet 2,3 timer pr. dag med et forbrug på 8,6 kWh pr. dag svarende til ca. 3.000 kWh/år og 70 kWh/vakuumtoilet. Strømforbruget bliver således ca. 17 kWh/m<sup>3</sup> spildevand. Strømforbruget ligger over, hvad der kan forventes for de vakuumtoiletsystemer med midlertidigt vakuum, som er etableret i projektet i Nysted Kommune i projektet.

### ***Driftserfaringer***

Vakuumsystemet har stort set fungeret problemløst, og brugerne opfatter det som et velfungerende toiletsystem. Mange af eleverne syntes dog, at toiletterne gav en forstyrrende støj. Der har været del stop i systemet forårsaget af, at beklædningsgenstande er blevet skyllet ud i systemet.

Det har ikke været muligt at opsamle bundslammet i opsamlingstanken med den pumpe, som landmanden har til rådighed til tømningen, hvilket har medvirket til de lave koncentrationer af indholdsstoffer, der er målt (se tabel 13.2) (Norin et al. 2000). Spørgsmålet er, om ikke de fleste skolebørn kun tisser på skolen og afleverer fækalierne på toilettet hjemme. I så fald vil det resultere i et lavere indhold af tørstof og organisk stof i spildevandet.

### ***Behandlingspris i vådkomposteringsanlægget***

Det er på grund af en del driftsproblemer ikke muligt direkte at angive en behandlingspris. Behandlingsprisen bliver desuden bestemt af, om den beregnes af såvel det sorte spildevand som af gyllen og med hvilken fordeling. Alt efter beregningsmetode kan behandlingsprisen for det meget tynde spildevand sættes til 180–1.000 kr./m<sup>3</sup>. Bliver prisen sat efter det, det vil koste at behandle spildevandet alene, bliver det 1.000 kr./m<sup>3</sup>. Tages der udgangspunkt i en pris for et blandingsprodukt, hvor det ”tynde” spildevand behandles sammen med f.eks. gylle, bliver prisen 180 kr./m<sup>3</sup>.

### 9.3 Vakuumtoiletsystemer i Hannover, Tyskland

I et boligkompleks i bydelen Sahlkamp i Hannover er der i 1997-98 etableret et vakuumtoiletsystem for 32 lejligheder med i alt 80 personer. Systemet er etableret i forbindelse med moderniseringen af et socialt boligbyggeri fra 1962 i ejendommen Kugelfangtrift 90-96 (jf. figur 9.1). Der er etableret endnu et vakuumtoilet i forevisningslokalet i kælderen (jf. figur 4.2). Her blev der også etableret et kildesortierende vakuumtoilet i 1998. Ejendommen er i fire etager samt kælder og indgår i Öko-Technik-Park Hannover. Vakuumtoiletterne og vakuumsystemet er detaljeret beskrevet i Backlund (2002). Systemet og systemkomponenterne svarer til dem, der er installeret på Tegelviken Skola (se kapitel 9.2) og svarer i princippet til de vakuumtoiletter og de systemer med permanent vakuum, der er etableret i Storstrøms Amt i 1970'erne.



Figur 9.1 boligkompleks i bydelen Sahlkamp i Hannover, hvor der i 1997-98 er etableret et vakuumtoiletsystem for 32 lejligheder.

### **Vandforbrug**

I 1998 er der brugt 239 m<sup>3</sup> vand til skyl af vakuumtoiletterne. I 1999 og 2000 er tallene henholdsvis 234 m<sup>3</sup> og 269 m<sup>3</sup>. Hvis der ikke tages hensyn til, at der også bruges en del skyllevand til de to vakuumtoiletter i demonstrationslokalet, har der dagligt været anvendt i gennemsnit 20,5 l (1998), 20 l (1999) eller 22,6 l (2000) pr. toilet (Hesse 2000, 2001) (tabel 9.3).

Sat i relation til de ca. 80 beboere i lejlighederne er der tale om et vandskyl på i gennemsnit 8,2 l/pe/d (1998), 8,0 l/pe/d (1999) eller 9,2 l/pe/d, idet der hverken tages hensyn til hjemmefrekvens eller gæster. Med disse forudsætninger er der i gennemsnit i de tre første år skyllet med ca. 8,5 l/pe/d svarende til ca. 7 gange dagligt pr. beboer under forudsætning af et faktisk vandskyl på ca. 1,2 l/skyl.

Tabel 9.3 Vandforbrug til skyl af vakuumtoiletter (Hesse 2000, Hesse 2001, Backlund 2002).

Periode	Samlet vandskyl pr. år m <sup>3</sup>	Samlet vandskyl pr. dag liter	Samlet vandskyl pr. toilet og år m <sup>3</sup>	Dagligt vandskyl pr. toilet liter	Samlet vandskyl pr. person og år m <sup>3</sup>	Dagligt vandskyl pr. person liter
1998	239	655	7,47	20,5	2,99	8,2
1999	234	641	7,31	20	2,93	8,0
2000	269	737	8,41	23	3,36	9,2

## Energiforbrug

Tabel 9.4 Strømforbrug til drift af vakuumtoiletsystemet samt antal samlede arbejdstimer for vakuumpumper og spildevandspumper (Hesse 2000, Hesse 2001, Backlund 2002).

Periode	Samlet årligt forbrug kWh	Forbrug pr. person og år kWh	Forbrug pr. person og dag kWh	Forbrug pr. m <sup>3</sup> skyllevand kWh	Arbejdstid vakuumpumper pr. år timer	Arbejdstid spildevandspumper pr. år timer
1998	3.300	41,63	0,1141	13,93		
1999	2.547	31,84	0,0872	10,88	2.675	23
2000	1.858	23,23	0,0636	7,04	1.684	19

Strømforbruget til toiletsystemet er vist i tabel 9.4. I 1998 udgør det 3.330 kWh svarende til 41,63 kWh/pe/år. Det giver et strømforbrug pr. m<sup>3</sup> skyllevand på 13,93 kWh. I 1999 er strømforbrug pr m<sup>3</sup> skyllevand reduceret til 10,88 kWh og i 2000 til 7,04 kWh, dvs. strømforbruget er reduceret til halvdelen af forbruget i 1998. Reduktionen i strømforbruget afspejler reduktionen i arbejdstiden for vakuumpumperne og spildevandspumperne (tabel 9.4). Stort set hele strømforbruget går til de to vakuumpumper på hver 0,75 kW. En stor del af tiden arbejder pumperne imod lukkede ventiler for at fordampe vand i olien. Det kraftigt reducerede strømforbrug tyder på, at arbejdstiden imod lukkede ventiler er blevet betydeligt reduceret (Hesse 2000, 2001).

Strømforbruget pr. m<sup>3</sup> spildevand er væsentligt lavere i Hannover end på Tegelviken Skola (se afsnit 9.2). Vakuummotorerne er større på Tegelviken Skola, men det er muligt, at der også her kan reduceres på motorgang mod lukkede ventiler med store besparelser til følge.

Strømforbruget i Hannover, men også på Tegelviken Skola, er væsentlig lavere end i systemerne i Hummingen og Kramnitze (kapitel 8), men her er der begge steder tale om meget længere transportstrækninger. Desuden kan der være et relativt større strømforbrug i disse sommerhusområder om vinteren set i forhold til de transporterede spildevandsmængder, fordi der er permanent vakuum i systemerne.

## Støj

Der er målt på lyden fra vakuumtoiletterne og installationerne i 31 af de 32 lejlighedsentre, køkken og stue. Lydniveauet var højest i entreerne, hvor det lå fra 52 til 60 dB(A). I køkkenerne var lydniveauet lavere, 43–53 dB(A). Stuerne lå lavest med 35–52 dB(A). Maksimumværdierne for støj skal i Tyskland være mindre end eller lig med 60 dB(A) ifølge DIN 4109 og VDI 52219. Selv om samtlige målte værdier lå under grænseværdien opfattedes lydniveauet som højt (Triton-Format GmbH 1998C). Specielt ved skyl om natten kunne lyden være meget generende. Det reducerer lyden en del, hvis toiletlåget er lukket ved skyl. Støjniveauet i kælderen, hvor vakuumpumperne er monteret, er meget højt, når de kører, hvad de ofte gør. En anden type pumpe, der ikke arbejder for at fordampe vand, ville reducere tiden for støj i kælderen og evt. i lejligheder over kælderen.

Vakuumtoiletsystemer med midlertidigt vakuum, som er installeret i Nysted, støjer kun ved brug af toiletet, hvilket begrænser støjen. Ved et kildesortende toilet som i Bregninge optræder den endnu mere sjældent. I det nyeste koncept, hvor vakuummotoren er placeret i tanken, er lyden meget begrænset. Støjniveauet er ikke målt i projektet.

### ***Driftsproblemer***

Der har været en del driftsstop på grund af, at færelud, kattegrus m.m. er blevet skyllet ud i toiletterne.

#### 9.4 Sammenfatning

Erfaringerne fra Bålinge viser ligesom erfaringerne i Storstrøms Amt at det er muligt at drive et vakuumtoiletsystem med få driftsproblemer, men det forudsætter en løbende vedligeholdelse af systemet og information af brugerne. Volumener og koncentrationer muliggør her en medbehandling i et biogasanlæg eller et vådkomposteringsanlæg. Vakuumtoiletanlægget på Tegelviken Skola har også teknisk stort set fungeret uden problemer, men det materiale, som er tilført vådkomposteringsanlægget, er ikke velegnet til behandling i anlægget. Spildevandet er for "tyndt". Det viser betydningen af at overveje, hvor anlæg etableres, og hvordan de anvendes, herunder hvordan tanken tømmes. Det sociale boligbyggeri i Hannover, hvor beboerne ikke selv har bedt om et vakuumanlæg, er et sted, hvor der typisk kan opstå store problemer.



# 10 Vådkompostering og vådkomposteringsystemer

Vådkomposteringsanlæg kan indgå i forskellige systemer. Det kan være et privat eller offentligt ejet anlæg, som behandler organiske restprodukter fra industri, landbrug og husholdninger. Kombinationene af restprodukter, som behandles, kan være forskellige fra anlæg til anlæg. Et vådkomposteringsanlæg kan i princippet etableres i forbindelse med en landejendom. Landmanden arbejder da som kredsløbsentreprenør mod en m<sup>3</sup>-betaling for behandling af de restprodukter, der behandles på vådkomposteringsanlægget på gården. (se principskitse af det samlede system i figur 1.1 og figur 10.1))

I det følgende beskrives kort vådkompostering, vådkomposteringsprocesser, vigtige systemkomponenter samt nogle eksempler på vådkomposteringsreaktorer og erfaringer fra driften af enkelte anlæg, herunder økonomien.



Figur 10.1 Vådkomposteringsreaktor.  
Kilde: Alfa Laval Agri (brochure).



## 10.1 Vådkompostering

Vådkompostering (aerob termofil slamstabilisering) er en termofil biologisk behandlingsproces, som tilføres ilt. Energiindholdet i pumpbare biologiske restprodukter på slamform udnyttes i en reaktor til at generere en høj temperatur, ved hvilken organisk materiale hurtigt nedbrydes til bl.a.  $\text{CO}_2$  og vand. De biologiske restprodukter kan f.eks. være organiske restprodukter fra industri, gylle, spildevandsslam, koncentreret sort spildevand og kværnede madrester (Norin 1995 A, Norin et al. 2000). Der bruges elektricitet til at drive såvel beluftning som pumper i reaktoren. Det er meningen, at det beluftede materiale selv skal levere hovedparten af varmen i systemet. Den opnåede varme ønskes anvendt til at opnå en kontrolleret hygiejnisering. Det behandlede materiale (restproduktet) anvendes som flydende gødning i landbruget.

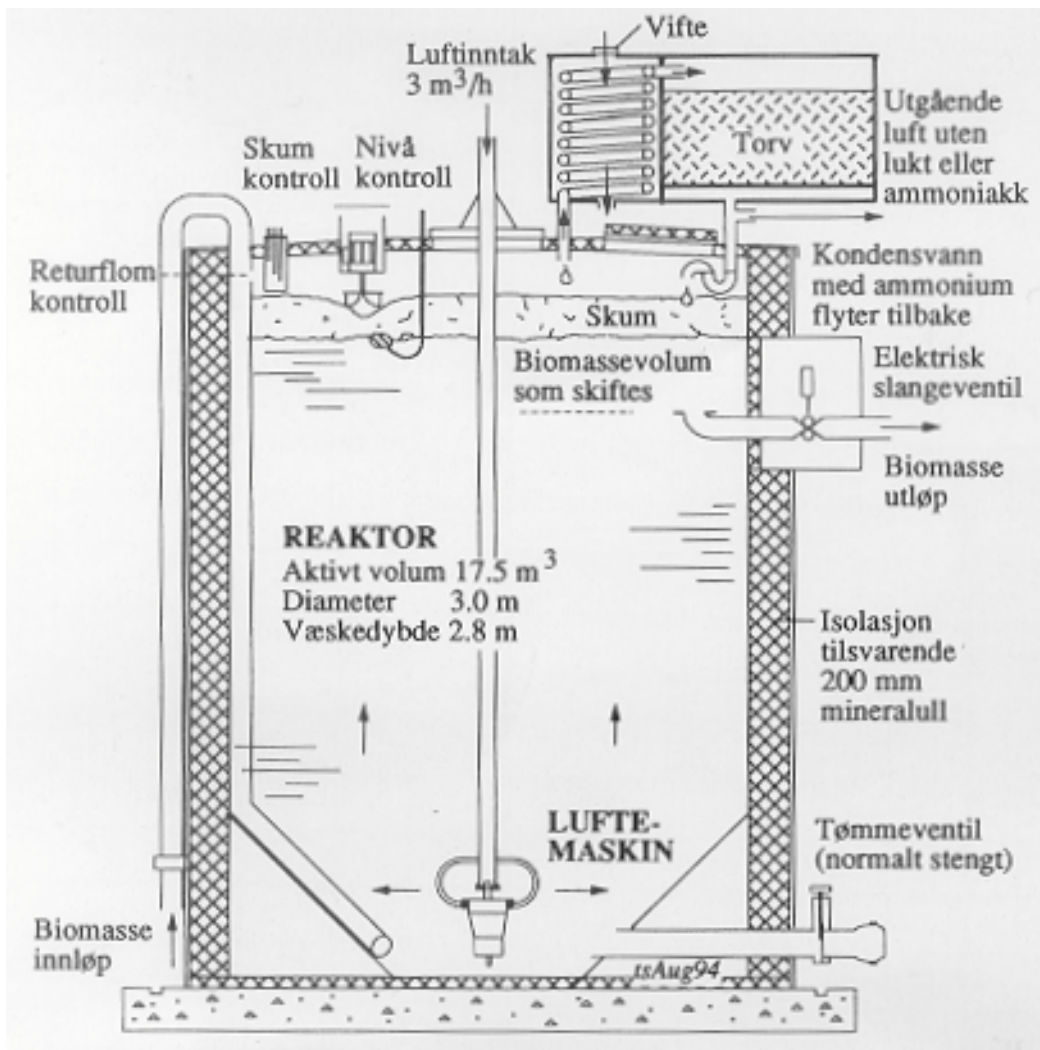
## 10.2 Vådkomposteringsprocesser

Den aerobe proces er en omsætning i form af aktiv iltning af slamformigt organisk materiale til bl.a.  $\text{CO}_2$  og vand. Den energi, der dannes ved iltningen, bruges dels til celleopbygning og frigøres dels som varme. Processen er karakteriseret af en høj temperatur, der i en velisoleret beholder kan komme op på 60–65°C, hvis der er tilstrækkelig med energi i det behandlede materiale (Norin et al. 2000). En biologisk effekt på ca. 350 W/m<sup>3</sup> er målt ved pilotforsøg med behandling af sort spildevand og organisk husholdningsaffald. Mængden af energi, der henholdsvis bruges til celleopbygning og frigøres, afhænger af faktorer som materialesammensætning, mikroorganismer, pH og temperatur (Norin 1996 A).

