

## Demonstrationsprojekt med genanvendelse af gråt spildevand fra en større gråvandsproducent

## Demonstrationsprojekt med genanvendelse af gråt spildevand fra en større gråvandsproducent

Vestbadet I/S

Morten Andersson  
Moe & Brødsgaard

Anders Dalsgaard  
Den Kongelige Veterinær- og Landbohøjskole

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.

# Indholdsfortegnelse

<b>INDHOLDSFORTEGNELSE</b>	<b>3</b>
<b>FORORD</b>	<b>5</b>
<b>SAMMENDRAG</b>	<b>7</b>
<b>SUMMARY</b>	<b>9</b>
<b>1 INDLEDNING</b>	<b>11</b>
<b>2 BEHANDLINGSANLÆG</b>	<b>13</b>
2.1 OPRINDELIGT FORSLAG TIL BEHANDLINGSANLÆG	13
2.2 SANDFILTERANLÆG	13
2.3 EKSISTERENDE FORHOLD	13
2.4 BEHANDLINGSANLÆG	14
2.5 ERFARINGSOPSAMLING	18
<b>3 SUNDHEDS- OG HYGIENEMÆSSIGE ASPEKTER VED PROJEKTET</b>	<b>19</b>
<b>4 VALG AF ANALYSEPARAMETRE</b>	<b>22</b>
4.1 FYSISKE PARAMETRE	22
4.2 KEMISKE PARAMETRE	22
4.3 MIKROORGANISMER	23
4.4 ANDRE SMITSTOFFER	26
<b>5 MÅLEPROGRAM 1. FASE: SCREENING AF GRÅT SPILDEVAND</b>	<b>28</b>
5.1 KEMISKE ANALYSE PARAMETRE	28
5.2 MIKROBIOLOGISK ANALYSE PARAMETRE	29
5.3 RESULTATER	30
<b>6 MÅLEPROGRAM 2. FASE: VURDERING AF BEHANDLINGSEFFEKT</b>	<b>34</b>
6.1 KEMISKE ANALYSEPARAMETRE	34
6.2 MIKROBIOLOGISKE ANALYSER	35
6.3 MIKROBIOLOGISKE DELKONKLUSIONER	38
<b>7 KONKLUSION</b>	<b>39</b>
<b>8 LITTERATUR</b>	<b>43</b>
<b>BILAG A</b>	<b>45</b>
PRINCIPDIAGRAM AF SANDFILTERANLÆG	45
<b>BILAG B</b>	<b>47</b>
PRINCIPDIAGRAM AF ÆNDRET SANDFILTERANLÆG	47
<b>BILAG C</b>	<b>49</b>

KOMPONENTLISTE	49
<b>BILAG D</b>	<b>51</b>
BREV FRA EMBEDSLÆGEINSTITUTIONEN, NORDHAVNSGÅRDEN	51
<b>BILAG E</b>	<b>55</b>
STATUS OG UDKAST TIL MÅLEPROGRAM	55
<b>BILAG F</b>	<b>65</b>
OVERSIGT OVER PRØVEUDTAGNING	65
<b>BILAG G</b>	<b>67</b>
RESULTATER AF DEN KEMISKE SCREENING	67
<b>BILAG H</b>	<b>71</b>
ANALYSERESULTATER – FASE 2	71

# Forord

Formålet med projektet var at etablere et fuldskalaforsøg til opsamling og behandling af gråt spildevand fra en større producent af gråt spildevand med henblik på anvendelse til toiletskyl og vaskeri i en stor beboelsesejendom, som ligger tæt ved producenten. Med gråt spildevand forstås i dette projekt, vand fra brusebade og håndvaske.

Der blev etableret et anlæg ved Vestbadet I/S, som er et fælleskommunalt svømmebad med et 50 m indendørs bassin, et babybassin samt et 25 m uden-dørs bassin. Derudover findes der motionscenter og andre aktiviteter. Vestbadet har et årligt vandforbrug på mellem 17.000-18.000 m<sup>3</sup>, hvoraf 12.000-15.000 m<sup>3</sup>/år anvendes til brus og håndvask. Personalet ved Vestbadet havde gennem flere år arbejdet med vandbesparende tiltag, og havde ideer og visioner til yderligere besparelser i anvendelsen af drikkevand. Dette gav stor motivation blandt Vestbadets personale og ledelse til at opsamle og anvende behandlet gråt spildevand.

Demonstrationsprojektet er blevet finansieret af Miljøstyrelsen under "Aktionsplan for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning", Fjerde tema: Håndtering af regnvand og gråt spildevand. HOH Vand og Miljø (senere Rambøll) har bidraget til finansieringen af projektet. Vestbadet har bidraget til projektet med medgået tid fra personale.

Blandt tidligere vandbesparende tiltag kan nævnes etablering af et anlæg til opsamling og behandling af regnvand /3/. Projektet var ligeledes finansieret af Miljøstyrelsen under aktionsplanen. Vestbadet bidr og med en betydelige egenfinansiering.

Projektet er udarbejdet af en projektgruppe bestående af:

Morten Andersson	Moe & Brødsgaard A/S (projektleder)
Anders Dalsgaard	Inst. f. Veterinær Mikrobiologi, Kgl. Veterinær- og Landbohøjskole, KVL.

Vestbadet I/S har deltaget aktivt i gennemførelsen af projektet. Driftsleder, Børge Nielsen har således forestået den daglige drift og vedligeholdelse af anlægget.

HOH Vand & Miljø A/S (fra juli 2002 Rambøll) har leveret og opstillet forsøgsanlægget til opsamling og behandling af gråt spildevand.

ROVESTA Miljø I/S, Næstved har udtaget vandprøver og forestået de mikrobiologiske og kemiske analyser. Desuden er der foretaget enkelte analyser ved Danmarks Veterinærinstitut (DVI), Frederiksberg. HOH Vand & Miljø A/S har for egen regning udtaget yderligere et antal vandprøver som MILANA – Miljølaboratoriet, Helsingør har analyseret. Resultaterne er stillet til rådighed for dette projekt.

Projektet er gennemført i perioden april 2001 til december 2003.

Projektet er blevet fulgt af en styregruppe bestående af:

Jørgen Mosbæk

Vestbadet I/S

Børge Nielsen

Vestbadet I/S

Line Hollesen

Miljøstyrelsen

Linda Bagge

Miljøstyrelsen

# Sammendrag

Formålet med projektet var at gennemføre et demonstrationsprojekt med behandling af gråt spildevand fra en større producent af gråt spildevand, som i dette tilfælde var Vestbadet I/S. Projektet bestod i etablering af et anlæg til opsamling, behandling og opbevaring af gråt spildevand til anvendelse i forbindelse med toiletskyl og maskinvask af personaletøj. Projektets resultater skulle endvidere bruges til en vurdering af en mulig anvendelse af det behandlede vand til toiletskyl i en stor beboelsesejendom, der er nabo til Vestbadet.

Anlægget blev installeret i det offentlige svømmebad, Vestbadet I/S, Nykær 26, 2605 Brøndby, der årligt besøges af ca. 300.000 personer – [www.vestbad.dk](http://www.vestbad.dk). Vestbadets vandforbrug er på ca. 17.000-18.000 m<sup>3</sup>/år svarende til 45 - 50 m<sup>3</sup>/dag. Det anslås, at der anvendes mellem 12.000 – 15.000 m<sup>3</sup>/år til brusning og håndvask.

I projektet er der undersøgt og vurderet forskellige behandlingsmetoder. Et flotationsanlæg "Muslingen", der er et norsk koncept, var således det oprindelige forslag til teknologi. Nærmere undersøgelser viste imidlertid, at den teknologi ville medføre betydelige driftsmæssige problemer. Derfor blev der i stedet anvendt en sandfilter-teknologi.

Behandlingsanlægget bestod af følgende behandlingsmoduler:

1. Opsamlingstank
2. Dobbelt sandfilter, hvor der skete en nedbrydning og omdannelse af organisk stof, samt tilbageholdelse af partikler.
3. Anlæg for tilsætning af ilt for at sikre omdannelse af organisk stof under aerobe forhold.
4. UV-lysbehandling
5. Reservoir

Projektets primære formål var at vurdere hvor effektivt behandlingsanlægget reducerede antallet af udvalgte mikrobiologiske måleparametre i gråt spildevand for derved at kunne fastsætte den mikrobiologiske kvalitet af behandlet og opbevaret gråt spildevand. Yderligere formål var en generel vurdering af anlæggets driftsmæssige forhold og teknologi, herunder eventuelle lugtgener. Sidstnævnte har udgjort problemer i forbindelse med drift af flere tidligere anlæg til behandling af gråt spildevand. Endelig skulle analyseresultaterne også bidrage med en generel øget viden om den mikrobiologiske og kemiske sammensætning af gråt spildevand.

Der er foretaget en overordnet og sammenfattende vurdering af de sundheds- og hygiejnemæssige risici for brugere ved anvendelse af det behandlede grå spildevand til toiletskyl og maskinvask af tøj, hvorimod der ikke er foretaget en risikovurdering ved fejl og uheld ved det tekniske anlæg. Der er ikke foretaget en større vurdering af sundheds- og arbejdsmiljømæssige forhold for personer, der skal vedligeholde anlægget.