Vigtige parametre for processen er ifølge Norin (Norin 1996 A) energiindholdet og viskositeten på det materiale, der skal behandles, samt iltningen og reaktorens varmebalance. I en velisoleret reaktor er det slamkvaliteten, der afgør, om det er muligt at nå den ønskede temperatur, og i så fald hvor hurtigt den kan nås.

Slamkvaliteten kan beskrives ved TS (tørsubstans) eller ved VS (indholdet af organisk materiale målt som glødetab af TS). Såvel den nedre som den øvre grænse for behandling af egnede våde fraktioner kan således karakteriseres ved begreberne TS/VS. Det angives hos Norin et al. (2000), at TS kan være 3–10%, men bør ligge på 4–8% med minimum 80% VS af TS ved en reaktor som beskrevet nedenfor. Der er en nedre grænse for, hvad indholdet af TS og VS kan være af hensyn til egenproduktionen af varme. Den er bestemt af energiindholdet i materialet. Der er også en øvre grænse, som er bestemt af muligheden for at pumpe, ilte og omrøre materialet. Når det primært drejer sig om behandling af restprodukter fra vandskyllende toiletter, er det kun den nedre grænse, der kan blive et problem.

Det er derfor helt åbenlyst, hvorfor der sættes fokus på minimering af skyllemængder i toiletter, opsamling af urin uden vandskyl og medbehandling af andre fraktioner som f.eks. madrester m.m.



Figur 10.2 Skitse af vådkomposteringsreaktor. Reaktoren er utviklet i samarbejde mellom institutt for tekniske fag ved Norges Landbrugshøjskole og Alfa Laval Agri.

Kilde: Brochure fra Alfa Laval Agri.

### 10.3 Vådkomposteringsreaktorer i drift

I Schweiz skulle der i 1990 ifølge Norin (1996 A) have været 23 anlegg til hygiejniseriing af spildevandsslam, der bygger på prosessen med aerob termofil behandling. I figur 10.2 er vist en skitse af en vådkomposteringsreaktor.

Der er ifølge Arild Breistrand (Alfa Laval Agri, Norge) indtil 1998 etablert 6 vådkomposteringsanlegg af Alfa Laval i Norge:

<u>Kommune</u>	<u>Slamtype</u>
Aremark Kommune	Kommunalt slam
Etnedal Kommune	Kommunalt slam + madaffald
Frøya Kommune	Kommunalt slam + fiskeaffald
Lillesand Kommune	Slagteriaffald
Meldal Kommune	Kommunalt slam + husdyrgødning
Norske Poetindustri	Processlam

Ifølge samtale med Skjellhaugen (1999) fra landbrugshøjskolen i Ås og Arild Breistrand (1999) er der to anlæg mere på vej på landbrug nær ved Fornebu Lufthavn uden for Oslo.

Alfa Laval's vådkomposteringsreaktorer er på henholdsvis 20 m<sup>3</sup> og 34 m<sup>3</sup>. Behandlingskapaciteten er henholdsvis 2,5 m<sup>3</sup>/døgn og 4,5 m<sup>3</sup>/døgn (Alfa Laval, brochure).

I reaktorerne har man behandlet forskellige blandinger af husdyrgødning, slagteriaffald, septisk slam, slam fra renseanlæg og madaffald. Det angives, at TS-indholdet bør ligge på 3-8%. (Alfa Laval, brochure).

I Sverige er der indtil nu kun etableret et enkelt anlæg (se kapitel 10.8). Det er placeret på en gård, Sörby Gård, nær Eskilstuna og behandler sort spildevand fra konventionelle vakuumtoiletter fra Tegelviken Skola i Kvicksund, som ligger ca. 3 km fra gården (se kapitel 9.2).

#### 10.4 Vådkomposteringsystem/Systemkomponenter

Drift af vådkomposteringsystemer kan principielt karakteriseres ved de to principper batchvis eller kontinuerlig drift.

##### ***Batchvis driftssystem***

Batchvis drift vil sige, at reaktoren fyldes med materiale, der færdigbehandles samlet i en kort og intensiv periode uden tilførsel af yderligere materiale. Efter tømning påfyldes en ny portion (batch), der gennemgår samme samlede proces.

##### ***Kontinuerligt driftssystem***

Kontinuerlig eller intermitterent drift vil sige, at det flydende restprodukt regelmæssigt, f.eks. en gang pr. dag, pumpes ind i anlægget. Hvis den hydrauliske opholdstid (den gennemsnitlige behandlingstid) skal være f.eks. minimum 7 dage, tilføres og fraføres der således 1/7-del af materialet dagligt.

##### ***Systemkomponenter***

Vådkomposteringsystemet har normalt et forlager, en reaktor med filter og styring og et efterlager. Materialet er pumpbart og kan pumpes fra den ene enhed til den anden. Alfa Laval-reaktoren er cylindrisk med en konisk bund. Den følgende beskrivelse bygger på Alfa Laval (brochure) og Norin et al. (2000). Reaktoren er fremstillet af glasfiberarmeret plast med 120 mm etafoam isolering på siderne og 60 mm på låget. Der er en række centrale anlægskomponenter i forbindelse med en vådkomposteringsreaktor herunder følgende:

##### Belufter

En kompressor pumper luft ind til en belufter, der er placeret i bunden af reaktoren og sørger for, at en passende iltmængde tilføres og fordeles i massen. Luftboblerne sørger samtidig for omrøring.

##### Skumskærere

Skumskærere i toppen af reaktoren sørger for at holde skumniveauet under kontrol. Elektroder overvåger niveauet.

##### Propelleromrører

En propelleromrører sørger for at blande eventuelt opstået flydeslam ind i massen. Omrøreren er normalt placeret kort under overfladen i reaktoren.

### Luftbehandling

Udgangsluften trykkes ved overtryk i reaktoren gennem en kondensator og et biofilter, som består af en isoleret beholder med naturtørv. Systemet skal forhindre afgang af ammoniak. Tørven skal holdes fugtig for at opnå et godt resultat og beregnes udskiftet en gang årligt.

### Styring

En computer styrer processen og registrerer temperaturer, flow m.m. Alarmer og fejl registreres automatisk.

## 10.5 Varmebalancestudier

Norin rapporterer (Norin 1996 A) et pilotforsøg gennemført i 1995 med behandling af tre forskellige restprodukter i et lille pilotanlæg. Resultaterne gengives komprimeret i det følgende og viser nogle sammenhænge mellem det behandlede materiales indhold af organisk materiale og varmeudviklingen.

### ***Batchvis behandling***

#### Batchvis behandling af restproduktblanding 1

Restproduktblanding 1 bestod af urin, fækalier, papir og skyllevand fra konventionelle vakuumtoiletter indeholdende 0,66% TS og 0,43% VS. COD var på 8,3 g/l. Dvs. en tynd blanding.

I en behandlingsperiode på 6 dage var den biologisk udviklede varme kun 18 kWh/m<sup>3</sup>, hvilket stort set blev opnået allerede efter 3 dage. Første dag gav ca. 9 kWh/m<sup>3</sup>, anden dag ca. 5 kWh/m<sup>3</sup> og tredje ca. 3 kWh/m<sup>3</sup>. Der var således slet ikke basis for at køre en kontinuerlig proces over 7 dage med udskiftning af 1/7-del af materialet om dagen. Temperaturen nåede 50,8 grader i begyndelsen af den femte dag. Den blev liggende stabilt den sjette dag, men det blev vurderet at skyldes tilført energi fra det tekniske udstyr. TS-indholdet reduceredes med 33%, organisk materiale med 42% og COD med 61%.

#### Batchvis behandling af restproduktblanding 2

Restproduktblanding 2 bestod af restproduktblanding 1 med tilsætning af madrester. Der var 7 kg tørsubstans fra vakuumtoiletter og 15 kg TS fra køkkenrester. Blandingen indeholdt 2,2 % TS, 1,8 % VS og 24,2 g COD/liter. Det vil sige, at blandingen var "tykkere" end restproduktblanding 1.

I en behandlingsperiode på 10 dage var den biologisk udviklede varme ca. 60 kWh/m<sup>3</sup>. Temperaturen nåede et maks. på 66,9 °C efter den sjette dag. De første 5 dage udvikledes i alt ca. 50 kWh/m<sup>3</sup>. VS blev i alt reduceret med 40% og COD med 55%. Det vurderes, at udbyttet kunne have været noget større ved en noget lavere temperatur.

#### Batchvis behandling af restproduktblanding 3

Restproduktblanding 3 bestod af restproduktblanding 1 samt køkkenrester og kvæggylle. Blandingen bestod af 4,5 kg TS fra vakuumtoiletter, 9,5 kg TS fra køkkenrester og 30 kg TS fra kvæggylle. TS-indholdet var 4,4% og VS 3,6%. Det vil sige, at blandingen var endnu "tykkere" end restproduktblanding 2.

Der udvikledes på 10 dage ca. 86 kWh/m<sup>3</sup> biologisk varme. En maks. temperatur nåedes den 10. dag med 68,1 °C. Beregninger viste, at der på 11 dage var udviklet ca. 2,0 kWh/kg tilført TS eller relateret til VS: 2,4 kWh/kg VS. Det vurderes, at udbyttet kunne have været større, hvis temperaturen havde været noget lavere.

## ***Kontinuerlig behandling***

### Kontinuerlig behandling af restprodukt 1

Forsøg gennemførtes ikke, da materialet havde for lav TS/VS-procent.

### Kontinuerlig behandling af restprodukt 2

Den biologiske varmeproduktion var på 7 dage 58 kWh/m<sup>3</sup> svarende til en biologisk varme på 3,2 kWh/kg VS. Reduktionen af TS var 36%, VS-reduktionen 43% og COD-reduktionen 55%.

### Kontinuerlig behandling af restprodukt 3

Den biologiske varmeproduktion blev på 7 dage kun ca. 50 kWh/m<sup>3</sup> svarende til 1,3 kWh/kg VS. Reduktionen af henholdsvis TS og VS var 24% og 29%.

## ***Sammenfatning***

Det var ikke muligt ved batch-vådkompostering i forsøgsreaktoren at få en god varmeudvikling alene baseret på sort spildevand fra vakuumtoiletter indeholdende 0,66% TS og 0,43% VS. Koncentrationerne var desuden for lave til at gennemføre en kontinuerlig vådkompostering.

En blanding af sort spildevand og organisk køkkenaffald med en TS på 2,2% og en VS på 1,8% gav ved batch-kompostering en betydelig varmeudvikling på 60 kWh/m<sup>3</sup> i løbet af 10 dage med en højeste temperatur på 66,9 °C. Ved kontinuerlig vådkompostering var varmeudviklingen 58 kWh/m<sup>3</sup> i løbet af syv dage

## 10.6 Energiforbrug

Angivelser af strømforbrug ved drift af vådkomposteringsanlæg spænder fra 19–35 kWh/m<sup>3</sup> behandlet råmateriale. Skjelhaugen (Skjelhaugen 1994) nævner et strømforbrug på 19 kWh/m<sup>3</sup> behandlet råmateriale i forbindelse med et Alfa Laval-anlæg. Forbruget skulle ved kontinuerlig drift ligge på 10-30 kWh/m<sup>3</sup> (Norin 1996 B). Alfa Laval opgiver ifølge Norin et al (2000) et normalt forbrug til 32 m<sup>2</sup>-reaktoren på ca. 35 kWh/m<sup>3</sup>. Skjelhaugen har ved samtale nævnt, at elforbruget i forbindelse med en 32 m<sup>3</sup> Alfa Laval-reaktor i Norge ved 7 dages kontinuerlig behandling var ca. 22 kWh/m<sup>3</sup>.

Elforbruget ved drift af Alfa Laval-reaktoren på Sörby Gård i Sverige (se kapitel 10.8) er ved god funktion beregnet til ca. 25 kWh/m<sup>3</sup> råslam. Det første år var forbruget dog på grund af indkørings- og driftsproblemer på 50 kWh/m<sup>3</sup> råmateriale. Norin et al. (2000) vurderer, at det er muligt at mindske energiforbruget yderligere ved hjælp af procesoptimering samt at udnytte den varme, der dannes i processen. Det anses for muligt at udnytte 50-60 kWh/m<sup>3</sup> råslam til eksterne opvarmningsformål.

## 10.7 Anlægs- og driftsudgifter

Omkostningerne til anlæg og drift af vådkomposteringsanlæg, som fremgår af dette afsnit, er dels baseret på erfaringer fra et anlæg i Norge, dels på teoretiske kalkulationer.

### ***Kontinuerligt vådkomposteringsanlæg***

#### Anlægsudgifter

Arild Breistrand, Alfa Laval (1998) nævner en pris på 900.000 NOK (norske kroner) ekskl. moms for en reaktor på 32 m<sup>3</sup> inkl. styring og fødepumpe til behandling af 1.500 m<sup>3</sup> slamformigt materiale pr. år frit leveret i Norge. Etnier m.fl. (1999) og Skjel-

haugen (1999) har en total anlægsudgift på ca. 1.300.000 NOK. Priser for et anlæg etableret i Sverige kan ses i afsnit 10.8.

#### Årlige driftsudgifter

Den årlige udgift til afskrivning, renteudgifter, vedligeholdelse og service, slamanalyser og el til drift af anlægget beregnes til ca. 175.000 NOK ved en årlig behandling af i alt 1.496 m<sup>3</sup> råmateriale med 3,9% TS sammensat af 1.370 m<sup>3</sup> slam (1,7% TS) og 126 m<sup>3</sup> madaffald (28% TS). Udgiften svarer til 117 NOK/m<sup>3</sup> eller 2999 NOK/kg TS. Ud fra disse tal er det muligt at lave forskellige kalkulationer over totaløkonomi for landmanden, hvis man kender de forskellige afgifter for at behandle og anvende restprodukterne.

#### **Batch-vådkomposteringsanlæg**

##### Anlægsudgifter

Norin (1996 B) angiver en overslagspris for etablering af et batch-vådkomposteringsanlæg til behandling af fækalier og madrester. Beregningsforudsætningerne er en spildevandsmængde (humane restprodukter inkl. skyllevand) på i alt 420 m<sup>3</sup> med en TS på 2,9% og en VS på 2,3% fra 193 personer i 55 husstande. Vakuumsystemet antages via et rør at levere fækalier kontinuerligt til en lagerbeholder. En behandling af den samlede lagrede mængde antages at finde sted en gang årligt i behandlingsbeholderen.

Udgifterne i 1996 ekskl. moms i dagens kurs (100 SEK = 81 DKK) var:

Opsamlingslager	162.000 kr.
Behandlingsdel inkl. biofilter	243.000 kr.
Jord- og elarbejde	<u>81.000 kr.</u>
I alt	<u>486.000 kr.</u>
I alt pr. husstand (55 husstande)	8.836 kr.
I alt pr. person (193 personer)	2.518 kr.
I alt pr. m <sup>3</sup> /år (420 m <sup>3</sup> )	1.157 kr.

#### **Driftsudgifter**

De beregnede årlige driftsudgifter til dette anlæg inkl. afskrivninger og renter i DKK ekskl. moms er baseret på et elforbrug på 3.000 kWh/år og et tilsyn på 15 timer årligt:

Elforbrug	1.620 kr.
Vedligeholdelse, tilsyn	6.480 kr.
Spredning af behandlet materiale	16.200 kr.
Prøvetagning, analyse	<u>4.050 kr.</u>
I alt drift	28.350 kr.
Kapitaludgifter	<u>50.544 kr.</u>
Samlede behandlingsudgifter	<u>78.894 kr.</u>
I alt pr. husstand	1.434 kr.
I alt pr person	409 kr.
I alt pr. m <sup>3</sup>	188 kr.

10.8 Erfaringer fra vådkomposteringsanlægget på Sörby gård i Sverige

Følgende korte erfaringsopsamling er baseret på Norin et al (2000) samt på personlige samtaler med forfatterne.

I 1998 blev der etableret et vådkomposteringsanlæg på Sörby Gärd 3 km uden for

Kvicksund. Anlægget behandler "sort" spildevand fra et nyetableret vakuumtoiletanlæg på Kvicksund skole i kombination med organisk køkkenaffald fra skolen og gylle fra gården. Vakuumtoiletanlægget og det sorte spildevand er beskrevet i kapitel 9.2.

Anlægget består af et forlager af betonelementer, som er placeret helt under jorden. Volumen på lagerbeholderen er 92 m<sup>3</sup>. Reaktoren er en 32 m<sup>3</sup> stor isoleret beholder produceret af Alfa Laval og efterlageret er en rund gyllebeholder i beton på 1.430 m<sup>3</sup>.

### **Anlægsudgifter**

Anlægsudgifterne var i 1998 ifølge Norin et al (2000) (priserne er omregnet til DKK ved dagens kurs: 100 SEK = 81 DKK):

Vådkomposteringsreaktor	810.000 kr.
For- og efterlager inkl. overdækning	372.600 kr.
Gravearbejde m.m.	202.500 kr.
Pumper, el-arbejde, øvrigt	<u>153.900 kr.</u>
I alt	<u>1.539.000 kr.</u>

De samlede anlægsudgifter var således på ca. på 1.000 kr. pr. m<sup>3</sup> årlig behandlingskapacitet.

### **Driftsudgifter**

Driftsudgifterne vurderes at ligge på ca. 34.830 + betaling til landmanden på Sörby Gård for afhentning af sort spildevand fra skolen, drift af anlægget med tilsyn og pasning (ca. 4 timer pr. uge) samt spredning af materialet på markerne.

Norin et al. (2000) har ikke beregnet de faktiske årlige udgifter til drift af anlægget ud fra det faktisk opsamlede materiale på grund af driftsproblemerne med anlægget, som har resulteret i meget "tyndt" spildevand (jf. kapitel 9.2). I stedet har han beregnet udgifterne på et fiktivt tilsvarende anlæg ved behandling af 1.495 m<sup>3</sup> materiale med en TS på 5,1%. Omregnet til årsudgifter i form af kapitaludgifter, service, vedligeholdelse, analyser og el giver det en udgift på 187.920 DDK/år svarende til 126 DKK/m<sup>3</sup>. Tallet indeholder ikke betaling til landmanden. Ved en anslået betaling for drift af anlæg samt spredning af behandlet materiale på 81.000 DKK bliver den årlige udgift 268.920 DKK svarende til 180 DDK/m<sup>3</sup>.

### **Driftserfaringer**

#### Driftsproblemer

Tekniske problemer med bl.a. brud på elkabler, uregelmæssigheder med temperaturmålere og niveauregulering samt automatisk motorstop resulterede bl.a. i, at temperaturen i reaktoren i hele efteråret 1998 ikke kom over 35°C. Anlægget begyndte fra midten af januar 1999 at fungere efter hensigten og har siden fungeret relativt godt bortset fra en sommerperiode i 1999. Der var i den indledende periode problemer med luftningsrøret, der lukkede helt til. Såvel skumskærer, iltningmaskine som propelomrører er blevet udskiftet. Mangelfuld udførelse af luftbehandlingssystemet skaber risiko for tab af 20–30% af kvælstoffet i det sorte spildevand.

#### Pasning og vedligeholdelse

Landmandens arbejde med pasning og vedligeholdelse har gennemsnitligt taget 4 timer pr. uge til bl.a. omrøring i forlageret mindst en gang om ugen samt diverse kontroller og tilsyn.

### Elforbrug

Anlæggets elforbrug i etableringsåret har med ca. 50 kWh/m<sup>3</sup> råmateriale været højt på grund af en række problemer med indkøring og drift af anlægget. Baseret på perioder med god funktion anslås el-forbrug til 25 kWh/m<sup>3</sup> råmateriale. Det anses for muligt at udnytte 50-60 kWh/m<sup>3</sup> råmateriale til opvarmningsformål (Norin et al 2000).

### 10.9 Sammenfatning

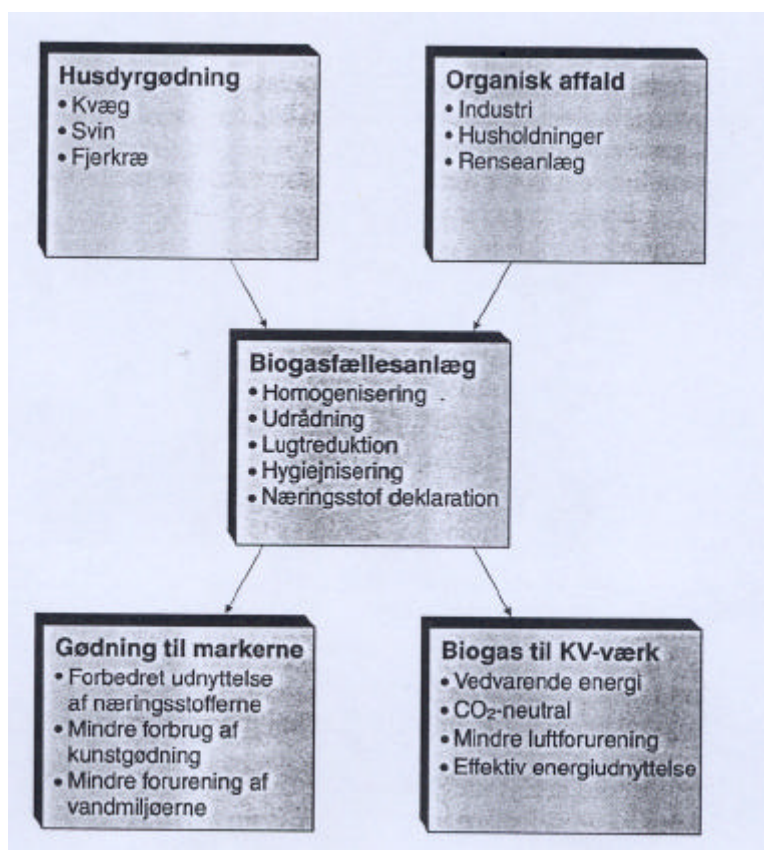
Der er ingen vådkomposteringsanlæg, der kun behandler sort spildevand. Behandling af sort spildevand i vådkomposteringsanlægget i Sörby foregår med store mængder gylle. Spildevandet skal have en højere koncentration af organisk materiale end spildevandet fra Tegelviken, dels af hensyn til den ønskede varmeudvikling i processen, dels af hensyn til udgiften til behandling. Når materialet er mere koncentreret, stiger behandlingskapaciteten for det sorte spildevand i anlægget, og anlægspris og behandlingspris pr. m<sup>3</sup> spildevand falder. Da der ikke er lovkrav om varmebehandling af gylle, kan der ikke kalkuleres med en behandlingspris for gylle, som kan medvirke til at holde udgiften nede for behandling af tyndt, sort spildevand. Nuværende kalkulationer må baseres på behandlingskrævende materialer som sort spildevand, septisk slam og organisk husholdningsaffald.





# 11 Bioafgasning og biogasanlæg

På et biogasanlæg produceres energi i form af biogas og et gødningsprodukt ud fra en tilførsel af organiske affaldsprodukter. Restprodukterne fra anlægget anvendes som gødning på landbrugsjord. Biogasanlæggene kan være gårdbiogasanlæg, biogasanlæg på renselanlæg eller biogasfællesanlæg. På gårdbiogasanlæg, som der er 19 stk. af i Danmark, er energi (gas) produktionen baseret på husdyrgødning. 65 danske renselanlæg har biogasanlæg til gasproduktion baseret på spildevandsslam. Den primære funktion er dog ikke gasproduktion men reduktion af slammængden. Der er desuden 20 biogasfællesanlæg med gasproduktion baseret på husdyrgødning, kildesorteret husholdningsaffald, spildevandsslam og organisk industriaffald. Husdyrgødningen er dog den største affaldsfraktion, som behandles på disse anlæg. Formålet er ligeledes en stabilisering og hygiejnisering af affaldet til fælles distribuering af afgasset gylle. Fem anlæg samudrårder kildesorteret husholdningsaffald med gylle eller spildevandsslam (Wrisberg et al 2000). Princippet for den overordnede proces for biogasfællesanlæg er vist i figur 11.1.



Figur 11.1 Princippet i et biogasfællesanlæg.

Kilde: Energistyrelsen 1995.

I det følgende beskrives meget kort bioafgasning, bioafgasningsprocesser og opbygningen af et biogasfællesanlæg eksemplificeret ved Nysted Biogas.

## 11.1 Opbygningen af et biogasanlæg

Opbygningen af Nysted Biogas beskrives kort som eksempel på et biogasfællesanlægget. Anlægget er valgt, fordi det ligger i samme kommune som de to vakuumtoiletsystemer, der undersøges i projektet. Nysted Biogas kan betragtes som potentiel modtager af det opsamlede koncentrerede "sorte" spildevand fra disse to ejendomme. Beskrivelsen er et uddrag af den miljøtekniske beskrivelse af anlægget, som danner grundlaget for anlæggets miljøgodkendelse.

Biogasanlægget kan ifølge miljøgodkendelsen behandle industriaffald, septiktankslam og husdyrgødning, forudsat produkterne opfylder de til enhver tid gældende krav til affaldsprodukter, som anvendes til jordbrugsformål (bekendtgørelse nr. 49 af 20. januar 2000 om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål). Anlægget modtager dog ikke septikslam, men mange forskellige organiske affaldsprodukter fra fødevarerindustrien og fra landbrugsproduktion.

Behandlingsprisen er for tiden 65–185 kr./m<sup>3</sup>, afhængigt af produktets kvalitet, dvs. indhold af tørstof og organisk stof (oplyst i maj 2002 af Palle Jensen, daglig leder af anlægget).

### ***Modtagetank og blandetank***

I modtagehallen afleveres biomassen i modtagetanken og opblandes ved hjælp af propelomrørere. Herfra pumpes materialet over i blandetanken, hvor der sker en yderligere opblanding/homogenisering.

### ***Varmeveksling og pasteurisering***

Biomassen fra blandetanken pumpes igennem 3 varmevekslere, opvarmes til 58-60 °C og ledes til en af de tre pasteuriseringstanke. Her hygiejniseres biomassen ved minimum 58-60 °C i mindst 1 time.

### ***Reaktortanken***

Biomassen ledes til den nederste del af reaktortanken via varmeveksler 3. Herved sænkes temperaturen til 38 °C. Samtidig pumpes et tilsvarende volumen udrådnede biomasse ud fra bunden af reaktortanken, således at volumen af biomassen i reaktortanken er uændret. Opholdstiden er ca. 23 døgn, hvorunder op til 50% af biomassens organiske tørstofmængde omdannes til biogas, som løbende pumpes til gaslageret.

### ***Lagertank og gaslager***

Den udrådnede biomasse pumpes via varmeveksler 1 til lagertanken. Herved sænkes temperaturen til 25-30 °C. Lagertanken er bygget sammen med gaslageret, således at den gas, som afgives fra lageret, også opsamles. Fra lagertanken suges den afgassede biomasse til modtagehallen og køres til gyllebeholdere hos landmænd.

### ***Kraftvarmecentral***

Gassen blæses fra gaslageret til en gasmotorgenerator, hvorved der produceres el og varmt vand. Gasmotoren har en indfyret effekt på ca. 2,5 MW. Der er desuden en gas- og olieindfyret kedel med en indfyret effekt på ca. 2,5 MW, der anvendes som reserve i forbindelse med spidsbelastningssituationer og opstart af anlægget.

## 11.2 Bioafgasning af fækalier og urin

Bioafgasning er en anaerob mikrobiel omsætning/udrådning af organisk materiale som f.eks. kan være svinegylle, kvæggylle, spildevandsslam, organisk husholdningsslam eller restprodukter fra fødevarerproducerende industrier. Organisk materiale reduceres med 30–80% under bioafgasning.

Ved lokal opsamling af koncentrerede humane restprodukter vil det være muligt også at tilføre humant fækalt materiale evt. i kombination med human urin til medbehandling på biogasanlæggene. På denne måde ville det være muligt af udnytte biogaspotentialt og foretage en kontrolleret hygiejnisering for derefter at udnytte gødningspotentialt i landbruget.

### ***Biogaspotentialt***

Biogaspotentialt i humane fækalier og human urin er bestemt af indholdet af organisk materiale i restprodukterne. Del Porto (Del Porto et al. 2000) opererer med standardværdierne 42 g VS/p/d i humane fækalier svarende til ca. 93% af TS og 45 g VS/p/d i urin svarende til 75% af TS. Den årlige udsondring pr. person af VS baseret på disse standardtal er således ca. 15,3 kg VS i humane fækalier og 16,4 kg VS i human urin. Anlægges et forsigtigere skøn, kan der for de humane fækalier tages udgangspunkt i VS-procenten fra Del Porto et al., og for indholdet af tørstof hos Eilersen et al (se kapitel 3). På dette grundlag bliver indholdet af VS ca. 12,1 kg pr. person.

Sættes biogaspotentialt i et kg organisk materiale i form af humane fækalier og human urin til at være det samme som i primærslam, er potentialt 0,33 m<sup>3</sup> pr. kg. Biogaspotentialt i en persons totale årlige udsondring af organisk materiale bliver da ca. 4 m<sup>3</sup> biogas fra fækalierne og ca. 5,4 m<sup>3</sup> biogas fra urinen, i alt ca. 9,4 m<sup>3</sup> biogas. Foretages en beregning baseret på forudsætningerne i kapitel 12 om, at fækalierne "afleveres" i toiletet i hjemmet, og tilsvarende 0,9 l urin af en døgnproduktion på 1,5 l, samt at der anvendes 7 g papir, bliver det årlige biogaspotentialt ca. 4,3 m<sup>3</sup> i fækalier + papir samt ca. 3,0 m<sup>3</sup> i urin, i alt 7,3 m<sup>3</sup> ved 337 hjemmedage og uden indregning af tab i installationer, transport etc. Biogaspotentialt er størst i det andet beregningseksempel, fordi toiletpapiret er indregnet. Potentialt fra urinen bliver mindre, da en del af urinen er afleveret uden for hjemmet.