Miljøstyrelsen besluttede at måleprogrammet for projekter med gråt spildevand skulle gennemføres i to trin:



- 1) En generel karakterisering af det grå spildevand ved tilledning til anlægget, inden vandet behandles i anlægget. Dette trin inkluderer en række kemiske parametre og mikrobiologiske "standardparametre".
- 2) I trin 2 skal prøveudtagning foretages i såvel indløbet som udløbet fra behandlingsdelen af anlægget. Antallet af måleparametre inkluderet i trin 2 er reduceret i forhold til trin 1. På baggrund af måleprogrammets trin 1, skal de væsentligste parametre identificeres, dvs. de mest følsomme eller mest beskrivende parametre (parametre som indikatorer for problematiske forureningskomponenter), så et mindre omfangsrigt, men mere specifikt måleprogram kan sammensættes i trin 2.

Under trin 1 blev det vurderet, at indholdet af potentielt farlige eller giftige stoffer, som metaller og miljøfremmede stoffer var meget lav i det opsamlede grå spildevand ved Vestbadet. Resultaterne af smitstofanalyserne indikerede, at der blev tilført yderst få velkendte egentlige bakterielle smitstoffer til det opsamlede grå spildevand. Der kan dog forekomme en række potentielle smitstoffer i såvel ubehandlet som behandlet gråt spildevand.

Under trin 2 blev det vurderet, at det ubehandlede grå spildevand indeholdt relativt høje antal af alle de målte mikrobiologiske måleparametre, dog var antallet af fækale indikatorbakterier (termotolerante coliforme bakterier og enterokokker) lave. Der fandtes endvidere generelt meget store variationer i de fundne kimtal. I en enkelt prøve af ubehandlet gråt spildevand udtaget til analyse for protozoer fandtes der 600 *Cryptosporidium* spp. og *Giardia* spp. per liter.

Behandling af det grå spildevand i sandfiltrene havde kun en begrænset reducerende effekt på kimtallene. De høje kimtal i UV-lysbehandlet gråt spildevand udledt fra anlægget sammenholdt med kimtalsmålingerne umiddelbart efter UV-lysbehandlingen indikerede, at ikke alt udledt behandlet vand fra beholderen var blevet UV-lysbehandlet. Desuden gav et relativt højt indhold af BOD i det behandlede grå spildevand øget risiko for mikrobiel vækst.

På baggrund af erfaringerne omkring sandfilteranlægget fra dette projekt og erfaringer fra et tilsvarende anlæg ved BO90 /1/ vurderes det, at den valgte teknologi i form af sandfilteranlæg ikke er egnet til rensning af gråt spildevand. På grund af projektets resultater er der ikke gennemført en nærmere vurdering af anvendelsesmuligheder for det behandlede grå spildevand.

# Summary

The objective of the project was to carry out a demonstration project for treatment of grey water from a large producer of grey water, in this case Vestbadet I/S, a large public swimming bath. The purpose of the project was to establish a system for collection, treatment and storage of grey water to be reused for toilet flushing and machine-wash of the clothes used by the staff.

The system was installed at the public swimming bath of Vestbadet I/S, Nykær 26, 2605 Brøndby, which has an annual visit rate of approximately 300,000 people. Vestbadet's annual water consumption is approximately 17,000-18,000 m<sup>3</sup> - equalling 45-50 m<sup>3</sup> daily. It is estimated that the annual water consumption for showers and washbasins is between 12,000 and 15,000 m<sup>3</sup>.

In the course of the project various treatment methods were investigated and assessed. A flotation system called "the mussel", which is a Norwegian concept, was the originally proposed technology. Further investigations showed, however, that the proposed technology would result in considerable operational problems. In stead, a sand filter technique was used.

The treatment system consisted of the following treatment modules:

1. Collection tank
2. Double sand filter, where decomposition and transformation of organic substances took place, as well as retention of particles
3. System for oxygen supply to ensure the transformation of the organic substances under aerobe conditions
4. UV-light treatment
5. Reservoir

The main objective of the project was to assess the efficiency of the treatment system to reduce the number of selected microbiological measuring parameters in grey water, in order, thus, to determine the microbiological quality of treated and stored grey water. A further objective was an overall assessment of the system's operational stability and technology, as well as a recording of any unacceptable smell. The latter has been a problem in connection with the operation of several previous systems for treatment of grey water. Finally, the analyses was to contribute to generally increased knowledge of the microbiological and chemical composition of grey water.

An overall and summarising evaluation was carried out of the health and hygienic risks to the people who use treated grey water for toilet flushing and machine-washing of clothes, whereas no risk assessment was made of the failures and errors with the technical system. It should be mentioned, however, that a number of procedures have been implemented to reduce the risk of failures and operational breakdowns. No significant evaluation was made of the health and working environment of the people, who did the maintenance of the system.

The Danish Environmental Protection Agency decided that the measuring programme for projects with grey water should be carried out in two steps:

1. A general characterisation of grey water when transferred to the grey water system, before the water was treated. This step included a series of chemical parameters and microbiological standard parameters.
2. In step two, water samples should be taken from the inlet as well as the outlet to the treatment section of the system. The number of measuring parameters in step two was reduced in comparison to step 1. On the basis of the measuring programme step 1, the most essential parameters should be identified, i.e. the most sensitive or the most describing parameters (parameters as indicators for problematic polluting components), so that a less extensive but more specific measuring programme could be constructed in step two.

In step 1, it was assessed that in the collected grey water at Vestbadet, the content of potentially dangerous or toxic substances, such as metals and other xenobiotic substances, was very low. However, potentially infectious matter in both treated and untreated grey water may occur.

In step 2, it was assessed that the untreated grey water contained relatively high numbers of all microbiological measuring parameters, although the number of faecal indicator bacteria (thermo-tolerant coliform bacteria and enterococci) was low. Furthermore, in general there was considerable variation in the total bacterial counts.

The treatment of grey water in the sand filters had only a limited reducing effect on the total bacterial counts. The high bacterial counts found in the UV-light treated grey water, which was discharged from the system, compared to germ counts from samples taken immediately after the UV-light treatment, indicated that not all the treated water discharged from the tank had been treated with UV-light. Furthermore, the content of BOD found in the treated grey water caused an increased risk of microbial growth.

On the basis of the experience gained from this project on sand filter systems, and experience from a similar system at BO90 /1/, it is evaluated that the technology with sand filter systems presented in this report is not suitable for cleaning grey water. Due to the project results, no further evaluation was carried out of possible areas for use of grey water.

# 1 Indledning

Baggrunden for projektet var et ønske om at reducere forbruget af drikkevand og dermed reducere belastningen af grundvandsressourcerne. I større byer, hvor grundvandsforbruget ofte overstiger den naturlige grundvandsdannelse, er vandbesparelser og herunder muligheden for at udnytte gråt spildevand særlig interessant.

Formålet med dette projekt var at gennemføre et demonstrationsprojekt med behandling af gråt spildevand fra en større producent af gråt spildevand, som i dette tilfælde var Vestbadet I/S. Projektet bestod i etablering af et anlæg til opsamling, behandling og opbevaring af gråt spildevand til anvendelse i forbindelse med toiletskyl og maskinvask af personaletøj. Endvidere

skulle der gennem udtagning af vandprøver bestemmes en karakteristik af ubehandlet gråt spildevand, samt kvaliteten af det behandlede grå spildevand. Med udgangspunkt i kvaliteten af det grå spildevand skulle der overvejes andre muligheder for anvendelse af vandet, herunder anvendelse af gråt spildevand til toiletskyl og maskinvask af tøj i en stor beboelsejendom, som ligger tæt på Vestbadet.



Figur 1.1: Indgang til Vestbadet

Anlægget blev etableret i det offentlige svømmebad, Vestbadet I/S, Nykær 26, 2605 Brøndby, der årligt besøges af ca. 300.000 personer – [www.vestbad.dk](http://www.vestbad.dk). Vestbadet har i dag et 50 m indendørs bassin, et varmtvands babybassin, et 25 m friluftsbassin samt et udendørs soppe-/legebassin. Derudover findes der motionscenter og en række andre publikumsfaciliteter. Alle disse aktiviteter er meget vandforbrugende, og da Vestbadet ligger i et område, hvor den samlede belastning af grundvandsressourcerne er meget stor, er det oplagt at arbejde med vandbesparende foranstaltninger. Personalet ved Vestbadet har derfor gennem flere år arbejdet med vandbesparende tiltag.

Der var ringe erfaring med behandlingsanlæg for gråt spildevand blandt de større danske leverandører af vandbehandlingsanlæg. HOH Vand & Miljø besluttede med deres kompetence og erfaring at gå ind i projektet for at udvikle et hensigtsmæssigt og driftssikkert anlæg. Behandlingsanlægget skulle som udgangspunkt have været et flotationsanlæg, men dette blev senere ændret til et sandfilteranlæg pga. nogle anlægs- og driftstekniske fordele. Et kendskab til sammensætningen af gråt spildevand er en forudsætning for at kunne vurdere hvilke behandlingsformer og anvendelsesmuligheder, der er bedst egnede for en given vandtype.

Ved projektets start forelå begrænset viden om sundheds- og hygiejnemæssige risici ved anvendelse af gråt spildevand. Desuden forelå der kun få danske og udenlandske undersøgelser af sådanne aspekter, ligesom viden om den mikro-

biologiske og kemiske sammensætning af forskellige typer gråt spildevand var begrænset.

Miljøstyrelsen havde igangsat et lignende projekt om opsamling og behandling af gråt spildevand i en boligbebyggelse, Nordhavsgården /2/. Erfaringer og resultater fra Nordhavsgården er blevet anvendt i dette projekt.