### ***Bioafgasningsprocesser***

Processerne differentieres på baggrund af procestemperaturer. Der skelnes mellem mesofil udrådning (20–52 °C.) og termofil udrådning (52–60 °C.). Der kan yderligere skelnes mellem anlæg, der behandler pumpbart materiale med TS < 10% eller fast materiale med TS > 10%.

#### NH<sub>4</sub>-N (ammonium) proceshæmning

NH<sub>4</sub>-N-proceshæmning kan især optræde ved termofile processer. Der er imidlertid usikkerhed om, hvilke niveauer den såkaldte inhibering optræder på og i hvilket omfang. Hæmning menes ifølge Tafdrup et al (1999) at kunne optræde ved 1,1 kg NH<sub>4</sub>-N/behandlet materiale, mens Hansen et al (1998) angiver, at hæmning først indtræffer ved koncentrationer over 4–5 kg/tons.

50% af N (kvælstoffet) i fækalier anslås til at være NH<sub>4</sub>-N, mens det ved urin er hele 94% af N. Koncentrerede fækalier indeholder alt efter standardtal fra 2,45 til 6,85 kg NH<sub>4</sub>-N/m<sup>3</sup> og urin fra 6,86 til 10,34 kg NH<sub>4</sub>-N. Koncentreret urin udgør således i sig selv et problem, selv om grænsen skulle være 5 kg NH<sub>4</sub>-N pr. m<sup>3</sup> masse svarende til 0,5%. Selv koncentrerede fækalier ligger betydeligt over den lave grænse på 1,1 kg NH<sub>4</sub>-N pr. m<sup>3</sup> masse svarende til 0,11%. Spørgsmålet er imidlertid, hvordan koncen-

trationerne vil være efter vandskyl i vakuumtoiletter, opsamlet og ført til behandling i et biogasanlæg.

# 12 Teoretisk beregning af koncentrationer i opsamlet materiale fra vakuumtoiletter

Følgende teoretiske beregninger er ment som pejlepunkter for forventede volumener af spildevand og koncentrationer af indholdsstoffer, der skylles ud af vakuumtoiletter. De kan medvirke til at kvalificere vurderingsgrundlaget for dimensionering af tanke, tømningfrekvenser, udgifter til tømning og behandling. De kan også benyttes til en vurdering af, om materialet (det "sorte" spildevand) kan være egnet til medbehandling på eksisterende biogasanlæg eller på nyetablerede vådkomposteringsanlæg til acceptable priser. Det er vigtigt at bemærke, at tab af indholdsstoffer i rørsystemer, i opsamlings-tanke eller ved transport ikke er forsøgt kvantificeret.

Det fremgår af tabel 3.2, at der er variation i standardtallene for volumen for og indhold i fækalier og urin. I det følgende anvendes 200 g volumen og 35 g TS/32 g VS (93% af VS) for fækalier og 1,5 l og 60 g TS/45 g VS for urin. Papir til fækalier sættes til 7 g svarende til 6 g TS/6 g VS.

## ***Fækalier***

Det er for ikke at undervurdere volumen og overvurdere koncentrationerne, at værdierne for fækalier fastsættes til 200 g (0,2 l) /pe/d og 35 g TS, 32 g VS, 1,5 g N, 0,5 g P og 0,6 g K pr person og dag. "Aflleveringen" af fækalerne antages at foregå en gang pr. dag pr. person på hjemmetoiletet.

## ***Urin***

Urin sættes til 1,5 l/pe/d og 60 g TS, 45 g VS, 11 g N, 1 g P og 1,5 g K pr. person og dag. Det er ligeledes for ikke at undervurdere volumener og overvurdere koncentrationer. Urinering af i alt 0,9 l urin, som svarer til 60% af døgnproduktionen, antages at foregå i hjemmet og at være fordelt på maks. fire til fem gange. Ved kildesortering medregnes ikke fejlsorteret urin i koncentrationerne for indholdsstoffer i separat opsamlet fækalt materiale.

## ***Toiletpapir***

Toiletpapir sættes lavt til 7 g/pe/d, heraf 6 g TS/VS. Der medregnes ikke næringsstofindhold i papiret. Toiletpapir brugt til urinering på kildesortering toilet forudsættes først udskyllet ved efterfølgende skyl af fækalier eller tilført en sanitetsspand.

## ***Skyllevand***

Der laves beregninger ud fra skyllevandsmængder på 0,6–1,5 l. Der medregnes ikke indholdsstoffer i skyllevandet.

## ***Andre tilførsler til toilettet***

Der tages ikke hensyn til eventuelt tilført rengøringsvand, rengøringsstoffer samt andet tilført materiale. Brugerne antages at være motiverede for optimal adfærd.

## Hjemmefrekvens

Hjemmefrekvensen antages at være 13–16 timer. Ved udregning af opsamlede volumener regnes med 337 dage i hjemmet pr. år.

## Skyllefrekvenser

Skyllefrekvenser for toiletter pr. person og dag (døgn) angives i Sundberg (1995) til 5–6. Skyllefrekvensen for kildesortierende vakuumpoiletter sættes til 1–2 fækale skyl og 4–5 urinskyll under opholdet i hjemmet. Skyllefrekvensen for kildesamlende vakuumpoiletter sættes til 5–6 under opholdet i hjemmet.

## Tab i rørsystemer og opsamlingstanke

Der er ikke taget hensyn til tab af tørstof (TS), organisk materiale (VS) og næringsstoffer i systemet.

## Tilførsler til hjemmetoiletet

I tabel 12.1 er de forudsatte tilførsler til hjemmetoiletet pr. person og dag af urin, fækalier og papir sammenfattet.

Tabel 12.1 Antaget tilførsel af volumen og indholdsstoffer fra urin, fækalier og toiletpapir.

Stof	Enhed	Urin	Fækalier	Papir	I alt
Masse (MS)	liter	0,9	0,2	-	1,1
Tørstof (TS)	gram	36	35	6	77
Organisk materiale (VS)	gram	27	32	6	65
Kvælstof (N)	gram	6,6	1,5	-	8,1
NH <sub>4</sub> -N	gram	6,2	0,8	-	7
Fosfor (P)	gram	0,6	0,5	-	1,1
Kalium (K)	gram	0,9	0,6	-	1,5

## 12.1 Volumen og koncentrationer af indholdsstoffer i samletanke efter vakuumpoiletter

Samtlige systemer har som udgangspunkt et tilbageførselspotential på 100% af indholdsstofferne i såvel urin som fækalier svarende til 91% af N, 83% af P og 44% af K i husspildevandet. Under de givne forudsætninger bliver der store forskelle på volumener og koncentrationer bestemt af skyllemængde pr. skyl af toilet samt skylleadfærd.

### 12.1.1 Kildesortierende WM-vakuumpoiletter

Resultaterne af beregningerne er præsenteret skematisk i tabel 12.2.

#### **Med tilførsel af urinblanding til særskilt opsamlingstank:**

#### **0,6 l skyl**

**A:** Ved et 0,6 l skyl med 200 g fækalier samt 7 g papir =  
0,8 l indeholder.: 5,1% TS, 4,8% VS, 0,188% N, 0,100% NH<sub>4</sub>-N, 0,063% P, 0,075% K.

**B:** Ved to 0,6 l skyl (1,2 l) med i alt 200 g fækalier samt 7 g papir =

1,4 l indeholder: 2,9% TS, 2,7% VS, 0,107% N, 0,057% NH4-N, 0,036% P, 0,043% K.

### **1 l skyl**

**C:** Ved et 1,0 l skyl med 200 g fækaler samt 7 g papir =

1,2 l indeholder: 3,4% TS, 3,2% VS, 0,125% N, 0,067% NH4-N, 0,042% P, 0,050% K.

**D:** Ved to 1,0 l skyl med i alt 200 g fækaler samt 7 g papir =

2,2 l indeholder: 1,9% TS, 1,7% VS, 0,068% N, 0,036% NH4-N, 0,023% P, 0,027% K.

### ***Med sammenblanding af urin og fækaler***

#### **0,6 l skyl**

**E:** Ved et 0,6 l fækalt skyl samt fire 0,1 l urinskyl =

2,1 l indeholder: 3,7% TS, 3,1% VS, 0,386% N, 0,333% NH4-N, 0,052% P, 0,071% K.

(1,0 l skyllevand + 0,2 l fækaler + 7 g papir + 0,9 l urin = 2,1 l).

**F:** Ved to 0,6 l fækalt skyl samt fem 0,1 l urinskyl =

2,8 l indeholder: 2,8% TS, 2,3% VS, 0,290% N, 0,250% NH4-N, 0,039% P, 0,054% K.

(1,7 l skyllevand + 0,2 l fækaler + 7 g papir + 0,9 l urin = 2,8 l).

#### **1 l skyl**

**G:** Ved et 1,0 l fækalt skyl samt fire 0,2 l urinskyl =

2,9 l indeholder: 2,7% TS, 2,2% VS, 0,280% N, 0,241% NH4-N, 0,038% P, 0,054% K.

(1,8 l skyllevand + 0,2 l fækaler + 7 g papir + 0,9 l urin = 2,9 l).

**H:** Ved to 1,0 l fækalt skyl samt fem 0,2 l urinskyl =

4,1 l indeholder: 1,9% TS, 1,6% VS, 0,198% N, 0,171% NH4-N, 0,027% P, 0,037% K.

(3,0 l skyllevand + 0,2 l fækaler + 7 g papir + 0,9 l urin = 4,1 l).

Tabel 12.2 Teoretiske koncentrationer af indholdsstoffer opsamlet fra kil-desortierende WM-vakuumtoiletter.

Parameter	Enhed	A	B	C	D	E	F	G	H
Fækalt skyl	antal	1	2	1	2	1	2	1	2
Urinskyl	antal	-	-	-	-	4	5	4	5
Total skyllemængde	liter	0,6	1,2	1,0	2,0	1,0	1,7	1,8	3,0
Masse	MS/pe/år m <sup>3</sup>	0,270	0,472	0,404	0,741	0,708	0,944	0,977	1,382
TS	% af MS	5,1	2,9	3,4	1,9	3,7	2,8	2,7	1,9
VS	% af MS	4,8	2,7	3,2	1,7	3,1	2,3	2,2	1,6
N	% af MS	0,188	0,107	0,125	0,068	0,386	0,290	0,280	0,198
NH4-N	% af MS	0,100	0,057	0,067	0,036	0,333	0,250	0,241	0,171
P	% af MS	0,063	0,036	0,042	0,023	0,052	0,039	0,038	0,027
K	% af MS	0,075	0,043	0,050	0,027	0,071	0,054	0,052	0,037

De høje koncentrationer af organisk materiale (de skraverede kolonner i tabellen) gør, at materialet kan behandles for sig selv eller som hovedbestanddel i et vådkomposte-



ringsanlæg. Alle eksempler på opsamlet materiale i tabel 12.2 vil være meget egnede til sambehandling med andet koncentreret materiale som gylle og andet organisk affald, der i forvejen behandles i et biogasanlæg. Indholdet af NH<sub>4</sub>-N er overalt under 0,5%. Alle opsamlinger, hvor fækalier og urin blandes sammen, indeholder over 0,11% NH<sub>4</sub>-N, og der er således risiko for, at de kan have en negativ effekt på processen i et termofilt biogasanlæg (jf. kapitel 11.2).

### 12.1.2 Kildesamlende WM-vakuumtoiletter

Resultaterne af beregningerne er fremstillet skematisk i tabel 12.3.

#### **0,6 l skyl**

**I:** Ved fire skyl à 0,6 l =

3,5 l indeholder: 2,2% TS, 1,9% VS, 0,231% N, 0,200% NH<sub>4</sub>-N, 0,031% P, 0,043% K.

(2,4 l skyllevand + 0,2 l fækalier + 7 g papir + 0,9 l urin = 3,5 l).

**J:** Ved fem skyl à 0,6 l =

4,1 l indeholder: 1,9% TS, 1,6% VS, 0,198% N, 0,171% NH<sub>4</sub>-N, 0,027% P, 0,037% K.

(3,0 l skyllevand + 0,2 l fækalier + 7 g papir + 0,9 l urin = 4,1 l).

**K:** Ved seks skyl à 0,6 l =

4,7 l indeholder: 1,6 %TS, 1,4% VS, 0,172% N, 0,149% NH<sub>4</sub>-N, 0,023% P, 0,032% K.

(3,6 l skyllevand + 0,2 l fækalier + 7 g papir + 0,9 l urin = 4,7 l)

#### **1 l skyl**

**L:** Ved fire skyl à 1 l =

5,1 l indeholder: 1,5% TS, 1,3% VS, 0,159% N, 0,137% NH<sub>4</sub>-N, 0,022% P, 0,030% K.

(4,0 l skyllevand + 0,2 l fækalier + 7 g papir + 0,9 l urin = 5,1 l).

**M:** Ved fem skyl à 1 l =

6,1 l indeholder: 1,3% TS, 1,1% VS, 0,133% N, 0,115% NH<sub>4</sub>-N, 0,018% P, 0,025% K.

(5,0 l skyllevand + 0,2 l fækalier + 7 g papir + 0,9 l urin = 6,1 l)

**N:** Ved seks skyl à 1 l =

7,1 l indeholder.:1,1% TS, 0,92% VS, 0,114% N, 0,099% NH<sub>4</sub>-N, 0,015% P, 0,021% K.

(6,0 l skyllevand + 0,2 l fækalier + 7 g papir + 0,9 l urin = 7,1 l).

Tabel 12.3 Teoretiske koncentrationer af indholdsstoffer opsamlet fra kildesamlende WM-vakuumtoiletter (som tabel 11.2)

Parameter.	Enhed	I	J	K	L	M	N
Skyl	antal	4	5	6	4	5	6
Total skyllemængde	liter	2,4	4,1	4,7	4,0	5,0	6,0
MS	MS/pe/år m <sup>3</sup>	1,180	1,382	1,584	1,719	2,056	2,393
TS	% af MS	2,2	1,9	1,6	1,5	1,3	1,1
VS	% af MS	1,9	1,6	1,4	1,3	1,1	0,92
N	% af MS	0,231	0,198	0,172	0,159	0,133	0,114
NH <sub>4</sub> -N	% af MS	0,200	0,171	0,149	0,137	0,115	0,099
P	% af MS	0,031	0,027	0,023	0,022	0,018	0,015
K	% af MS	0,043	0,037	0,032	0,030	0,025	0,021

Materialet er kun egnet til sambehandling med affald/restprodukter med et væsentligt højere tørstofindhold og indhold af organisk materiale i et biogasanlæg. "I" kunne teoretisk være grundsubstans ved behandlingen i et lille nyetableret vådkomposteringsanlæg, men systemet ville i praksis blive meget sårbart.

Samtlige værdier for NH<sub>4</sub>-N ligger langt under 0,5% (den høje grænse for ammoniumhæmning), men alle bortset fra N ligger over den lave grænse på 0,11% (jf. afsnit 11.2).

### 12.1.3 Traditionelle kildesamlende vakuumtoiletter

Resultaterne af beregningerne er fremstillet skematisk i tabel 12.4.

#### **1 l skyl, 4 skyl**

**O:** Ved fire skyl à 1 l =

5,1 l indeholder: 1,5% TS, 1,3% VS, 0,159% N, 0,137% NH<sub>4</sub>-N, 0,022% P, 0,029% K.

(4,0 l skyllevand + 0,2 l fækaliier + 7 g papir + 0,9 l urin = 5,1 l).

#### **1 l skyl, 5 skyl**

**P:** Ved fem skyl à 1 l =

6,1 l indeholder: 1,3% TS, 1,1% VS, 0,133% N, 0,115% NH<sub>4</sub>-N, 0,018% P, 0,034% K.

(5,0 l skyllevand + 0,2 l fækaliier + 7 g papir + 0,9 l urin = 6,1 l).

#### **1 l skyl, 6 skyl**

**Q:** Ved seks skyl à 1 l =

7,1 l indeholder: 1,1% TS, 0,92% VS, 0,114% N, 0,099% NH<sub>4</sub>-N, 0,015% P, 0,030% K.

(6,0 l skyllevand + 0,2 l fækaliier + 7 g papir + 0,9 l urin = 7,1 l).

#### **1,2 l skyl, 4 skyl**

**R:** Ved fire skyl à 1,2 l =

5,9 l indeholder: 1,3% TS, 1,1% VS, 0,137% N, 0,119% NH<sub>4</sub>-N, 0,019% P, 0,036% K.

(4,8 l skyllevand + 0,2 l fækaliier + 7 g papir + 0,9 l urin = 5,9 l).

### **1,2 l skyl, 5 skyl**

**S:** Ved fem skyl à 1,2 l =

7,1 l indeholder: 1,1% TS, 0,92% VS, 0,114% N, 0,099% NH4-N, 0,015% P, 0,030% K.

(6,0 l skyllevand + 0,2 l fækalier + 7 g papir + 0,9 l urin = 7,1 l).

### **1,2 l skyl, 6 skyl**

**T:** Ved seks skyl à 1,2 l =

8,3 l indeholder: 0,93% TS, 0,78% VS, 0,098% N, 0,084% NH4-N, 0,013% P, 0,025% K.

(7,2 l skyllevand + 0,2 l fækalier + 7 g papir + 0,9 l urin = 8,3 l).

### **1,5 l skyl, 4 skyl**

**U:** Ved fire skyl à 1,5 l =

7,1 l indeholder: 1,1% TS, 0,92% VS, 0,114% N, 0,099% NH4-N, 0,015% P, 0,030% K.

(6 l skyllevand + 0,2 l fækalier + 7 g papir + 0,9 l urin = 7,1 l).

### **1,5 l skyl, 5 skyl**

**V:** Ved fem skyl à 1,5 l =

8,6 l indeholder: 0,90% TS, 0,76% VS, 0,094% N, 0,081% NH4-N, 0,013% P, 0,024% K.

(7,5 l skyllevand + 0,2 l fækalier + 7 g papir + 0,9 l urin = 8,6 l).

### **1,5 l skyl, 6 skyl**

**W:** Ved seks skyl à 1,5 l =

10,1 l indeholder: 0,76% TS, 0,64% VS, 0,080% N, 0,070% NH4-N, 0,010% P, 0,021% K.

(9 l skyllevand + 0,2 l fækalier + 7 g papir + 0,9 l urin = 10,1 l)

Tabel 12.4 Teoretiske koncentrationer af stoffer opsamlet fra kildesamlende vakuumtoiletter.

Parameter	Enhed	O	P	Q	R	S	T	U	V	W
Skyl	antal	4	5	6	4	5	6	4	5	6
Total skylle- mængde	liter	4,0	5,0	6,0	4,8	6,0	7,2	6,0	7,5	9,0
MS	MS/pe/år m <sup>3</sup>	1,719	2,056	2,393	1,989	2,393	2,798	2,393	2,898	3,404
TS	% af MS	1,5	1,3	1,1	1,3	1,1	0,93	1,1	0,90	0,76
VS	% af MS	1,3	1,1	0,92	1,1	0,92	0,78	0,92	0,76	0,64
N-tot.	% af MS	0,159	0,133	0,114	0,137	0,114	0,098	0,114	0,094	0,080
NH4-N	% af MS	0,137	0,115	0,099	0,119	0,099	0,084	0,099	0,081	0,070
P	% af MS	0,022	0,018	0,015	0,019	0,015	0,013	0,015	0,013	0,010
K	% af MS	0,029	0,025	0,021	0,025	0,021	0,018	0,021	0,017	0,015

Materialet er ligesom materialet fra kildesamlende WM vakuumtoiletter kun egnet til sambehandling med andet materiale.

Koncentrationerne af NH4-N ligger lige omkring de 0,11%, som svarer til den lave inhiberingsgrænse (jf. afsnit 11.2).

#### 12.1.4 Indhold i samletanke efter konventionelle vandbesparende toiletter

Resultatet af beregningerne kan ses i tabel 12.5.

##### **Konventionelt vandskyllende toilet med 3 l skyl**

###### **3 l skyl, 4 skyl**

**X:** Ved fire skyl à 3 l =

13,1 l indeholder: 0,59% TS, 0,50% VS, 0,062% N, 0,053% NH<sub>4</sub>-N, 0,008% P, 0,011% K.

(12 l skyllevand + 0,2 l fækaler + 7 g papir + 0,9 l urin = 13,1 l).

###### **3 l skyl, 5 skyl**

**Y:** Ved fem skyl à 3 l =

16,1 l indeholder.: 0,48% TS, 0,40% VS, 0,050% N, 0,043% NH<sub>4</sub>-N, 0,007% P, 0,009% K.

(15 l skyllevand + 0,2 l fækaler + 7 g papir + 0,9 l urin = 16,1 l).

##### **Vandbesparende kildesamlende toilet med 6/3 liter skyl**

**Z:** Ved et skyl à 6 l og tre skyl à 3 l =

16,1 l indeholder: 0,48% TS, 0,40% VS, 0,050% N, 0,043% NH<sub>4</sub>-N, 0,007% P, 0,009% K.

(15 l Skyllevand + 0,2 l fækaler + 7 g papir + 0,9 l urin = 16,1 l).

**Æ:** Ved to skyl à 6 l og tre skyl à 3 l =

22,1 l indeholder: 0,35% TS, 0,29% VS, 0,037% N, 0,032% NH<sub>4</sub>-N, 0,005% P, 0,007% K.

(21 l skyllevand + 0,2 l fækaler + 7 g papir + 0,9 l urin = 22,1 l).

Tabel 12.5 Teoretiske koncentrationer af indholdsstoffer opsamlet fra konventionelle vandbesparende toiletter.

Parameter	Enhed	X	Y	Z	Æ
3-l skyl	antal	4	5	3	3
6-l skyl	antal	-	-	1	2
Total skyllemængde	liter	12,0	15,0	15,0	21,0
MS	MS/pe/år m <sup>3</sup>	4,415	5,426	5,426	7,448
TS	% af MS	0,59	0,48	0,48	0,35
VS	% af MS	0,50	0,40	0,40	0,29
N	% af MS	0,062	0,050	0,050	0,037
NH <sub>4</sub> -N	% af MS	0,053	0,043	0,043	0,043
P	% af MS	0,008	0,007	0,007	0,005
K	% af MS	0,011	0,009	0,009	0,007

Koncentrationer af organisk materiale er ikke kun alt for lave til at generere processerne i sig selv, men også for lave til sambehandling med mere koncentreret materiale. De store volumener vil desuden gøre en medbehandling af materialet meget dyr. Næringsstofkoncentrationerne er meget lave, hvis restproduktet efterfølgende skal udnyttes som gødningsmiddel.



# 13 Indholdsstoffer i materiale opsamlet med andre teknikker

Der vil i det følgende blive præsenteret koncentrationer i materiale, der allerede i et vist omfang behandles i biogasanlæg, samt koncentrationer i materiale fra teknikker, der i fremtiden vil kunne levere materiale til biogas- eller vådkomposteringsanlæg.

## 13.1 Indholdsstoffer i hustanke

Slammet fra bundfældningstanke på enkeltejendomme behandles ofte på renseanlæg men behandles også i nogle tilfælde i biogasanlæg på renseanlæg eller på biogasfællesanlæg. Slammet indeholder typisk ca. 10% af N, 10% af P og 5% af K i husspildevandet. Opsamling ved hjælp af vakuumtoiletter i kombination med en samletank er et alternativ til opsamling ved hjælp af almindelige toiletter og en hustank. Ved vakuumtoiletter og samletank er der en teoretisk mulighed for opsamling af 80% af N, 55% af P og 44% af K i husspildevandet (se kapitel 3). Norin (1995 B) angiver, at slam fra hustanke normalt har et tørstofindhold på ca. 1%. Måleresultater vedrørende indhold i slam fra hustanke på ejendomme i ikke-kloakerede ejendomme i Svalöv Kommune i Sverige viste imidlertid et højere tørstofindhold. Måleresultaterne fremgår af tabel 13.1.

Tabel 13.1 Tørstofprocent, organisk materiale og indhold af næringsstoffer i slam fra hustanke.

Stof	Enhed	Middelværdi	Medianværdi	Standardafvigelse	Vægtet værdi
Tørstof	% af MS	2,3	2,1	1,45	2,2
Organisk materiale	% af MS	1,6	1,5	0,14	1,5
Kvælstof	% af MS	0,08	0,07	0,02	0,07
NH <sub>4</sub> -N	% af MS	0,03	0,01	0,02	0,02
Fosfor	% af MS	0,03	0,03	0,07	0,03
Kalium	% af MS	0,014	0,009	0,009	0,008

Kilde: Almedal 1998.

Ifølge de teoretiske udregninger i kapitel 12 er det muligt at opsamle større koncentrationer af tørstof og organisk materiale ved hjælp af kildesorterende vakuumtoiletter i kombination med samletanke end de koncentrationer, der er målt i slam fra bundfældningstanke. Ved brug af kildesamlende toiletter skal der imidlertid få skyl på 0,6 l til, før koncentrationerne bliver lavere end i bundfældningstankene. Hvis et tørstofindhold på ca. 1% i slam fra hustanke imidlertid skulle vise sig at være mere repræsentativt, vil også de kildesamlende vakuumtoiletter med større vandskyl kunne give en koncentration, der er tilsvarende eller højere end i hustankslammet.

De kildesorterende vakuumtoiletter giver desuden mulighed for væsentligt højere koncentration af kvælstof og kalium end i slam fra bundfældningstanke samt en koncentration af fosfor på samme niveau eller lidt højere. De kildesamlende vakuumtoiletter giver mulighed for en noget højere koncentration af kvælstof, en højere koncentration af kalium, men kun en lavere koncentration af fosfor. Forholdene ændrer sig også her til fordel for vakuumtoiletterne, hvis det viser sig, at et repræsentativt indhold af TS, og hermed også af næringsstoffer, er lavere.

### 13.2 Indholdsstoffer efter separation i en "Aquatron"

En kombination af et kildesamlende toilet med 3 l skyl eller et kildesorterende dobbelt-skyllende toilet samt en "Aquatron"-separator er også en potentiel mulighed. Herved kan der også opsamles humane restprodukter ("sort" spildevand) i samletanke med henblik på behandling i et vådkomposterings- eller biogasanlæg. Tal for faktisk opsamlede koncentrationer eller beregninger af teoretiske koncentrationer kan sammenlignes med tilsvarende tal for materialer opsamlet med vakuumtoiletter.

"Aquatron 3000" er en cyklonseparator. Konstruktionen består af et snegleformet plastkar, der er udformet således, at der i kraft af vandets hastighed, centrifugalkraften, gravitation og overfladespænding sker en fysisk separation af fast materiale af en vis partikelstørrelse fra vand. Der er 2 afløb fra Aquatron 3000, et partikelafløb og et væskeafløb. Det er meningen, at det faste materiale skal falde ned i midten og via et udløb havne i en beholder, som separatoren er monteret på. Vandet skal følge karrets inderside og via et andet udløb føres til lokal eller central behandling. Separatoren er nærmere beskrevet i Backlund 2002.

Der er solgt over 3.000 separatore siden 1986. De allerfleste i Sverige. Der er ikke kendskab til installationer i Danmark. Aquatron anvendes i Sverige mellem et eller flere vandsskyllende toiletter og en kompostenhed, men den kan også anvendes i forbindelse med en samletank.

Alt efter installation og drift kan samletanken optimalt tilføres 70–80% af næringsstofferne i fækaliene. Det tilførte tørstofindhold kan teoretisk blive op til 5-10% ved optimal installation af et kildesorterende toilet med 3 liters fækalt skyl og optimal papirhåndtering. Procenterne afhænger dog også af udgangskoncentrationen i de koncentrede fækalier. Der er set et eksempel på en TS-procent på kun 0,2 i en firetagers ejendom med mange tilsluttede toiletter. Her er et fækalt skyl på 6–9 l og ugunstig papirhåndtering (se tabel 13.4) (Vinnerås 2001, Backlund 2002).

#### ***Opsamling i en sommerhusinstallation med "Aquatron" og et kildesamlende toilet (3 l skyl)***

Det følgende er baseret på en undersøgelse gengivet og vurderet detaljeret i Backlund 2002. Den undersøgte installation bestod af et kildesamlende toilet med 3 l skyl i kombination med en separator etableret i et sommerhus. Det horisontale fald på 110 mm-røret var 1% bortset fra den sidste meter, hvor faldet var 5 %.

Der blev i forsøgsperioden skyllet i alt 158 gange. Af de 158 skyl bestod de 27 skyl af urin + fækalier + papir, mens de resterende 131 udelukkende var skyl af urin uden papir. Der er ikke tal for henholdsvis tilført urin, fækalier og papir. Tabel 13.2 viser andelen af indholdsstoffer, der blev opsamlet fra partikelafløbet.

Tabel 13.2 Andel af indholdsstoffer i opsamlingen fra partikelafløbet i forhold til de samlede mængder fra partikel- og væskeafløb.

Stof	Enhed	Andel fra partikelafløbet
Tørstof	%	43,2
Organisk materiale	%	57,7
Kvælstof	%	11,8
NH <sub>4</sub> -N	%	6
Fosfor	%	29
Kalium	%	17,5

Kilde: Waldmaa 1986, Backlund 2002.

Vakuumtoiletter kan i princippet opsamle 100% af indholdsstofferne uden hensyn til tab i installationerne. Til sammenligning kan der i en installation med "Aquatron" opsamles fra 57, 7% af VS til 6% af NH<sub>4</sub>-N fra partikelafløbet. Tabel 13.3 viser koncentrationerne i det opsamlede materiale.

Tabel 13.3 Koncentrationer af indholdsstoffer i opsamlet materiale fra partikelafløbet.

Parameter	Enhed	Koncentration
Tørstof	% af MS	2,6
Organisk materiale	% af MS	2,2
Kvælstof	% af MS	0,123
NH <sub>4</sub> -N	% af MS	0,042
Fosfor	% af MS	0,034
Kalium	% af MS	0,036

Kilde: Waldmaa 1986, Backlund 2002.

Koncentrationen af organisk materiale er højere end samtlige værdier for kildesamlende vakuumtoiletter (se tabel 12.3 og 12.4), men under eller af samme størrelse som værdierne fra de kildesortierende vakuumtoiletter (se tabel 12.2). Koncentrationen af NH<sub>4</sub>-N vil ikke give problemer i termofile biogasprocesser.