## 2 Behandlingsanlæg

Demonstrationsprojektets historie omkring behandlingsanlægget for gråt spildevand er efterfølgende beskrevet i forhold til de overvejelser og valg, der er truffet undervejs i projektforsløbet.

### 2.1 Oprindeligt forslag til behandlingsanlæg

Ifølge tilbudsbeskrivelsen skulle der have været etableret et flotationsrensningsanlæg betegnet "Muslingen". Denne type anlæg er baseret på kontinuerlig separering af partikler fra vandet. Selve separationen foregår vertikalt, hvor forurenede vand tilledes i bunden af en flotationstank og blandes med koagulent og flokkuleringsmiddel. Efter sammenblanding samles slampartiklerne på vandets overflade som et "tæppe", der skrubes af det behandlede vand.

En nærmere vurdering af denne rensningsmetode viste, at kunne give anledning til en række håndterings- og driftsmæssige problemer, som kunne være u hensigtsmæssige i en svømmehal. Det drejede sig bl.a. om lugt- og fugtgener fra det åbne bassin, håndteringen af kemikalier samt opsamling og bortskaffelse af den slam, der ville opstå i forbindelse med rensningen. Det behandlede vand kunne desuden indeholde små restmængder af koagulerings- og flokkuleringsmiddel samt sæberester, der ikke var udfældet.

På grund af ovenstående problemer, som især blev påpeget af driftsledelsen ved Vestbadet, blev det besluttet, at der skulle findes en anden teknologi.

### 2.2 Sandfilteranlæg

HOH Vand & Miljø foreslog et anlæg - baseret på behandling med sandfiltre. Det blev besluttet at afprøve dette sandfilteranlæg, idet det fremstod som både anlægs- og driftsteknisk bedre end "Muslingen".

Behandlingsanlægget bestod af følgende behandlingsmoduler:

1. Opsamlingstank
2. Biologisk rensning i dobbelt sandfilter, hvor der skete en omdannelse af organisk stof.
3. Anlæg for tilsætning af ilt for at sikre omdannelse af organisk stof under aerobe forhold.
4. UV-lysbehandling
5. Reservoir

Der henvises til bilag A, der viser principdiagram af anlægget samt bilag C, som er en komponentliste.

### 2.3 Eksisterende forhold

Alt gråt spildevand fra herre- og dameomklædning opsamles i Vestbadets teknikrum i en mindre beholder på ca. 500 l. Der er monteret et grovfilter for tilbageholdelse af hår og andre større partikler. Det ca. 30°C varme grå spildevand varmeveksles med det indkomne vandværksvand, der er ca. 8°C. En pumpe suger det varme grå spildevand gennem en varmeveksler, for derefter

at blive ledt til kloak. Varmeveksleren indgår i Vestbadets bestræbelser på at agere som en energibevidst virksomhed.

Til det etablerede behandlingsanlæg udtages en delstrøm af det grå spildevand efter varmeveksleren. Vandtrykket til behandlingsanlægget fås fra den eksisterende pumpe ved varmeveksleren, hvilket umiddelbart har givet nogle begrænsninger i forhold til at kunne regulere tryk og flowhastighed i behandlingsanlægget.

Varmeveksleren fødes med vand automatisk når 500 l tanken er fuld. Tilførslen af gråt spildevand sker derfor batch vis. Mængden af spildevand varierer hen over dagen, idet der er et stort vandforbrug om morgenen, formiddagen og om eftermiddags. Der tilføres ikke spildevand i perioden klokken 21 – 06.30. Fredag, lørdag og søndag er den periode lidt længere.

Vestbadets vandforbrug er på ca. 17.000-18.000 m<sup>3</sup>/år. Det anslås, at der anvendes mellem 12.000 – 15.000 m<sup>3</sup>/år til brusning og håndvask, mens mellem 1.500-2.000 m<sup>3</sup>/år går til spødevand i bassinerne. Den resterende vandmængde går til spuling, tøjvask, toiletter mm. I forbindelse med demonstrationsprojektet opsamles en delstrøm af gråt spildevand på 4 - 5 m<sup>3</sup>/dag.

## 2.4 Behandlingsanlæg

### 2.4.1 Sandfiltre

Det grå spildevand blev ledt gennem to serieforbundne sandfiltre på hver 250 liter, der beluftes med atmosfærisk ilt. Sandfiltrene fungerer som partikelfiltre, der tilbageholder organiske og uorganiske partikler. Der sker endvidere en biologisk behandling, idet der dannes en såkaldt "biofilm" på sandkornenes overflade, som er i stand til at nedbryde og omdanne organiske stoffer i det grå spildevand. Reduktion af indholdet af organisk stof i det behandlede grå spildevand er vigtig for at minimere risikoen for eftervækst af bakterier i det behandlede vand. Den biologiske proces kræver tilstedeværelse af ilt. Hvis ikke der er tilstrækkeligt med ilt til rådighed, fungerer processen ikke optimalt, og der kan dannes svovlbrinter, med lugtgener til følge.



Figur 2.1: Sandfilteranlægget

Vandstrømmen gennem sandfiltrene var indstillet til ca. 1,5 m<sup>3</sup>/h, hvilket gav en opholdstid i hvert sandfilter på ca. 3-4 minutter. Der blev foretaget gennemskylning om natten, når anlægget ikke var i drift, idet der på dette tidspunkt ikke blev tilledt nyt gråt spildevand fra baderummene. Sandfilter 1 blev gennemskyllet mandag, onsdag, fredag og søndag nat, mens sandfilter 2 blev gennemskyllet tirsdag, torsdag og lørdag nat. Gennemskylningen varede ca. 10 minutter og blev foretaget ved at tilbageføre ca. 250-300 liter vand fra reservoiret, som derefter blev ledt til kloak. På den måde undgik tankene at blive tilslammede.

I forbindelse med udtagning af vandprøver til fase 1 af måleprogrammet, som var de indledende screeningsmålinger af ubehandlet grå spildevand, havde projektledelsen et ønske om at få en indikation af behandlingseffekten i anlægget. Der blev udvalgt to indikatorparametre, BOD og anioniske detergenter, til dette miniforsøg.

Resultatet af miniforsøget fremgår af tabel 2.1.

Tabel 2.1: Målinger for bestemmelse af anlæggets driftstekniske ydelse

Dato	BOD [mg O <sub>2</sub> /l]		Anioniske detergenter [mg/l]	
	Ubehandlet (V1)	Behandlet (V3)	Ubehandlet (V1)	Behandlet (V3)
12.03.02	8 <sup>1)</sup>	56	2,9	2,5
19.03.02	99	60	11,4	2,6
Drikkevandskrav <sup>2)</sup> /5/		11		0,1

1) Det var forventet, at værdien i det ubehandlede spildevand burde være højere end i det behandlede spildevand. ROVESTA havde ikke udtaget nok prøvevand til at foretage en reanalyse, for en verificering af resultatet.

2) For BOD er der ikke et specifikt krav, men for NVOC er der krav til max. 4 mg C pr. l. Dette vil svare til et BOD indhold på ca. 11 mg O<sub>2</sub>/l /4/.

Det vurderes, at behandlingseffekten i forhold til de ovenstående parametre (BOD og anioniske detergenter) ikke var effektiv nok. Dette blev understreget af en række synlige fremmedstoffer som sæberester i det behandlede grå spildevand og lugtgener. Resultaterne angiver, at der ikke var nok ilt tilstede i sandfiltrene, hvorved der dannes en anaerob proces, som bl.a. resulterer i dannelse af svovlbrinter.

#### 2.4.2 Iltanlæg

For at optimere behandlingsprocessen valgte HOH Vand & Miljø, at installere en iltgenerator, der kunne tilføre ren ilt (93%), til sandfiltrene. Der var erfaringer fra tilsvarende anlæg, der behandlede komplekse organiske forbindelser (industriforurenede grundvand), hvor en tilføring af ren ilt forbedrede behandlingseffekten betydeligt.



Figur 2.2: Iltanlægget

Det var en forudsætning for en fortsættelse af projektet, at BOD og indholdet af anioniske detergenter i det behandlede grå spildevand blev reduceret væsentligt i forhold til de første målinger. Helst ned i nærheden af kravene til drikkevand.

For at dokumentere ilttilsætningens virkning blev der foretaget yderligere målinger af BOD og anioniske detergenter. Resultatet af disse målinger fremgår af tabel 2.2.



Tabel 2.2: Målinger af ubehandlet og behandlet gråt spildevand for bestemmelse af anlæggets driftstekniske ydelse efter installering af iltanlæg

Dato	BOD [mg O <sub>2</sub> /l]		Anioniske detergenter [mg/l]	
	Ubehandlet (V1)	Behandlet (V3)	Ubehandlet (V1)	Behandlet (V3)
04.11.02	98	8	14	0,09
26.01.03	102	32	12	0,36
Drikkevandskrav <sup>1)</sup> /5/		11 <sup>1)</sup>		0,1

<sup>1)</sup> For BOD er der ikke et specifikt krav, men for NVOC er der krav til max. 4 mg C pr. l. Dette vil svare til et BOD indhold på ca. 11 mg O<sub>2</sub>/l /4/.

Som det fremgår af analyser fra d. 04.11.02 er kravene til drikkevand opfyldt for BOD og anioniske detergenter, mens analyserne fra d. 26.01.03 ligger relativt tæt på kravene til drikkevand. Sammenlignet med analyserne foretaget d. 12. og 19.03.02 (jf. tabel 2.1) ses, at der ved tilføring af ren ilt sker en betydelig bedre reduktion af de to udvalgte parametre.