### 13.3 "Ekoporten"

"Ekoporten" ligger i det sydlige Norrköping i Sverige. Det er en firetagers boligblok med tre opgange og i alt 18 lejligheder med ca. 40–45 beboere. Boligblokken ligger i et socialt belastet område. Der er i alt 22 kildesortierende, dobbeltskylende toiletter af mærket BB Dubletten. De 18 er placeret med en i hver lejlighed, og de resterende fire bl.a. i selskabslokalerne. Der er etableret to systemer, hvert bestående af 11 toiletter, en stor Aquatron separator samt en stor roterende kompostenhed ("ALE trumman") i ejendommens kælder. Vand fra separatoren og drænvand fra kompostenheden går via en trekammerbrønd til et sandfilter. Der har siden etableringen i 1996–1997 været store problemer med en meget lav tørstofprocent i den "faste del" (Weglin & Vinnerås 2000, Vinnerås 2001, Backlund 2002).

Beboerne er blevet opfordret af kommunen til at skylle papir anvendt ved urinering ud med det fækale skyl. Toiletternes fækale skyllemængde er på 6 l, nogle har endda 9 l. Den beregnede fækale skyllevandsmængde er 28,2 l/p/d. Tallet er beregnet ud fra vurderet skyllevandsmængde og antal skyl. Den gennemsnitligt opsamlede totalmængde fra de to strømme fra separatoren er 30,1 kg/p/d ± 2,3 kg (Weglin & Vinnerås 2000, Vinnerås 2001, Backlund 2002).

Måleresultater fra prøvetagninger i form af koncentrationer af TS, VS og næringsstoffer i opsamling fra partikelafløbet fremgår af tabel 13.4.



Tabel 13.4 Koncentrationer i masse opsamlet fra partikel afløbet.

Parameter	Enhed	B1	B2	B3	B1-B3
TS	% af MS	0,18	0,15	0,33	0,22
VS	% af MS	0,12	0,10	0,24	0,16
N	% af MS	0,023	0,024	0,037	0,028
NH <sub>4</sub> -N	% af MS				
P	% af MS	0,003	0,003	0,007	0,004
K	% af MS	0,010	0,011	0,018	0,013

Kilde: Weglin & Vinnerås 2000, Vinnerås 2001.

Koncentrationerne er for lave, så selv en sambehandling med andet materiale vil være uden interesse. Koncentrationen af organisk materiale er lavere end selv de teoretiske værdier for opsamling fra konventionelle vandbesparende toiletter (se tabel 12.4). Næringsstofkoncentrationerne gør ligeledes materialet til et meget "tyndt" gødningsmiddel. Samtlige koncentrationer ville have været væsentlig højere, hvis der alternativt var blevet installeret vakuumpoiletter i ejendommen.

### 13.4 Opsamlings-/komposttoiletter

Opsamlet fækalt materiale i små, enkle toiletter, der ikke ønskes eller kan komposteres lokalt, kunne med fordel medbehandles i biogasanlæg sammen med indholdet fra vakuumpoiletter. Materialet kan også danne grundlag for etablering af et lille vådkomposteringsanlæg.

Måleresultaterne fra Tyskland i tabel 13.5 gør det muligt at sammenligne stofkoncentrationer ved opsamling fra vakuumpoiletter med opsamling af fækalt materiale i tørklosetter/komposttoiletssystemer uden vandskyl. En række systemer er beskrevet i Holtze & Backlund 2002 og i Backlund et al 2002.

Tabel 13.5 Indhold af tørstof, organisk materiale og næringsstoffer i to komposttoiletter i Tyskland.

Parameter	Enhed	Kompost WSS*	Kompost EW**
Tørstof	% af MS	28,9	51,8
Organisk materiale	% af MS	17,6	15,9
Kvælstof	% af MS	1,07	0,93
Fosfor	% af MS	0,55	0,36
Kalium	% af MS	1,07	0,83

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

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

Kilde: Kalkoffen et al 1995, Holtze & Backlund 2002.

Begge disse komposttoiletssystemer bruger toiletstole uden vandskyl.

Det fækale kompostmateriale, som har et indhold af organisk materiale på henholdsvis 17,6 og 15,9% af TS, kan føres til et biogas- eller vådkomposteringsanlæg. Her kan det hæve de lave koncentrationer i materialet fra vakuumpoiletterne og yderligere tilføre gode koncentrationer af næringsstoffer.

### 13.5 Sammenfatning

Vakuumtoiletter kan alt efter type, skylleadfærd, standardtal m.m. levere et mere eller mindre koncentreret materiale end de målte koncentrationer i hustankene. Aquatron-separatorer kan i enkle installationer give et materiale med en god koncentration af organisk materiale. Ved mange toiletter og lange rørsystemer med store fald kan koncentrationerne gøre materialet helt uinteressant til behandling i biogas- eller vådkomposteringsanlæg. Fækalt opsamlet materiale fra små enkle toiletter uden vandskyl kan give et godt tilskud af organisk materiale ved sambehandling med materiale fra f.eks. vakuumtoiletter.



# 14 Omkostninger ved vakuumtoiletsystemer på enkeltejendomme

I dette kapitel gøres der kort rede for de udgifter, der er forbundet med etablering og drift af vakuumtoiletsystemer uden permanent vakuum på enkeltejendomme. Der er taget udgangspunkt i erfaringerne fra det kildesorterende og det kildesamlende system, som er etableret i Nysted i forbindelse med projektet. Der sammenlignes med et konventionelt system med et dobbeltskylende toilet. Beregningerne er baseret på de teoretiske beregninger af opsamlede spildevandsvolumener i kapitel 12, fordi angivelsen af de opsamlede mængder i Nysted er meget usikker, og der mangler kendskab til skyllefrekvens og skylleadfærd, især med hensyn til besøgende.

## 14.1 Etablering

Etableringsomkostningerne omfatter dels indkøb af komponenter, dels udgifter til håndværkere. De anslåede udgifter ekskl. moms er sammenfattet i tabel 14.1. Tabellen omfatter også udgifterne til etablering af et konventionelt system med et dobbeltskylende toilet (3/6 liter).

Beløbene er de involverede håndværkeres bud på, hvad omkostningerne vil være, hvis de tidligere beskrevne "børnesygdomme" ved de enkelte komponenter er fjernet. Det er også en forudsætning, at der er givet en god instruktion og medsendt diverse monteringsvejledninger af god standard inden etableringen.

Udgiften til nedgravning af tank/tanke er angivet uden øvrigt grave- og rørarbejde, som vil afhænge helt af de konkrete forhold, og som til dels er uafhængigt af systemet. Der er dog dobbelt rørføring ved et kildesorterende system.

Tabel 14.1 Udgifter ekskl. moms til etablering af et vakuumtoiletsystem på en enkel tejeendom sammenlignet med udgifterne til etablering af et konventionelt toiletsystem.

Komponent	Kildesamlende vakuum-system kr.	Kildesorterende vakuumsystem kr.	Konventionelt dobbeltskylende toilet-system kr.
Toilet	6.000	5.000/6.000**	1.500
Vakuummotor + sluseventil	4.800	4.800	-
Tank nr. 1 (3 m <sup>3</sup> )	8.000	8.000	8.000
Tank nr. 2 (3 m <sup>3</sup> )	0	0/8.000	0
Entreprenør*	5.000	5.000/10.000	5.000
VVS montør	3.000	3.000	2.500
Elmontør	3.000	3.000	0
I alt	29.800	28.800/42.800	17.000

\* Udgift til nedgravning af tank, ekskl. øvrigt grave-/rørarbejde.

\*\* Der er to forskellige modeller.

Kilde: A & B Backlund ApS samt håndværkere og entreprenør i projektet.

Det fremgår af tabellen, at forskellen i etableringsomkostningerne for det kildesamlende og kildesortierende system afhænger af, hvor mange tanke der skal købes og graves ned. Desuden skal der tillægges en udgift til den dobbelte rørføring i det kildesortierende system. Det koster stort set det dobbelte at etablere et vakuumtoiletsystem i forhold til et konventionelt system med et dobbeltskylende toilet. Det fremgår af næste afsnit, om denne merudgift kan hentes hjem igen via driftsudgifterne.

## 14.2 Drift

Driftsudgifterne for toiletsystemerne omfatter udgifter til tanktømning og strøm samt til vedligeholdelse af komponenterne. Udgifterne hertil for de to typer vakuumsystemer samt til et system med et dobbeltskylende konventionelt toilet er vist i tabel 14.2. Af-skrivning og forrentning af investeringsomkostningerne er ikke medregnet. Det er forudsat, at det "grå" spildevand nedsives, og at det "sorte" spildevand behandles på et kommunalt renseanlæg. Hvis det skal medbehandles på et biogasanlæg, skal der betales afgift herfor. På biogasanlægget i Kettinge ville prisen i 2002 være ca. 180 kr. pr. m<sup>3</sup>. Herfra skal trækkes restproduktets gødnings-/nytteværdi.

De opsamlede spildevandsmængder pr. år. (regnet som 365 dage) er beregnet ud fra de teoretiske beregninger af volumener i kapitel 12 og en hustand på 2,5 PE, som er et karakteristisk antal i Storstrøms Amt (Storstrøms Amt 1998). For de kildesortierende vakuumsystemer er brugt scenarierne F og H (tabel 11.3), for de kildesamlende J og N (tabel 11.2) og for de konventionelle toiletsystemer scenarierne Z og Æ (tabel 11.5). Der er således ikke taget hensyn til spildevandsbidraget fra gæster i husstandene. Det er også forklaringen på, at de opsamlede spildevandsmængder er lavere, end hvad der reelt er opsamlet i Nysted (jf. kapitel 7).

I praksis betales samme tømningpris pr. tømning, uanset om tanken er på 1 eller 3 m<sup>3</sup>. For at kunne sammenligne udgifterne ved de forskellige systemer er den gennemsnitlige tanktømningpris i amtet på ca. 500 kr. for en typisk samletank på ca. 2 m<sup>3</sup> omregnet til en kubikmeterpris à 250 kr.

Tabel 14.2 Årlige driftsudgifter for et vakuumtoiletsystem på en enkel tejsendomme sammenlignet med udgifterne til etablering af et konventionelt toiletsystem.

Parameter	Kildesamlende vakuumsystem	Kildesortierende vakuumsystem	Konventionelt dobbeltskylende toiletsystem
Opsamlet spildevandsmængde m <sup>3</sup> pr. år	3,6–5,4	1,5–2,7	12,5-19
Elforbrug kWt pr. år	13–31	7–21	0
Udgifter			
Tanktømning kr. pr. år*	900–1350	325–675**	3.125-4.750
Elforbrug kr. pr. år ***	22-53	12-36.	
I alt kr. pr. år	922-1.403	337-711	3.125–4.750

\* Udgift til tanktømning afhænger af den enkelte kommunes takst, forudsat kommunen har en tanktømningssystem. Prisen er gennemsnitligt ca. 250 kr./ m<sup>3</sup> i Storstrøms Amt.

\*\* Udgiften bliver væsentligt mindre, hvis urinen udnyttes som gødning lokalt, og det kun er fækaliernes, som skal bortskaffes.

\*\*\* Udgiften til el: 1,7 kr. pr./kwt.

Kilde: Tabeller i kapitel 11, WM-Ekologen ab (brochure).

Det fremgår af tabel 14.2, at de årlige udgifter til drift af et konventionelt system, hvor et dobbeltskylende toilet er koblet til en samletank, er flere tusinde kroner større, end hvis der etableres et vakuumtoiletsystem. De større etableringsomkostninger for vakuumtoiletsystemet vil formentlig blive tjent ind over driften i løbet af få år (jf. afsnit 14.1). Dette under forudsætning af, at der ikke kommer væsentlige udgifter til vedligeholdelse/reparation af komponenterne.

Erfaringerne med vakuumtoiletsystemer til enkeltejendomme er endnu for få til, at det kan vurderes, om vedligeholdelsesudgifterne på vakuumtoiletsystemerne er større end på konventionelle toiletsystemer. Alt andet lige er der flere komponenter i vakuumtoiletsystemet, som kan gå i stykker; men teknikken er enkel. En anden ting er så, om det er rentabelt at medbehandle det "sorte" spildevand på et biogasanlæg. Afgiften til biogasanlægget vil næppe modsvares af reduktionen i tanktømmningsprisen. Er reduktionen af samme størrelse som kommunens udgift til at behandle spildevandet på et renseanlæg, vil den i Storstrøms Amt gennemsnitligt være på ca. 30 kr. pr. m<sup>3</sup>. Sammenlignes dette beløb med behandlingsprisen på biogasanlægget i Kettinge, som er 180 kr. pr. m<sup>3</sup>, er der en forskel på 150 kr. pr. m<sup>3</sup>. Denne forskel skal holdes op mod den fordel, der kan være ved at udnytte materialet til fremstilling af energi og som gødning, i stedet for at udlede spildevandet til vandmiljøet.



# 15 Diskussion

## **Anvendelsesområder for vakuumtoiletsystemer**

Vakuumtoiletsystemer kan være yderst relevante at bruge andre steder end i fly, på skibe eller i tog, hvor deres evne til at løfte og minimere spildevandsmængden kan udnyttes. De er f.eks. velegnede transportsystemer i områder, hvor terrænet ikke tillader eller vanskeliggør gravitationssystemer. Det forudsætter dog, at der kan etableres en acceptabel løsning til det grå spildevand.

Systemerne kan også bruges til særskilt, koncentreret opsamling af spildevand, som indeholder problematiske stoffer, f.eks. fra særlige afdelinger på sygehuse. I forbindelse med behandling af patienter med radioaktive isotoper (jod 131, Au – 198, P – 32 og SR –89) og efterfølgende udskillelse af radioaktivt materiale via toiletterne muliggør vakuumtoiletter særskilt opsamling af dette materiale i mere koncentreret form. Det kan så underkastes særskilt behandling, inden det ledes til et almindeligt renseanlæg (Roediger udateret, Roediger 2002). Det kan også være aktuelt ved andre medicinske behandlinger.

Hvor der på enkeltejendomme er etableret samletanke i kombination med almindelige vandskyllende toiletter, vil tømningmængder og frekvenser blive væsentligt lavere ved etablering af et vakuumtoilet. Spildevandet transporteres i øjeblikket til behandling på et kommunalt renseanlæg, hvor det risikerer at blive blandet med spildevand og slam af dårligere kvalitet. Hermed menes primært et større indhold af miljøfremmede stoffer. Opsamlet i koncentreret form kan det i stedet medbehandles på et biogasanlæg med henblik på udnyttelse af energiindholdet og senere tilbageførsel til landbruget som gødning. I forbindelse med eksisterende samletanke på enkeltejendomme og ved nyetableringer er det værd at overveje at etablere vakuumtoiletsystemer med midlertidigt vakuum. Det skal være installationer med kun et enkelt kildesamlende eller kildesortende vakuumtoilet uden vakuumentil.

Da vakuumtoiletsystemer er noget dyrere i anskaffelse end almindelige vandskyllende toiletter, er det en stor fordel, hvis de kan etableres i kombination med en nedsivningsløsning eller en anden relativt billig lavteknologisk løsning til det resterende "grå" spildevand. Det "grå" spildevand kan indeholde en betragtelig mængde miljøfremmede stoffer. En kombination af nedsivning med vakuumtoiletter forudsætter derfor, at det er i et område uden drikkevandsinteresser. Ved at tage det "sorte" spildevand fra til en recirkuleringsløsning bliver der kun udledt 9% af kvælstofindholdet og 17% af fosforindholdet af husstandenes spildevand, som skal renses. jf tabel 3.2. Det kan betyde, at kommunen kan stille et mindre krav til rensningen af det "grå" spildevand før det udledes til vandmiljøet, end hvis den totale spildevandsmængde udledes. Det kan f.eks. være aktuelt, hvis en ejendom ligger i et såkaldt SOP-område (jf. bekendtgørelse nr. 501 af 20. juni 1999), hvor der stilles skærpede krav til reduktionen af organisk stof, kvælstof og fosfor.