Tilsætningen af ren ilt betød desuden, at de lugtgener, der før blev observeret under driften ikke længere var tilstede.

På baggrund af den væsentlig bedre behandlingseffekt blev det besluttet, at fortsætte projektet og installere de manglende komponenter, hovedsageligt et UV-lysanlæg. Det blev endvidere besluttet at gennemføre fase 2 af måleprogrammet.

#### 2.4.3 UV-lyslampe

Rambøll (*HOH Vand & Miljø blev overtaget af Rambøll, og vil i resten af rapporten kun blive omtalt som Rambøll*) installerede en UV-lyslampe på reservoiret for vandet opsamlet fra sandfiltrene. UV-lyslampen på oversiden af reservoiret fungerede ved, at det grå spildevand blev pumpet op fra bunden af tanken, forbi UV-lyslampen og ført ned midt i reservoiret igen. Det blev beregnet, at det grå spildevand blev ledt forbi UV-lyslampen ca. 7 gange i løbet af den opholdstid, der var i tanken /6/. Principdiagram fremgår af bilag A.

Det blev påpeget af projektledelsen og Vestbadet, at den foreslåede løsning ikke kunne sikre, at alt det grå spildevand ville passere UV-lyslampen. Da det var en grundlæggende forudsætning for at kunne opnå en konstant og høj vandkvalitet, kunne den foreslåede løsning ikke accepteres. Der skulle ske en udbygning/ændring af anlægget.

Der blev installeret endnu en UV-lyslampe på rørstrækningen fra det sidste sandfilter til reservoiret. Denne placering gav dog ifølge leverandøren nogle driftsmæssige vanskeligheder pga. snavs og stillestående vand, og UV-lyslampen på rørstrækningen blev derfor fjernet igen.

Til vurdering af UV-lyslampens behandlingseffekt blev der foretaget et antal analyser for kimtal ved 37°C og 22°C. Metoderne til kimtalsbestemmelse er beskrevet i afsnit 5.2. Ved første prøveudtagning d. 12.03.03 var der endnu ikke installeret UV-lysbehandling på anlægget. Den næste prøveudtagning i juli 2003 var med en UV-lyslampe af mærket Sterilight SQ8 Gold placeret over reservoiret, som beskrevet ovenfor. Den installerede pumpe gav ved prøveudtagningen en vandstrøm på 10 m<sup>3</sup>/h.

Analyseresultaterne, som fremgår af tabel 2.3 viste, at UV-lampens behandlingseffektivitet ikke var tilfredsstillende, og det blev derfor besluttet, at ændre

vandstrømmen forbi UV-lampen til ca. 0,5 m<sup>3</sup>/h. Leverandøren foreslog at installere et partikelfilter inden UV-lampen, for at opnå en bedre effekt. Vestbaldet påpegede, at erfaringer med partikelfiltre i denne typeanlæg var dårlige. Partikelfiltrene blev også efter kort driftstid fjernet.

Herefter blev der udtaget 2 sæt prøver hhv. d. 19.08.03 og 26.08.03. For at vurdere evt. variation over tid blev der udtaget prøver fra samme prøveudtagningssted med ca. 1 times mellemrum. Analyseresultaterne fremgår af tabel 2.3.

Tabel 2.3. Effekt af UV-lysbehandling på antal kim dyrket ved 37°C og 22°C

	Dato	Kimtal ved 37°C, Blodagar [pr. ml]		Kimtal 37°C, blodagar, hæmolytiske bakterier [pr. ml]		Kimtal ved 22°C [pr. ml]	
		V1	V4	V1	V4	V1	V4
Ingen UV-lys	12.03.02	840.000	310.000	1.800	5.400	320.000	360.000
	19.03.02	820.000	190.000	8.100	4.500	1.800.000	610.000
Med UV-lys Flow: 10 m <sup>3</sup> /h	08.07.03	18.000.000	330.000	1.200.000	600	4.600.000	330.000
	15.07.03	3.800.000	280.000	520.000	37.000	3.400.000	200.000
Med UV-lys, Flow: 0,5 m <sup>3</sup> /h	19.08.03	7.600.000	860.000	2.600.000	25.000	4.300.000	1.300.000
	19.08.03	1.600.000	1.800.000	130.000	23.000	1.200.000	2.300.000
	26.08.03	1.400.000	1.400.000	70.000	17.000	930.000	3.100.000
	26.08.03	4.400.000	1.700.000	140.000	15.000	3.100.000	2.700.000

Resultaterne i tabel 2.3 viser kun en begrænset kimtalsreduktion. Det blev således vurderet, at UV-lysbehandlingen af vandet i opsamlingsstanken ikke var tilstrækkelig effektiv. Det vurderes, at den ringe kimtalsreduktion, kunne hænge samme med, at ikke alt vand passerer forbi UV-lyset. Indsamlingssted V4 er vand udtaget i bunden af reservoiret, jf. bilag A.

For at sikre, at alt vand passerede forbi UV-lyset blev der etableret et ekstra prøveudtagningssted lige efter UV-lyslampen (V5). Dette udtagningssted svarede til et planlagt udløb af behandlet gråt spildevand til anden anvendelse. Principdiagram fremgår af bilag B. Analyseresultaterne fremgår af tabel 2.4.

Tabel 2.4. Effekt af UV-lysbehandling på antal kim ved 37°C og 22°C ved nyt prøveudtagningspunkt

	Dato	Kimtal ved 37°C, blodagar [pr. ml]	Kimtal 37°C, blodagar, hæmolytiske bakterier [pr. ml]	Kimtal ved 22°C [pr. ml]
		V5	V5	V5
Med UV-lys, hastighed: 0,5 m <sup>3</sup> /h	19.08.03	5.900	200	970
	19.08.03	8.600	170	1.200
	26.08.03	3.700	30	1.100
	26.08.03	3.100	10	660

Som det fremgår var der sket en væsentlig reduktion af kimal umiddelbart efter UV-lyslampen. Det vurderes, dog at værdierne stadig er relativt høje sammenlignet med resultater fra andre anlæg til behandling af gråt spildevand /2/.

Det kan konstateres, at der var problemer med at få UV-lysanlægget til at fungere optimalt, og opnå den reduktion i kimal der må kunne forventes. Andre projekter /2 og 3/ har vist, at det er muligt at opnå en meget effektiv reduktion af kimal ved UV-lysbehandling. Som en følge af de vedvarende høje niveauer for BOD og detergenter blev det besluttet, ikke at investere flere ressourcer på at optimere det pågældende UV-lysanlæg.

## 2.5 Erfaringsopsamling

Den eksisterende varmevekslingsinstallation gav anledning til nogen begrænsninger i forhold til styring af vandstrømmen og trykforhold i det installerede behandlingsanlæg for gråt spildevand.

Disse problemer kunne sandsynligvis være løst ved installation af en opsamlingsstank efter varmeveksleren, hvorfra der kunne opsamles spildevand til en kontinuerlig vandstrøm gennem behandlingsanlægget. Dette kunne dog ikke lade sig gøre pga. de ugunstige pladsforhold i kælderen under Vestbadet, hvortil spildevandet blev tilledt.

### 3 Sundheds- og hygiejnemæssige aspekter ved projektet

Der foreligger ringe viden om sundheds- og hygiejne aspekter ved anvendelse af gråt spildevand til toiletskyl og maskinvask af tøj. Der foreligger få danske og udenlandske undersøgelser af sådanne aspekter, ligesom viden om den mikrobiologiske og kemiske sammensætning af forskellige typer gråt spildevand er begrænset.

Eventuelle sundhedsrisici for brugere af toiletter som anvender gråt spildevand til toiletskyl syntes primært associeret med luftbårne (aerosolbårne) smitstoffer, som kan medføre luftvejssygdomme, hvis de inhaleres. Det er usikkert om sundhedsrisici ved andre former for kontakt, herunder hudkontakt og oral indtagelse, eksempelvis af børn, øges ved anvendelse af gråt spildevand til toiletskyl og tøjvask.

Der er ikke foretaget en hygiejnemæssig vurdering af benyttelse af det behandlede grå spildevand til anden anvendelse end toiletskyl og maskinvask af tøj.

I det efterfølgende omtales kort risici ved de forskellige mulige overførelsesveje for mikroorganismer og kemiske stoffer i gråt spildevand. Dette efterfølges af en kort præsentation af de vigtigste mikroorganismer i gråt spildevand. Ønskes der en detaljeret beskrivelse og diskussion af mikrobiologiske og kemiske måleparametre henvises der til relevant faglitteratur, samt rapport fra Miljøstyrelsen /1/. Sidstnævnte indeholder bl.a. en detaljeret beskrivelse og vurdering af kemiske og miljøfremmede stoffer i gråt spildevand, ligesom referencen også beskriver resultater fra tidligere, især kemiske undersøgelser af gråt spildevand.

#### *Afgrænsning af projektet*

Projektets primære formål var at vurdere hvor effektiv behandlingsanlægget reducerede antallet af udvalgte mikrobiologiske måleparametre i gråt spildevand for derved at kunne fastsætte den mikrobiologiske kvalitet af behandlet og opbevaret gråt spildevand. Yderligere formål var en generel vurdering af anlæggets driftmæssige forhold og teknologi, herunder eventuelle lugtgener. Sidstnævnte har udgjort problemer i forbindelse med drift af flere tidligere anlæg til behandling af gråt spildevand. Endelig skulle analyseresultaterne også bidrage med en generel øget viden om den mikrobiologiske og kemiske sammensætning af gråt spildevand.

Der er foretaget en overordnet og sammenfattende vurdering af de sundheds- og hygiejnemæssige risici for brugere ved anvendelse af det behandlede grå spildevand til toiletskyl og maskinvask af tøj, hvorimod der ikke er foretaget en risikovurdering ved fejl og uheld ved det tekniske anlæg. Det skal dog bemærkes, at der er indført en række procedurer til nedbringelse af risiko ved fejl eller driftssvigt. Der er ikke foretaget en større vurdering af sundheds- og arbejdsmiljømæssige forhold for personer, der skal vedligeholde anlægget.

### *Overførsel af mikroorganismer til mennesker ved toiletskyl og tøjvask*

Anvendelse af gråt spildevand til toiletskyl og maskinvask af tøj kan være forbundne med mulige sundhedsrisici for mennesker. Sådanne risici kan være relateret til forekomsten af mikroorganismer og deres cellebestanddele, herunder især sygdomsfremkaldende mikroorganismer, samt sundhedsskadelige kemiske stoffer i det behandlede grå spildevand. Det er især lipopolysakkarid dele af cellemembranen fra gram-negative bakterier som kan være toksiske ved inhalation og hudkontakt (allergener). Der er i projektet dog kun analyseret for kemiske stoffer i ubehandlet grå spildevand. Dette skyldes, at projektets formål primært var at undersøge den mikrobiologiske kvalitet af behandlet grå spildevand, men også at der i den indledende undersøgelse kun blev fundet tilførte kemiske stoffer i meget lave koncentrationer.

Mennesker kan eksponeres for mikroorganismer og deres cellebestanddele ved:

- Indtagelse af vand gennem mund (oral)
- Hudkontakt
- Indånding (aerosoler mv.)

Ved brug til toiletskyl, skønnes de to førstnævnte overførselsveje primært at være aktuelle for børn, dog kan voksne også eksponeres, eksempelvis ved rengøring af toiletter. Ved anvendelse af behandlet grå spildevand til tøjvask vil personer gennem hudkontakt til vasket tøj kunne eksponeres for f.eks. cellebestanddele fra døde mikroorganismer. Da sådanne cellebestanddele eventuelt kan virke som allergener vil en mulig risiko være hudreaktioner på sådanne påvirkninger.

Beboere som anvender behandlet grå spildevand til toiletskyl vil principielt kunne eksponeres for "fremmede" mikroorganismer fra andre beboere hvis det grå spildevand opsamles fra mange forskellige lejligheder og hushold. En sådan eksponering vil normalt repræsenterer en større risici end hvis beboerne kun blev eksponeret til "kendte" mikroorganismer i spildevandet fra deres eget hushold. Den primære grund er en forventet lavere modstandsdygtighed overfor "fremmede" mikroorganismer. Embedslægen i København har dog vurderet sådanne risici som værende minimale og ikke aktuelle i forbindelse med et tilsvarende projekt i Nordhav nsgården /2/ (jfr. bilag D).

### *Indtagelse af vand gennem mund (oral)*

Sygdom, typisk mavetarmlidelser, opstået som følge af oral indtagelse af behandlet grå spildevand vil kunne optræde, hvis der indtages et tilstrækkelig højt antal sygdomsfremkaldende mikroorganismer eller eksempelvis bakterielle giftstoffer (toksiner), som typisk kan forårsage akutte mavetarm reaktioner.

Antal mikroorganismer i behandlet grå spildevand, som ønskes anvendt til toiletskyl og maskinvask, vil afhænge af organismernes initiale antal i det ubehandlede grå spildevand, samt en eventuel efterfølgende opformering efter opsamling, behandling og lagring af spildevandet. Det grå spildevands indhold af næringsstoffer og dets temperatur har især indflydelse på såvel overlevelse som opformering af mikroorganismer. Det må forventes, at kemiske og andre miljøfremmede stoffer vil påvirke spildevandets mikrobiologiske sammensætning, mest sandsynlig med en kimtalsreduktion. Sådanne påvirkninger er dog stort set ukendte og er ikke forsøgt fastlagt i dette projekt.

Børn kan eventuelt ved leg og anden aktivitet indtage vand fra cisterne og toiletkumme og derved blive eksponeret for smitstoffer. Det er dog usikkert om en sådan eventuel eksponering repræsenterer en større sundhedsrisici sammenlignet med eksponering til "normalt" fækalforurenede vand i toiletkummer.

Den infektiøse dosis varierer betydeligt mellem de forskellige sygdomsfremkaldende bakterier, vira, og parasitter, ligesom denne dosis også er bestemt af flere forskellige forhold ved den menneskelige vært. Infektionsdosis er typisk høj for bakterier ( $10^5$ - $10^7$ ), hvorimod få vira eller parasitter ofte kan forårsage sygdom.

#### *Hudkontakt*

Brugere af vaskemaskiner og toiletter, hvor der anvendes behandlet gråt spildevand, men også andre tilstedeværende (eksempelvis børn) i vaske- og toilettrum vil i varierende grad kunne få eksponeret hud og slimhinder, herunder øjne, øre og hals, til såvel mikroorganismer som fremmedstoffer, herunder toksiske cellebestanddele (se også eksponering ved indånding nedenfor). Sygdomsfremkaldende mikroorganismer, som kan give hudproblemer, inkluderer en række vira; bakterieslægterne som f.eks. *Mycobacterium* spp. og *Pseudomonas aeruginosa*. Personer vil normalt have en ringe hudkontakt med cisterne- og toiletkummevand og sundhedsrisici kan tilsvarende betragtes som lave. Der syntes ikke at foreligge data vedrørende mulige risici for hudreaktioner ved anvendelse af behandlet gråt spildevand til tøjvask.

#### *Indånding*

Indånding af forstøvede vandpartikler (aerosoler) indeholdende, især sygdomsfremkaldende mikroorganismer, udgør en potentiel smitteoverfølelsesrisiko under badning. Lungebetændelser forårsaget af *Legionella* bakterier er et eksempel på et relevant og vigtigt smitstof, hvor infektion af luftvejene sker efter indånding af vandpartikler med *Legionella* bakterier. Infektion med *Legionella* er typisk beskrevet ved brusebadning, hvorimod der ikke forligger viden om eller eksempler på sygdomstilfælde ved anvendelse af behandlet gråt spildevand til maskinvask af tøj og toiletskyl.

Indånding af bakterielle endotoksiner, som ofte er cellebestanddele, udgør også en mulig sundhedsrisici. Sådanne mulige risici blev påpeget af Embedslægen i København i en udtalelse vedrørende eventuelle sundhedsmæssige problemer i forbindelse med et tilsvarende projekt i Nordhavnsgråden /2/ ved anvendelse af behandlingsanlæg til gråt spildevand jfr. brev fra embedslæge bilag D. I forbindelse med dette projekt blev der derfor indhentet en ekspertvurdering fra overlæge Ole Bent Jeppesen, afdelingschef i Centralafdelingen for Sygehushygiejne ved Statens Serum Institut. Det blev her vurderet, at luftbåren overførsel af endotoksiner ved toiletskyl som tilføres behandlet gråt spildevand ikke vil udgøre en egentlig sundhedsrisiko for mennesker. Denne vurdering blev baseret på afdelingens erfaringer fra sygehusområdet, hvor man i forbindelse med vurdering og undersøgelser af hygiejne og risici relateret til toiletter ikke hidtil har registreret problemer med aerosolbårne endotoksiner og/eller luftbåren overførsel af egentlige smitstoffer.

## 4 Valg af analyseparametre

Et kendskab til sammensætningen af gråt spildevand er en forudsætning for at kunne vurdere hvilke anvendelsesmuligheder og behandlingsformer der er bedst egnede for en given vandtype. Et sådant kendskab til sammensætningen af gråt spildevand er også et nødvendigt grundlag for en vurdering af effektiviteten af en given behandlingsmetode.

På foranledning af Miljøstyrelsen blev der således udarbejdet forslag til måleprogrammer til en kemisk og mikrobiologisk karakterisering af gråt spildevand. En karakterisering, som skal belyse den tidsmæssige variation i sammensætningen af gråt spildevand på døgn- og årsbasis, variationen mellem forskellige beboelser, og mellem forskellige typer af gråt spildevand (bilag E).

Miljøstyrelsen besluttede at måleprogrammet for projekter med gråt spildevand skulle gennemføres i to trin:

- 3) En generel karakterisering af det grå spildevand ved tilledning til anlægget, inden vandet behandles i anlægget. Dette trin inkluderer en række kemiske parametre og mikrobiologiske "standardparametre" (se nedenfor og bilag E).
- 4) I trin 2 skal prøveudtagning foretages i såvel indløbet som udløbet fra behandlingsdelen af anlægget. Antallet af måleparametre inkluderet i trin 2 er reduceret i forhold til trin 1. På baggrund af måleprogrammets trin 1, skal de væsentligste parametre identificeres, dvs. de mest følsomme eller mest beskrivende parametre (parametre som indikatorer for problematiske forureningskomponenter), så et mindre omfangsrigt, men mere specifikt måleprogram kan sammensættes i trin 2.

I det efterfølgende beskrives kort relevante måleparametre. Dette efterfølges af en beskrivelse af parametrene som indgik i analyseprogrammernes trin 1 og 2 ved Vestbadet.

### 4.1 Fysiske parametre

Parametrene suspenderet stof og turbiditet vil være et udtryk for indholdet af partikler i det grå spildevand. Et biofilters kapacitet og muligheder for tilstopning af filtre i anlægget vil eksempelvis være afhængig af mængden af suspenderet stof og vandets turbiditet. Indholdet af suspenderet stof vil variere meget afhængig af typen af det grå spildevand.