Det fremgår af kapitel 14, at de årlige udgifter til drift af et konventionelt system, hvor et dobbeltskylende toilet er koblet til en samletank, er flere tusinde kroner større, end hvis, der etableres et vakuumtoiletsystem. De højere etableringsomkostninger for vakuumtoiletsystemet vil derfor blive tjent ind over driften i løbet af få år (jf. tabellerne 14.1 og 14.2). En anden ting er så, om det er rentabelt at medbehandle det "sorte" spildevand på et biogasanlæg. Der skal under alle omstændigheder betales for tømning af



samletanken, typisk 500 kr. pr. tømning eller en m<sup>3</sup>-pris på ca. 250 kr. inkl. evt. afgift til kommunen for behandling af spildevandet på det kommunale renseanlæg. Afgiften til biogasanlægget for medbehandling der vil næppe modsvares af reduktionen i tanktømningsprisen, som formentlig vil svare til den pågældende kommunes afledningsafgift (m<sup>3</sup>-prisen for driften af kommunens spildevandsanlæg). Merudgiften til behandling af det "sorte" spildevand i biogasanlæg skal holdes op mod en vurdering af nytteværdien. Med nytteværdi tænkes her både på biogaspotentialet i de humane restprodukter og på den reducerede stofudledning til vandområderne samt genanvendelsen af restproduktet som gødning. Regnskabet er kompliceret og afhænger af de konkrete forhold. Behandlingsprisen kunne også tænkes at blive en anden, hvis der opsamles koncentreret "sort" spildevand fra mange husstande, og hvis køkkenaffaldet, som har et langt større tørstofindhold, medbehandles.

### ***Etablering og drift af vakuumtoiletsystemer med mange toiletter og permanent vakuum***

I kapitel 9 er to vakuumtoiletsystemer med mange toiletter og permanent vakuum beskrevet. På Tegelviken Skola og i en boligblok i Hannover er de etableret med henblik på opsamling og anvendelse af materialet i vådkomposterings- eller i biogasanlæg. Det har efterfølgende vist sig, at forventningerne ikke er blevet indfriet. Forud for etableringen er det vigtigt at gøre sig en række overvejelser om stedets egnethed. Opereres der med realistiske forventninger til, hvad der kan opsamles, og i hvilke koncentrationer? Er der taget højde for realistisk brugeradfærd på stedet i forhold til systemernes robusthed etc.?

På Tegelviken Skola fungerer vakuumtoiletsystemet stort set uden problemer, hvad teknikken angår. De opsamlede koncentrationer svarer dog slet ikke til det forventede, bl.a. på grund af, at eleverne og personalet sjældnere end forventet leverer fækalier til systemet. Men det skyldes også, at man ikke har en egnet pumpe til overførslen af det koncentrerede spildevand til lagertankene. En del af slammet bliver liggende i lagertanken. De udtagne prøver er derfor også for "tynde"; men selvom pumpen udskiftes, vil der stadig være tale om lave koncentrationer.

I det sociale boligbyggeri i Hannover belastes anlægget med materiale, der ikke må tilføres anlægget. Det fører til for mange driftsstop og behov for rensning af systemet oftere end forventet.

I Bälinge og i en del anlæg i Storstrøms Amt fungerer anlæggene alt i alt godt. De er dog væsentligt mere vedligeholdelseskrævende end gravitationssystemer. Ved forskellige tekniske ændringer af systemerne og gentagen information af brugerne har kommunerne reduceret driftsproblemerne meget. De kunne reduceres yderligere ved bedre forebyggende vedligeholdelse af toiletter og ventiler.

### ***Vakuumtoiletsystem med midlertidigt vakuum og et toilet til enkeltejendom***

Da systemerne ikke er udbredte, har håndværkere normalt ikke kendskab til systemet og systemkomponenterne. Det vurderes at være af stor betydning, at der foreligger et godt og fyldestgørende dokumentations- og montagevejledningsmateriale til såvel elektriker som VVS- og kloakmester. Vakuumtoiletsystemet var også noget helt nyt for husstandene i Nysted. Det er samtidig meget vigtigt med en god information til brugerne. Brugernes adfærd har stor betydning for nogle af de driftsproblemer, der kan opstå, og for, hvilke mængder og koncentrationer der tilføres samletanken.

### ***Systemkomponenter***

Finjustering af potentometerindstilling af især motorgang kræver især ved korte afstande omhyggelig indkøring for at sikre, at gangtiden giver den ønskede transport. Produ-

centen har udviklet en ny sluseventil, der monteres i tankhalsen. Den er sammenbygget med vakuumpumpen med en ny og mindre følsom motor. Dette system skulle være mindre følsomt over for "for lange" gangtider. Klapanordningen på sluseventilen er samtidig ændret. Komponenterne i styringsenheden burde dog også udskiftes med kraftigere komponenter. Potentiometrene er skrøbelige at stille på. Det vides ikke, om problemerne med korrekt motorarbejdstid for transport af materialet til tanken i Bregninge, skyldtes for kort afstand (ca. 3 m) eller manglende omhyggelighed med indstilling af arbejdstiden. Det vides heller ikke, om tidsindstillingen kunne have været ændret. Minimumsafstanden ved etablering af systemer er dog efterfølgende sat til 5 m.

### ***Strømforbrug***

Strømforbruget er meget lavt, da motoren kun arbejder i få sekunder pr. skyl. I det kildesortierende vakuumtoiletsystem bliver forbruget endnu lavere, da urin skylles i et gravitationssystem. Da der kun er tale om meget korte arbejdstider, er effekten i denne tid ikke sat til 1.400 W, men til 2.000 W. Strømforbruget er ubetydeligt og væsentligt lavere pr. person og pr. m<sup>3</sup> end ved permanentvakuum.

### ***Vandforbrug/koncentration af indholdsstoffer***

Vandforbruget kan blive lavere og koncentrationen af indholdsstoffer højere ved anvendelse af et kildesortierende vakuumtoilet frem for et kildesamlende vakuumtoilet. Spildevandet fra et kildesamlende toilet med midlertidigt vakuum kan endog blive mere koncentreret end fra de traditionelle vakuumtoiletter med permanent vakuum. Det afhænger dog af, hvordan man sætter skyllemængden pr. skyl og af skyllefrekvensen. Sætter man f.eks. skyllemængden til 0,6 l/skyl og skyller dobbelt så mange gange som ved 1,2 l/skyl, er der selvfølgelig ingen besparelse eller højere koncentration.

Det kildesortierende vakuumtoilet kan give store vandbesparelser og højere koncentrationer, da urin skylles ud med kun 0,1–0,2 l vand. Der er desuden fleksibilitet med hensyn til, om urin samt skyllevand skal opsamles i en særskilt tank eller føres sammen med fækalier, papir og skyllevand.

### ***Støj***

Støjniveauet i et hus med vakuums skyl er noget højere end ved skyl fra et almindeligt toilet med udløb til et gravitationssystem. Ved brug af et kildesortierende vakuumtoilet er der dog normalt meget få vakuums skyl i en husstand, da de fleste skyl vil være små urins skyl på kun 0,1–0,2 l, som udledes ved gravitation (uden vakuum). Disse skyl giver meget mindre støj end almindelige skyl. Det kan især have stor betydning ved natlige urins skyl, hvor det kildesortierende vakuumtoilets skyl knap vil kunne registreres. Placering af vakuumpumpe med motor på en væg ved installation på en enkeltejendom som i Bregninge og i Strandby giver kraftig og generende støj ved brug.

Det er i senere installationer undgået, fordi der nu bruges et nyt vakuumpumpe- og slusesystem, som placeres i tankhalsen.

### ***Rengøring***

De relativt små skyllemængder, som bruges i vakuumtoiletterne betyder, at toiletskålen ikke skylles så ren som i et konventionelt toilet. Toiletterne er mere rengøringskrævende. Beboerne i de to ejendomme i projektet synes ikke, det er et problem i dagligdagen, bl.a fordi de holder merarbejdet op mod vandbesparelsen. Men disse beboere har også valgt systemet. Det kan være sværere at acceptere, hvis man ikke selv har valgt, som f.eks. beboerne i det sociale boligbyggeri i Hannover.

### ***Vådkompostering af materiale fra vakuumtoiletsystemer***

Der er ikke kendskab til vådkomposteringsanlæg i Danmark. Der kan således kun blive tale om nyetablering af anlæg til behandling af materiale og ikke om medbehandling i eksisterende anlæg. De koncentrationer af organisk materiale, der er opmålt i store systemer med permanent vakuum i Storstrøms Amt samt i Sverige, indikerer, at materialet fint kan medbehandles i et vådkomposteringsanlæg. Koncentrationerne er imidlertid ikke høje nok til, at et vådkomposteringsanlæg kan fungere på dette materiale alene. Der er brug for at tilføre store mængder andet organisk materiale med væsentligt højere TS/VS. Det kunne være kværnet organisk husholdningsaffald. Der kunne også være tale om tørt opsamlet fækalt materiale fra toiletsystemer uden vandskyl fra f.eks. sommerhuse i områder, hvor materialet ikke kan komposteres eller ønskes komposteret i den enkeltes have. Hvis betingelserne ikke er til stede for en sikker tilførsel af behandlingskrævende materialer, der kan udløse en betalingsafgift, kan det blive nødvendigt at supplere med store mængder gylle. Men der er ikke krav om, at gylle skal behandles. Den økonomiske risiko bliver meget stor og den reelle behandlingspris kan, som i anlægget på Sörby Gård i Sverige, blive meget høj. På dette grundlag vurderes det, at det er mere realistisk og rentabelt at medbehandle det "sorte" spildevand på et eksisterende biogasanlæg.

Det er teoretisk muligt at opnå en koncentration af organisk materiale ved hjælp af kildesortering vakuumtoiletter i enkelthusstande, der gør, at materialet kan behandles helt alene eller med tilsætning af mindre mængder materiale med højt indhold af organisk materiale i et vådkomposteringsanlæg. Det kan give en behandlingspris på ca. 200 kr./m<sup>3</sup>. Den økonomiske risiko er dog også her betydelig, hvis der ikke er sikret leverancer af andre materialer med høj TS/VS. Kværnet organisk husholdningsaffald kan tilføres tankene sammen med materialet fra toiletterne og kan hæve den samlede TS/VS-procent. Materiale opsamlet ved hjælp af tørre toiletsystemer eller ved brug af en "Aquatron" kan også tilføres. Før etablering af et vådkomposteringsanlæg bør det undersøges, om det er muligt og bedre at transportere materialet til medbehandling i et eksisterende biogasfællesanlæg.

### ***Medbehandling i biogasfællesanlæg***

Det er oplyst af Palle Jensen (biogasfællesanlægget i Kettinge), at medbehandlingspriserne for organiske affaldsprodukter ligger på 65–180 kr./m<sup>3</sup>, bl.a. afhængigt af tørstofindholdet. Biogasanlægget ønsker imidlertid ikke at medbehandle "sort" spildevand, som sidestilles med spildevandsslam. Hvis et biogasfællesanlæg vil tage imod "sort" spildevand, kan den årligt producerede mængde fra en husstand (2,5 personer) med kildesortering vakuumtoilet behandles for maks. 122–334 kr. (fækalt materiale) eller 319–622 kr. (samlet materiale) baseret på en behandlingspris på 180 kr./m<sup>3</sup> og de teoretiske volumener i kapitel 12. Behandling af materialet fra kildesamlende vakuumtoiletter vil koste 531–1.532 kr. Det er imidlertid usikkert, om biogasanlægget vil acceptere de laveste koncentrationer.

Det vil være interessant at undersøge, hvad medbehandlingsprisen vil blive, hvis der var mulighed for at medbehandle opsamlet materiale fra vakuumtoiletsystemerne i Hummingen og Kramnitzem i biogasfællesanlægget i Kettinge.

### ***Proceshæmning i biogasanlæg ved tilførsel af NH<sub>4</sub>-N***

Niveauet af NH<sub>4</sub>-N i materiale fra Bälinge i Sverige ligger på 0,079% af den behandlede masse. Det er ikke så højt et niveau, at det som helhed kan forstyrre især termofile processer i et biogasanlæg (se kapitel 11.2). Det forventes heller ikke at være tilfældet med materialet fra Hummingen og Kramnitze. De teoretisk udregnede koncentrationer fra vakuumtoiletter i kapitel 12 viser dog, at koncentrationerne meget vel kan nå et så-

dant niveau. Anvendelse af kildesorterende vakuumtoiletter giver stor fleksibilitet. Det kan vælges, om urinen skal medbehandles på et biogasanlæg eller opsamles og anvendes særskilt. Urinblandingen indeholder langt størstedelen af  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Med al sandsynlighed vil det tilførte materiale dog kun udgøre en beskedent del af det samlede behandlingssvolumen. Spørgsmålet må undersøges nærmere i den aktuelle situation.

Der mangler desværre viden om de faktiske muligheder for overhovedet at tilføre de danske biogasfællesanlæg "sort" spildevand opsamlet fra vakuumtoiletter. Det er vigtigt at få afklaret. Samtidig bør det undersøges, hvilke krav der stilles til koncentration af organisk materiale og evt. til indholdet af  $\text{NH}_4\text{-N}$ . Behandlingspriserne for de enkelte biogasfællesanlæg samt afhentningspriserne skal kendes for at kunne kalkulere de totale omkostninger.

### ***Grundlag for de teoretiske udregninger af koncentrationer***

Det fremgår af kapitel 3, at der er meget stor forskel på standardværdier for volumen af og koncentrationer i human urin og humane fækalier. Der er i dette projekt anlagt forsigtige skøn ved at regne med koncentrationer baseret på 1,5 l udsondret urin og 0,2 l fækalier. Det har bl.a. stor betydning for TS/VS-koncentrationerne.

Beregningerne er ved opsamling af urin i kildesorterende vakuumtoiletter baseret på, at toiletpapiret tilføres en sanitetsspand. Hvis dette papir systematisk fejlagtigt tilføres fækalieafdelingen og skylles ud, bliver volumenerne væsentligt større og koncentrationerne af tørstof, organisk stof og næringsstoffer væsentligt lavere.

### ***Opsamling/tab af organisk materiale og næringsstoffer***

Det er vigtigt som supplement til de teoretiske beregninger at der bliver udført yderligere målinger af stofkoncentrationerne i det materiale, som er opsamlet i vakuumsystemer. De teoretiske beregninger af koncentrationer af organisk materiale og næringsstoffer er desuden eksplicit foretaget uden at kvantificere tab i opsamlingsystemet. Det er vigtigt med målinger, der kan give mere viden om størrelsen af disse tab alt efter skyllevandets hårdhed, lagringstid etc. At store mængder fosfor f.eks. kan tilbageholdes i urinsystemer er allerede kendt, men det vil også være nødvendigt at vide mere om tab af kvælstof og organisk materiale (Holtze & Backlund 2002, Backlund 2002).