Temperaturen af gråt spildevand vil påvirke overlevelse og vækst af mikroorganismer og dermed effekten af den biologiske rensning, eksempelvis i biotromlefiltere.

### 4.2 Kemiske parametre

De kemiske analyseparametre er baseret på traditionelle spildevandsparametre som måling af organiske iltforbrugende forbindelser (BOD og COD), næringsstoffer (N, P og K) samt miljøfremmede stoffer (tungmetaller og organiske forureningskomponenter).

Måling af iltforbrugende organiske forbindelser og næringsstoffer kan hjælpe med at bestemme risikoen for iltfrie forhold og dermed risikoen for f.eks. sulfiddannelse og /eller jernudfældning ved genbrug af vandet til f.eks. toiletskyl eller recirkulering i et vaskeri. Sulfat- og sulfidindholdet måles for at kunne vurdere risikoen for lugtgener.

Næringsstoffer er en vigtig forudsætning for en aktiv biofilm til nedbrydning af organisk materiale. For mange næringsstoffer kan dog give anledning til for mange mikroorganismer. pH er også en vigtig betingelse for biofilmens vækst, som trives bedst ved pH på 6-9.

Indholdet af metaller i det grå spildevand vil hovedsageligt stamme fra det tilledte vand fra vandværket. Dog kan der også forekomme metaller fra de anvendte installationer der kan afgive metal eller fra de produkter, som anvendes under brug af vand til bad eller håndvask. Metalindholdet kan være årsag til, at det grå spildevand ikke er klart og samtidig kan metallerne udfælde som belægninger i installationerne.

Langt den største del af de miljøfremmede organiske stoffer tilføres det grå spildevand via de hygiejneprodukter (sæbe, shampoo mm.), som anvendes ved badning og håndvask. I disse produkter findes bl.a. en række detergenter samt vaske- og overfladeaktive stoffer, der er fedt og snavsopløsende, og som kan være giftige i vandmiljøet. Desuden indeholder produkterne ofte farvestoffer, emulgatorer, konserveringsmidler mm.

#### 4.3 Mikroorganismer

Dette kapitel beskriver kort potentielle og anvendte parametre til vurdering af den mikrobiologiske kvalitet af ubehandlet og behandlet gråt spildevand i analyseprogrammernes trin 1 og 2.

##### *Indikatorbakterier*

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

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

Bakterielle indikatorer er især velegnede til at indikere tilstedeværelsen af sygdomsfremkaldende bakterier fra mave-tarmkanalen, men er generelt dårlige indikatorer for tilstedeværelsen af virus og parasitter.

Der foreligger en begrænset viden om anvendelse af traditionelle indikatorbakterier til bestemmelse af kvaliteten af gråt spildevand, herunder de standardiserede mikrobiologiske metoders egnethed til analyse af gråt spildevand.



### *Enterokokker (tidligere benævnt fækale streptokokker)*

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

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

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

### *Coliforme bakterier*

Gruppen af coliforme bakterier er Gram-negative, stavformede, ikke-sporeformende bakterier som er laktose fermenterende ved 35-37°C med produktion af syre og gas. Bakterier der opfylder disse betingelser tilhører familien *Enterobacteriaceae*, som inkluderer *E. coli*, samt medlemmer af slægterne *Enterobacter*, *Klebsiella* og *Citrobacter*. Værdien af coliforme bakterier som indikator på fækalforurening er begrænset af at bakterierne kan stamme fra andre miljøer end menneskers og dyrs tarmkanal. De er derfor mindre egnede som indikatorer for en egentlig fækal forurening. Deres tilstedeværelse og antal forventes dog at kunne give relevante oplysninger om den mikrobiologiske kvalitet af gråt spildevand. Der er analyseret for antal coliforme bakterier i projektet.

### *Termotolerante coliforme bakterier*

Gruppen af termotolerante coliforme bakterier opfylder alle kriterierne i definitionen af coliforme bakterier. De skal endvidere fermentere laktose med produktion af syre og gas ved 44,5°C. Disse udvidede kriterier betyder, at bakterierne næsten udelukkende stammer fra menneskers og dyrs tarmkanal. En undtagelse er dog slægten *Klebsiella*, der er blevet isoleret fra miljøprøver uden fækal forurening. Termotolerante coliforme bakterier er således en bedre og mere specifik indikator for fækal forurening end gruppen af coliforme bakterier. Der er analyseret for termotolerante coliforme bakterier i projektet.

### *Antal udskilte indikatorbakterier fra mennesker*

I fækalier findes høje koncentrationer af de nævnte indikatorbakterier. Et raskt menneske udskiller i alt ca.  $10^7$ - $10^9$  indikatorbakterier, herunder enterokokker og termotolerante coliforme bakterier pr. gram fæces. Ved en fækal forurening af det grå spildevand vil disse bakterier derfor blive tilført spildevandet.

### *Kimtal ved 37°C og 22°C, samt antal hæmolytiske kim ved 37°C*

Kimtal undersøgt ved 37°C og 22°C er standardparametre ved bestemmelse af den mikrobiologiske kvalitet af drikkevand. Ved bestemmelse af de to parametre fås et generelt mål for den mikrobiologiske kvalitet af en vandprøve, herunder indikation på eventuel mikrobiologisk forurening og mikrobiel vækst, sidstnævnte eksempelvis under opbevaring af behandlet gråt spildevand. Når

vækstmedierne dyrkes ved forskellige temperaturer sikres der vækst og antalsbestemmelse af forskellige bakterieslægter og arter. Ved bestemmelse af bakteriekim ved 37°C opnås samtidig en bestemmelse af en række bakterier af fækal oprindelse, eksempelvis enterokokker, *E. coli* og flere andre fækale indikatorbakterier, dog undtaget slægten *Clostridium*, som ikke vokser ved tilstedeværelsen af ilt. Endelig vil bakterier i gråt spildevand, som ikke kommer fra fækalier, eksempelvis hudbakterier, også påvises ved inkubation ved 37°C. Kimtal ved 37°C anvendes derfor som en generel indikator for tilstedeværelsen af smitstoffer, ligesom de også kan indikerer en eventuel bakteriel vækst.

Ved undersøgelse af kimal ved 37°C kan der ved dyrkning på blodholdige medier bestemmes det antal bakterier som ødelægges ("hæmolysere") de røde blodlegemer. Bakteriers evne til at udvise hæmolyse på blodagar benyttes ofte som en indikator på deres potentiale til at forårsage sygdom hos mennesker.

Der i projektet analyseret for kimal ved 22°C og 37°C, samt antal hæmolytiske kim ved 37°C.

#### *Bevægelige Aeromonas spp. og Pseudomonas aeruginosa*

*Aeromonas* slægten består af en gruppe af kuldeterante, ikke-bevægelige bakterier og en gruppe af mesofile, bevægelige bakterier, sidstnævnte kan være sygdomsfremkaldende for såvel koldblodige og varmbloodige dyr (inklusive mennesker). Hos immunsvækkede personer kan *Aeromonas* spp. forårsage infektioner, herunder sårinfektioner og diarré.

*Aeromonas* spp. kan isoleres i vand, jord og levnedsmidler, herunder kød, fisk og mælk. Gruppen af bevægelige *Aeromonas* udgør en naturlig del af vandige miljøer. Mennesker kan inficeres ved indtagelse af forurenede drikkevand eller direkte kontakt med vand, eksempelvis ved badning.

*Pseudomonas aeruginosa* tilhører familien *Pseudomonadaceae*, der omfatter mange arter som kan forårsage sygdom hos mennesker og dyr. *Pseud. aeruginosa* har stor betydning i vandhygiejne sammenhæng og forekommer således som en naturlig del af den akvatiske mikroflora.

*Pseudomonas aeruginosa* kan give infektioner, især hos svækkede mennesker. Infektioner opstår især, hvor de normale forsvarsmekanismer er nedbrudt, eksempelvis gennem sår- eller slimhindebeskadigelser (øjen- og øregangsinfektioner).

*Pseudomonas aeruginosa* kan påvises i fækalier, jord, vand og spildevand, men kan ikke anvendes som en indikator for fækal forurening, da den ikke altid forekommer i fækalier og spildevand. *Pseud. aeruginosa* kan især isoleres fra vandprøver og kan derigennem overføres til levnedsmidler og drikkevarer. Vandsystemer der er forurenede med *Pseud. aeruginosa* kan fungere som et bakteriereservoir på hospitaler.

Der i projektet analyseret for bevægelige *Aeromonas* spp. og *Pseudomonas aeruginosa*.

#### *Clostridium perfringens*

*Clostridium perfringens* danner sporer, som udviser udtalt resistens overfor miljøpåvirkninger. *Cl. perfringens* og dens sporer udskilles med menneskers fækalier, men findes også som en del af den normale flora i jord og vand.

Grundet sporenes udtalte resistens bruges disse ofte som en indikator på kumulativ forurening og for effektiviteten af forskellige desinfektions- og behandlingsmetoder. Der er i projektet undersøgt for *Cl. perfringens* og dens sporer i ubehandlet og behandlet, opbevaret gråt spildevand.

#### *Koagulase-positive stafylokokker*

Parameteren koagulase-positive stafylokokker er medtaget som en repræsentant for Gram-positive bakterier, idet bakterien er en naturlig del af menneskets hudflora, ligesom den er en vigtig årsag til mavetarm- og andre infektioner. Det kan forventes, at der ved personlig hygiejne, eksempelvis badning, tilføres koagulase-positive stafylokokker til gråt spildevand. Der er i projektet undersøgt for koagulase-positive stafylokokker.

#### *Sygdomsfremkaldende bakterier*

De vigtigste bakterier som forårsager mavetarminfektioner hos mennesker under danske forhold og som kan forventes at findes i fækalforurenet gråt spildevand tilhører slægterne *Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia* samt visse typer af *E. coli*.

#### *Salmonella og Campylobacter*

*Salmonella* og *Campylobacter* er de to vigtigste årsager til bakterielt-betinget diarré hos mennesker i Danmark. Begge bakterieslægter overføres typisk via levnedsmidler, herunder vand, fra dyr til mennesker, hvor de forårsager mavetarminfektioner. *Salmonella* og *Campylobacter*, især sidstnævnte, kan isoleres fra overfladevand (floder, søer, og havet) som følge af fækalforurening fra vilde dyr, fugle og mennesker. Begge slægter kan overleve, men menes ikke at kunne opformeres, i vandige miljøer ved lav temperatur. Gråt spildevand vil kunne indeholde *Salmonella* og *Campylobacter* som følge af fækalforurening fra brusebadning og anden personlig hygiejne. Der er i projektet undersøgt for forekomst af *Salmonella* og *Campylobacter* i ubehandlet gråt spildevand (trin 1).

#### *Legionella*

*Legionella* spp. er vigtige årsager til alvorlige lungebetændelser. Slægten findes ofte associeret med bakterier, protozoer og andre organismer i vandmiljøer, hvorved deres resistens overfor desinfektionsmidler øges. *Legionella* forekommer i tekniske installationer som f.eks. koldt- og varmtvandsinstallationer, boblebade samt køletårne. Bakterien kan således muligvis være tilstede i gråt spildevand, hvor den eventuelt ville kunne overleve og opformeres i opsamlingsbeholdere, herunder også af behandlet gråt spildevand. Mennesker smittes med *Legionella* bakterier ved indånding af aerosoler, der indeholder bakterierne.

Da der ved toiletskyl og eventuelt også ved maskinvask af tøj dannes aerosoler vil *Legionella* i behandlet gråt spildevand til toiletskyl kunne udgøre en egentlig sundhedsrisiko. Der er i projektet lavet undersøgelser for forekomst af *Legionella* i ubehandlet gråt spildevand.

## 4.4 Andre smitstoffer

#### *Virus og parasitter*

Der kan forventes at forekomme en række virus og parasitter i opsamlet og eventuelt også behandlet gråt spildevand. Metoder til påvisning af virus og parasitter i miljøprøver er med få undtagelser ikke standardiserede og udføres kun i ringe udstrækning i Danmark. Der er i projektet foretaget en enkelt undersøgelse for protozoerne *Cryptosporidium* og *Giardia*, som begge er vigtige

vandbårne smitstoffer som kan forårsage mavetarmsygdomme hos mennesker. Der er ikke undersøgt for virus i dette projekt, da der kun for få virus foreligger standardiserede og anerkendte metoder. Sådanne metoder er i øjeblikket ikke anerkendt af Miljøstyrelsen, ligesom de ikke udføres af danske akkrediterede laboratorier.

# 5 Måleprogram 1. fase: screening af gråt spildevand

Måleprogrammet bestod af to faser. Fase 1 var en indledende undersøgelse af det grå spildevand ved Vestbadet med kommentering af de opnåede analyse-resultater. Med udgangspunkt i disse indledende undersøgelser blev der herefter opstillet et måleprogram for fase 2.

Resultaterne af fase 1 af måleprogrammet er beskrevet i dette kapitel. Måleprogrammet er fastlagt med udgangspunkt i rapport "Forslag til analytisk måleprogram for karakterisering af gråt spildevand i relevante Tema 4 projekter". Programmet er godkendt af Miljøstyrelsen. Baseret på erfaringer fra et lignende projekt udført ved Nordhavnsgården /2/, er der opstillet en revideret tabel for de undersøgte mikrobiologiske parametre.

Måleprogram og valgte parametre blev løbende diskuteret i projektets Styregruppe og blev således godkendt af Miljøstyrelsen.

Alle prøver beskrevet i måleprogrammet er blevet indsamlet, transporteret og analyseret for kemiske og mikrobiologiske parametre af laboratoriet RO-VESTA Miljø I/S efter gældende danske og internationale standarder. Prøver blev indsamlet og analyseret i perioden d. 12.03.02 til 26.08.03. Der er endvidere analyseret et mindre antal prøver (BOD og anioniske overfladeaktive stoffer) ved laboratoriet MILANA – Miljølaboratoriet d. 04.11.02 og d. 23.01.03. De anvendte metoder til kemiske og mikrobiologiske analyser blev indledningsvis og løbende godkendt af Miljøstyrelsen. Detaljerne vedrørende de anvendte metoder er ikke beskrevet i rapporten. Der henvises til de nævnte relevante standarder og til det udførende laboratorium.

En oversigt over prøveudtagningsdatoer og analyseparametre er angivet i bilag F.

I fase 1 er der udtaget prøver af henholdsvis:

- Ubehandlet gråt spildevand – inden 1. sandfilter (V1)
- Behandlet gråt spildevand – efter 2. sandfilter (V3)

Prøveudtagningspunkter fremgår af principdiagrammerne bilag A og B.

## 5.1 Kemiske analyse parametre

Der kan optræde ca. 900 forskellige organiske forbindelser eller grupper i gråt spildevand alt afhængig af hvilke produkter der avendes. I forbindelse med de kemiske måleparametre er de mest relevante stoffer/stofgrupper udvalgt og samlet i en analysepakke kaldet "Analysepakke 1a" /1/.

De analyserede parametre for Vestbadet er vist i tabel 5.1 og identisk med "analysepakke 1a; kemiske analyseparametre (trin 1) standardprogrammet" (jfr. bilag E), som er justeret og godkendt af Miljøstyrelsen i forbindelse med Nordhavnsgården /2/.

Tabel 5.1: Analysepakke for kemiske analyse parametre.

Stofgruppe	Inkluderede forbindelser
PH	
Temperatur	
Turbiditet	
BOD	
COD	
NVOC	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	
N-tot	
P-tot	
Sulfat	
Sulfid	
Klorid	
Suspenderet stof	
Metaller	Cd, Hg, Pb, Ni, Cr, Cu, Zn, Ca, Mg, Al, Co, Mn, Mo, Sb, Sn, V, As, Ba, Fe,
Klorerede aliphater	Diklormethan, 1,1-diklorethan, 1,2-diklorethan, cis/trans-diklorethylen, 1,2-diklorpropan, triklormethan, tetraklormethan, 1,1,1-triklorethan, 1,1,2-triklorethan, triklorethylen, tetraklorethylen,
Klorerede ether	di(2-chlorisopropyl)ether
Phthalater	Dimethylphthalat, diethylphthalat, di-n-propylphthalat, di-n-butylphthalat, di-idobutylphthalat, dipentylphthalat, di-(2-ethylhexyl)phthalat, butylbensylphthalat, di-cyclohexylphthalat
LAS	Sum af C <sub>10</sub> -C <sub>14</sub> -LAS.
Anioniske detergenter	Sum parameter
Kationiske detergenter	Sum parameter
NPE'er	Nonylphenol, mono-, di-, tri-, tetra- og pentanonylphenoletoxylaterne
Oktylphenoletoxylater	Oktylphenol, mono-, di-, tri-, tetra- og pentaoctylphenoletoxylaterne
Phenoler	Phenol, o-, m- og p- kresol
Klorphenoler	17 forskellige inklusiv 2,4-diklorphenol, 2,4,5- og 2,4,6-triklorphenol

## 5.2 Mikrobiologisk analyse parametre

De mikrobiologiske parametre er udvalgt på baggrund af traditionelle spildevandsparametre.

Ved udvælgelse af de mikrobiologiske parametre er det vurderet, at det især er de mikrobielle populationer af fækal oprindelse, som kan udgøre hygiejniske og sundhedsmæssige risici i gråt spildevand /1/.

De analyserede parametre, der er vist i tabel 5.2, er valgt med udgangspunkt i "analysepakke 1b" (jfr. bilag E). Tabellen er således en revideret udgave af "analysepakke 1b" på baggrund af erfaringer fra Nordhavnsgråden /2/, og afspejler hvilke parametre der er gennemført ved Vestbadet". Metode DS 2217/2 er valgt til analyse for kim ved 37°C, da denne metode tillader samtidig tælling af total antal kim samt antal hæmolytiske kim.

Tabel 5.2: Mikrobiologiske analyseparametre. (trin 1)

Parameter	Metode anvendt ved ROVESTA Miljø I/S ifølge analyserapporter
<i>E. coli</i> (suspekter)	ISO/DIS 9308/1, MST98
Enterokokker	ISO/DIS 7899-2, MST98 DS 2401:1999
Kimtal ved 37°C, blodagar, inkl. antal hæmolytiske bakterier, men ikke identifikation	DS 2217/2
Kimtal ved 22°C og 37°C	DS/EN ISO 6222/1
Coliforme bakterier	ISO/DIS 9308/1, MST98
<i>Clostridium perfringens</i> sporer	DS2256/1
<i>Salmonella</i> spp.	DS 266/Ret.1/1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	DS 268/1
<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	DS Forslag 19.7.2000
<i>Aeromonas hydrophila</i> (10 ml)	NMKL forslag 150-2
Koagulase-positive stafylokokker	NMKL 66-3
<i>Legionella</i>	DS 3029:2001

### 5.3 Resultater

#### 5.3.1 Fysisk-kemiske analyseresultater fra indledende screening af gråt spildevand (fase 1)

Der blev pr. april 2002 (d. 12.03.02) udtaget en prøveserie af ubehandlet gråt spildevand til analyse for de fysisk-kemiske parametre svarende til tabel 5.1. Screeningsparametrene var revideret i henhold til de erfaringer, der er opnået i projektet ved Nordhavngården /2/. Ændringerne er godkendt af Miljøstyrelsen.