### ***Undersøgelse af brugeradfærd***

Der er i dette projekt lavet en række teoretiske beregninger og indsamlet en række tal om volumener og koncentrationer som udtryk for brugeradfærd. Der er imidlertid brug for information fra flere brugere, ikke bare om faktisk skylleadfærd men også om baggrunden for den. Information om betydning af lille skyllemængde og få skyl nytter f.eks. ikke, hvis der hos brugere er rationelle praktiske forklaringer på større og hyppigere skyl.

### ***Fremtidsudsigter***

Der er etableret ca. 15 vakuumtoiletsystemer med de nyeste ændringer i Sverige og Finland. Her er det muligt at følge driften og tage prøver. Interessen for disse vakuumsystemer, som består af et enkelt toilet med midlertidigt vakuum, er stor. Det skyldes, at såvel anlægsudgifter som driftsudgifter til systemer med permanent vakuum, er meget større. Der er tale om en enkel teknik uden vakuumentiler og med en enkel vakuumpumpe. De nyeste ændringer ser ud til at have løst de problemer, der har været i Bregninge, men det bør undersøges i praksis ved at følge de svenske anlæg.

Det er vigtigt at få afklaret, om der skal stilles særlige krav til processerne (temperatur og opholdstid) på de biogasanlæg, som medbehandler humane restprodukter, hvis anlæggets restprodukter skal udsprede på landbrugsjord. En sådan vurdering bør foretages af de centrale myndigheder.

# 16 Litteraturliste

Aquatron International AB, udateret: Aquatron ALE – Toalett och avfallskompostering för större fastigheter.

Aquatron International AB, 1996: Aquatron – Biologiskt toalettssystem för wc-stol. (Brochure).

Aquatron International AB, 1997 (1997A): Aquatron – Referensanläggningar för permanentboende och fritid.

Aquatron International AB, 1997 (1997B): Aquatron – Referenslista över större fastigheter, skolor.

Aquatron International AB, udateret: WC med noll-utsläpp av växtnäringsämnen. (Brochure).

Alfa Laval AS, udateret: Våtkompostreaktor. (Brochure).

Almedal, Carina, 1998: Lokal hantering av slam från enskilda avlopp i Svalövs kommun. Institutionsmeddelande 98:04. Institutionen för lantbruksteknik, SLU. Uppsala. Sverige.

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

Backlund, A. Eilersen, A.M., Larsen, I, Hagelskjær, M., Jensen, G. 2002: Økologisk håndtering af urin og fækalier i kolonihaver ved hjælp af kildesortierende toiletter. (Manuskript til rapport i serien: Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning. Miljøstyrelsen).

Breistrand, Arild (Alfa Laval AS), 1998: Våtkompostering. Brev til A & B Backlund ApS.

Breistrand, Arild (Alfa Laval AS), 1998: Våtkomposteringsreaktor. Brev til A & B Backlund ApS.

Burström, A., Jönsson, H., 1998: Dubbelspolande urinsorterande toiletter – driftserfarenheter och problemuppföljning. Rapport 229. Institutionen för lantbruksteknik. SLU, Uppsala, Sverige.

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

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

Det Økologiske Råd, 1999: Alternative spildevandssystemer - 10 illustrerede eksempler fra Sverige.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR BAUTECHNIK, 1996: Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung (für EVAC Unterdruck-Entwässerungssystem).

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.

Energistyrelsen, 1995: Biogasfællesanlæg, fra idé til realitet.

Esray, S. m.fl., 1998: Ecological Sanitation. Sida publikation.

Etnier, Carl & Karen Refsgaard, 1999: Economics of decentralized wastewater treatment: Testing a model with a case study. Proceedings of the 4<sup>th</sup>. International Conference: Managing the Wastewater Resource, Ecological Engineering for wastewater Treatment. Ås, Norway June 7 – 11, 1999.

Evac, udateret: A totally new dimension of building freedom. (Brochure).

Evac, udateret: UK – Reference List. (Brochure).

Evac, udateret: Evac at Sea, in the Air, on rails and on the ground. (Brochure).

Evac, udateret: Vacuum – the Alternative. (Brochure).

Evac/Triton-Format GmbH, 1998: Vakuumsysteme. Betriebsanleitung Vakuumanlage.

Grünert, Konrad, 1999: Vakuumentwässerung – eine preiswerte Alternative? Der Einsatz der Vakuumkanalisation zur Entwässerung kommunaler und industrieller Vorhaben. Planungsbüro für Vakuumentwässerung GmbH.

Hansen, K.H., Angelidaki, I., Ahring, B.K. 1998: Anaerobic digestion of swine manure. Inhibition by ammonia. Water science Research. Vol. 32 No. 1, pp. 5 – 12.

Hermann, T. m.fl., 1999: Innovative Water Concept Applied At An Urban Multistorey Building.

Hesse, Thomas (Stadtwerke Hannover AG), 1998 (1998A): Vakuumtoilettenanlage. Hannover. Tyskland.

Hesse, T. (Stadtwerke Hannover AG), 1998 (1998B): Vakuumtoilettenanlage Kugelfangtrift 90 – 96. Grundriss. Hannover. Tyskland.

Hesse, T. (Stadtwerke Hannover AG), 2000: Auswertung der Zählerstände Vakuumanlage. Brev af 16-03-2000.

Hesse, T. (Stadtwerke Hannover AG), 2001: Öko-Technik-Park Hannover. Zählerstände und Auswertung der Vakuumanlage. Brev af 04-01-01.

Holtze, A & Backlund, A. 2002: "Opsamling, opbevaring og udnyttelse af urin fra Museumsgården på Møn. Manuskript til rapport i serien: Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning, nr. xx. Miljøstyrelsen 2002.

Holtze, A & Backlund, A 2002: "Kompostering og efterkompostering af humane restprodukter indeholdt i afvandet "sort spildevand". Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning nr. xx. Miljøstyrelsen 2002.

Jenssen, Petter D. & Odd Jarle Skjelhaugen: Local ecological solutions for wastewater and organic waste treatment – a total concept for optimum reclamation and recycling. Proceedings of Seventh National Symposium on Individual and Small Community Sewage Systems. Atlanta Hilton and Towers, Atlanta, Georgia, December 11 – 14, 1994. ITF-trykk 74/1994.

Jets Vacuum AS, udateret: Jets 1986 – 1996. (Brochure).

Jets Vacuum AS, udateret: Jets – Jets Vacuum Sewage System. (Brochure).

Jets Vacuum AS, udateret: Vacuumator Jets 60 MB. (Brochure).

Johansson, M., Jönsson, H., Höglund, C., 1998: Urinsortering – et avloppssystem för framtiden? Gröna fakta 7/1998. Movium, SLU. Alnarp, Sverige.

Johansson, Mats & Maria Lennartsson, udateret: SUSTAINABLE WASTEWATER TREATMENT FOR SINGLE-FAMILY HOMES. Udgivet af Coalition Clean Baltic.

Jönsson, H., Burström, A., Svensson J., 1998: Mätning på två urinsorterande avloppssystem – urinlösning, toalettanvändning och hemvaro i en ekoby och i et hyresområde. Rapport 228, Institutionen för lantbruksteknik, SLU. Uppsala.

Jönsson, H., Olsson, A., Stenström, T.A., Dalhammar, G., 1996: Källsorterad humanurin i kretslopp – en förstudie i tre delar. VA-FORSK Rapport 1996-03 VAV AB. Stockholm, Sverige.

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 ”Organiskt avfall som väkst-näringsresurs”. VA-FORSK Rapport 1999-15. VAV AB, Stockholm Sverige.

Landeshauptstadt Düsseldorf, Umweltamt, 1996: Teilstrombehandlung von Fäkalienwasser im Wohngebieten mit städtischer Struktur.

Lange, J., Otterpohl, R. 1997: Abwasser – Handbuch zu einer zukunftsfähigen wasserwirtschaft. Mall-Beton-Verlag. Donauueschingen-Pföhren. Deutschland.

Miljøstyrelsen, bekendtgørelser og vejledninger

- Bekendtgørelse nr. 366 af 10. maj 1992 om ikke-erhvervsmæssigt dyrehold, uhygiejniske forhold m.m.
- Bekendtgørelse nr. 501 af 20. juni 1999: Bekendtgørelse om spildevandstilladelser m.v. efter miljøbeskyttelseslovens kapitel 3 og 4 (spildevandsbekendtgørelsen) og vejledning nr. 5/1999.
- Bekendtgørelse nr. 49 af 20. januar 2000: Bekendtgørelse om anvendelse af affaldsprodukter til jordbrugsformål (slambekendtgørelsen).
- Miljøbeskyttelsesloven: Lovbekendtgørelse nr. 753 af 25. august 2001.

Norges Landbrukshøgskole, 1997: Kildeseparering for avløbsvann. (Informationsblad).



- Norin, E. 1996 (1996A): Vätkompostering som stabiliserings- och hygieniseringsmetod för organisk avfall – försök i pilotskala med svartvatten, köksavfall och gödsel. JTI rapport Nr. 3 Kretslopp och avfall, Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala.
- Norin, E. 1996 (1996B): Vätkompostering i et lokalt, kretsloppsbaseerat behandlingssystem för Toalett- och köksavfall – Förstudie av planerad bebyggelse i Horn, Västerås kommun. JTI rapport Nr. 5 Kretslopp och avfall, Jordbrukstekniska Institutet, Uppsala.
- Norin, E., Gruvberger.C., Nilsson, P.O. 2000: Hantering av svartvatten från Tegelviken skola – kretsloppssystem med vätkompostering. VA-FORSK Rapport 2000/3.
- Otterpohl, Ralf m.fl., 1997: Sustainable Water And Waste Management In Urban Areas. Art. I: Water Science & Technology Vol. 35, No. 9/1997. Elsevier Science. Great Britain.
- Otterpohl, Ralf m.fl. 1995: A possibly sustainable sanitation concepts for cities in humid countries. International Conference on Ecological Engeneering for Wastewater Treatment, Waederswil, Schweiz 18.-22.9. 1995.
- Rudbjerg Kommune, 2002: Driftsberetning for renseanlæg i Rudbjerg Kommune 2001.
- Sanivac Vakuumenteknik GmbH, 1997: Das Vakuum Sanitärsystem für die Gebäudeausrüstung.
- SITAC (Swedish Institute for Technical Approval in Construction), 1995: Typgodkännandebevis 0790/91. Separator til Aquatron Toalettsystem.
- Skjelhaugen, O.J., 1999 (1999A): Closed System For Local Reuse Of Blackwater And Food Waste, Integrated With Agriculture. Art. i IAWQ-journal Water Science & Technology. Vol. 39, No. 5 pp. 161-168,1999.
- Skjelhaugen, O.J., 1999 (1999B): Thermofilic aerobic reactor for processing organic liquid wastes. Art. i Water Research 33:7, pp.1593 - 1602.
- Stadtwerke Hannover AG 1998: Erläuterungsbericht der Vakuumtoilettenanlage im Gebäude: Kugelfangtrift 90-96 in 30657 Hannover.
- Stadtwerke Hannover AG, udateret: Energie EXPONate. (Brochure).
- Stadtwerke Hannover AG, udateret: Umwelttechnik im Alltag. Öko-Technik-Park Hannover.
- Stadtwerke Hannover AG 2001: Öko-Technik-Park Hannover. Beschreibung und Auswertung der Haustechnik vom Öko-technik-Park Hannover.
- Stadtwerke Hannover AG 2001: Öko-technik-Park Hannover. Beschreibung der Technik. Bilder von allen anlagen. Darstellung der ergebnisse. Vortragvorlage mit Power point. CD-Rom.
- Statens Provningsanstalt, Borås, Sverige (SP), 1992: Provning av separator/vätskeavskiljare. Rapport E30314 1992-04-13.

Sundberg, K., 1995: Vad innehåller avlop från hushåll?  
Statens Naturvårdsverk. Rapport 4425. Stockholm, Sverige.

Storstrøms Amt 1997: Spildevandstransportsystemer.

Storstrøms Amt 1998: Projekt "Spredt". En undersøgelse af spildevandsbelastningen fra den spredte bebyggelse.

Storstrøms Amt 2002: Punktkilder 2001.

Storstrøms Amt 2002: Regionplan 2001-2013.

Tafdrup, S., Hjort-Gregersen, K. 1999: Biogasfællesanlæg – produktion og økonomi. Artikel i Dansk Bioenergi, juni/1999.

Tratsch-Bau GmbH & Co. KG, udateret: Ökologische wohnsiedlung flintenbreite. Ökologisches Pilotprojekt der Hansestadt Lübeck. (Brochure).

Triton-Format GmbH/Rainer Hohnholz, 1999: Einsatz von Vakuumsanitärtechnik im Hochbau. Referenzliste. (Skrivelse til A & B Backlund ApS).

Triton-Format – Schiffstechnik – Umweltsysteme GmbH, 1998 (1998A): Technische Beschreibung der Vakuum-Sanitäranlage WOBAU Schleswig-Holstein in Ammersbek "Mühlenkoppel".

Triton-Format GmbH 1998 (1998B): Betriebsanleitung Vakuumanlage. Projekt Hägewiesen.

Triton-Format GmbH & Stadtwerke Hannover AG 1998 (1998C): Abnahmeprüfung (Vakuumanlage Kugelfangtrift, Hannover).

Valdmaa, K. 1986: Undersökning av funktionen i vattentoaletten "Aquatron 3000". Sveriges Lantbruksuniversitet. Avd. för avfallsbiologi, Uppsala.

Vinnerås, B., 1998: Källsorterad humanurin – skiktning och sedimentering samt uppsamlad mängd och sammansättning. Institutionsmeddelande 98:05, Institutionen för Lantbruksteknik, SLU. Uppsala.

Weglin, J. Vinnerås B. 2000: Avloppsvatten och fast organiskt avfall i hyreshuset Ekporten – sammansättning och flöde. Institutionen för lantbruksteknik, SLU, Uppsala. Rapport 244.

WM-Ekologen ab, udateret: Ekovak - Mjukvakuumsystem med urinsortering. (Brochure).

WM-Ekologen ab, udateret: Kopplingschema.

WM-Ekologen ab, udateret: Sorterande toaletter av sanitetsporlin. (Brochure).

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. Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning, nr. xx, 2001. Miljøstyrelsen.

### Personlige meddelelser

Friberg, Stefan. WM Ekologen ab (nu Wost Man Ecology AB). Stockholm, Sverige.

Gruvberger, Christoffer. Avdelningschef på JTI, Jordbrukstekniska Institutionen, SLU, Uppsala, Sverige.

Hesse, Thomas. Stadtwerke Hannover. Hannover, Tyskland.

Holm, Boye, driftsleder i Rudbjerg Kommune.

Jacobsen, Arne, driftsleder i Holeby Kommune.

Nielsen, Hans Erik, VVS Comfort-butik Rødby A/S.

Nilsson, Per-Ola. Eskilstuna Energi & Miljö AB.

Norin, Erik. VBB VIAK, Sverige.

Nørgaard, Per, naturvejleder, Stevns Naturskole.

Petersen, Flemming, Rødby VVS.

Raahauge, Hans, Teknisk Forvaltning, Sydfalster Kommune.

Smith Allan, Teknisk Forvaltning, Møn Kommune.

Severin, Jens, driftsleder i Ravnsborg Kommune.

Vinnerås, Björn: Institutionen för lantbruksteknik, SLU. Uppsala, Sverige.

Åkeson, Torsten. Åkeson Innovation AB & Aquatron International AB. Stockholm, Sverige.