Formålet med at analysere de fysisk-kemiske parametre var primært, at resultaterne skulle bidrage med generel øget viden om den kemiske sammensætning af gråt spildevand. I denne rapport er der foretaget en overordnet vurdering af analyseresultaterne primært med henblik på at fastlægge parametrene til måleprogrammets 2. fase. Ønskes en detaljeret beskrivelse og diskussion af kemiske måleparametre henvises til rapporten "Udvikling af metode til karakterisering af gråt spildevand" /1/, hvor der er gennemført et omfattende litteraturstudium samt en vurdering af den fysisk-kemiske sammensætning af gråt spildevand, herunder en bestemmelse af kilder til og farlighed af de enkelte parametre.

Analyseresultaterne af den indledende screening af det ubehandlede grå spildevand fremgår af bilag G.

#### Fysisk-kemiske parametre

Temperaturen ligger inden for det interval, som typisk er fundet i gråt spildevand fra badeværelser i litteraturen /1/. De øvrige fysiske parametre som turbiditet og suspenderet stof ligger lavere end de typiske værdier fra litteraturen.

For de kemiske parametre er det observeret, at pH, sulfat og P-total ligger inden for det førnævnte litteraturinterval /1/, mens både BOD og COD er målt lavere. N-total ligger højere. Anioniske detergenter, sulfid, chlorid og NVOC er ikke tidligere målt, hvorfor det ikke er muligt at foretage sammenligning med andre måledata.

#### Metaller

Koncentrationen af metallerne ligger enten inden for det interval, som er blevet præsenteret i litteraturen /1/, eller kan sidestilles med den naturlige baggrundskoncentration, som man finder i drikkevand i København. En undtagelse fra dette er Sb, Ba, K og Na, hvor de målte koncentrationer er højere

end de koncentrationer, der er observeret i drikkevand, hvilket indikere at disse stoffer tilføres via produkter under brusning og håndvask. Alle de fundne værdier ligger under kravværdierne til drikkevand jf. bilag G

#### Miljøfremmede organiske stoffer

Ud af de 50 forskellige organiske stoffer der er udvalgt for analyse, er 21 stoffer fundet og kvantificeret, mens de øvrige 29 organiske stoffer er fundet i koncentrationer under de anvendte analysemetoders detektionsgrænser. Generelt kan det konstateres, at de fundne værdier er meget lave og i de fleste tilfælde under detektionsgrænsen.

Blandt de fundne stoffer er trichlormethan, som ligger under den naturlige baggrundskoncentration for drikkevand i København. Det er ikke uventet, at der findes klorforbindelser i det grå spildevand ved Vestbadet. Det vil forekomme ved afvask af besøgende, der har badet i svømmebadet.

De anioniske detergenter er som forventet fundet i moderat/høj værdi en faktor ca. 30 over drikkevandskravene. Phenol og 4-methylphenol er fundet i moderate værdier.

Fire ude af de 9 undersøgte blødgørerne er i prøven fundet over grænseværdierne for drikkevand, hvor DEP og DEHP viser de højeste værdier på hhv. 27 og 28 µg/l. Værdierne for de øvrige analyserede blødgørere ligger under drikkevandskravene eller detektionsgrænsen.

Det vurderes, at indholdet af LAS (sum af C10-C14-LAS) er lavt 0,1 mg/l.

De fundne og kvantificerede organiske miljøfremmede stoffer findes i de produkter, der anvendes ved badning og håndvask, og må derfor anses for at være naturligt forekommende i gråt spildevand fra badning og håndvask.

#### *Foreløbig konklusion*

Det vurderes, at indholdet af potentielt farlige eller giftige stoffer, som metaller og miljøfremmede stoffer er meget lav i det opsamlede grå spildevand ved Vestbadet. Det svarer overens med erfaringerne fra projektet ved Nordhavnsgården /2/ og Bo-90, hvor det konstateres at vand fra badeværelser er den kilde, der er mindst belastet med forurenende stoffer. /1/

#### *Revideret måleprogram*

Efter første prøveudtagning blev der på baggrund af analyseresultaterne og erfaringer fra Nordhavnsgården /2/ opstillet et revideret måleprogram for de fysisk-kemiske analyseparametre i trin 1. Analyseresultaterne fremgår af tabel 5.3.



*Tabel 5.3: Fysisk-kemiske analyseresultater fra trin 1*

Parameter	Enhed	12.03.02	12.03.02	19.03.02	19.03.02	Badeværelse
		Ubehandlet gråt spildevand (V1)	Behandlet gråt spildevand (V3)	Ubehandlet gråt spildevand (V1)	Behandlet gråt spildevand (V3)	Litteratur-interval /1/
Temperatur	°C	27,6	26,6	29,0	24,1	18-38
Suspenderet stof	mg/l	44	8,0	42	6,7	48-120
BOD (B <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /l	8 <sup>1)</sup>	56	99	60	76-200
COD	mg O <sub>2</sub> /l	200	140	210	140	280-8000
Anioniske detergenter	µg/l	2.900	2.500	11.400	2.600	

1) *Det er forventet, at værdien i det ubehandlede spildevand burde være højere end i det behandlede. ROVESTA havde ikke udtaget nok prøvevand til at foretage en reanalyse, for en verificering af resultatet.*

Temperaturen af det ubehandlede gråt spildevand fra Vestbadet lå typisk i intervallet for badeværelser i litteraturen /1/. De øvrige parametre, suspenderet stof, BOD og COD, lå lidt lavere for det grå spildevand fra Vestbadet i forhold til hvad der er blevet fundet i litteraturen. Anioniske detergenter er ikke tidligere målt, hvorfor det ikke er muligt at foretage en sammenligning af måledata.

Analyseresultaterne viser, jf. tabel 5.3 at der kun var en begrænset reduktion af BOD, COD og detergenter efter behandling i sandfiltrene.

### 5.3.2 Mikrobiologiske analyseresultater fra indledende screening af gråt spildevand (fase 1)

Der er pr. april 2002 (d. 12.03.02 og 19.03.02) udtaget 2 prøveserier for de mikrobiologiske parametre svarende til tabel 5.2. Der blev analyseret prøver af ubehandlet gråt spildevand (V1) og efter sandfiltrering (V3). Prøveudtagningssteder fremgår af bilag A og B.

Resultaterne af de mikrobiologiske undersøgelser er vist i tabel 5.4.

Tabel 5.4. Mikrobiologiske resultater fra indledende undersøgelser af ubehandlet og behandlet gråt spildevand ved Vestbadet (fase 1).

Parameter	Enhed	12.03.02	12.03.02	19.03.02	19.03.02
		Ubehandlet gråt spildevand (V1)	Behandlet gråt spildevand (V3)	Ubehandlet gråt spildevand (V1)	Behandlet gråt spildevand (V3)
Termotolerante coliforme	Pr. ml	940	-	330	-
Enterokokker (ISO 7899/2)	Pr. ml (gram)	30	20	200	<10
Enterokokker (DS 2401: 1999)	Pr. ml (gram)	85	70	90	10
Total antal kim ved 37°C talt på blodagar	Pr. ml	840.000	310.000	820.000	190.000
Antal hæmolytiske kim talt ved blodagar inkuberet ved 37°C	Pr. ml	1.800	5.400	8.100	4.500
Kimtal ved 22°C	Pr. ml	320.000	360.000	1.800.000	610.000
Total coliforme bakterier	Pr. ml	7.900	-	790	-
<i>Clostridium perfringens</i>	Pr. ml	<10	-	<10	-
<i>Cl. perfringens</i> , sporer	Pr. ml	<10	-	<10	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Pr. ml (gram)	430	920	50	380
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (mod.)	Pr. ml (gram)	250	1.000	20	410
Staph., koagulase positive	Pr. ml	790	-	920	-
<i>Aeromonas</i> spp., bevægelige arter	Pr. ml	3.900	-	86.000	-
<i>Salmonella</i> spp.	Pr. 25 g	<1	-	<1	-
<i>Campylobacter jejuni</i> og <i>C. coli</i>	Pr. 10 g	<1	-	<1	-
<i>Cryptosporidium</i> (protozoa)	-	-	-	-	-
<i>Giardia</i> (protozoa)	-	-	-	-	-
<i>Legionella</i> spp.	Pr. liter	<100	-	<100	-
Temperatur	°C	27,6	26,6	29,0	24,1

#### Kimtal ved 21°C og 37°C

Analyserne for kimtal ved 37°C, herunder hæmolytiske bakterier og ved 22°C viste kun små forskelle i kimtal for ubehandlet og behandlet gråt spildevand. I enkelte målinger fandtes der forhøjede kimtal i det behandlede grå spildevand. De fundne kimtal viser, at disse parametre er egnede til fastlæggelse af behandlingseffekt af anlægget.

Der kunne ikke påvises *Campylobacter* spp. og *Salmonella* ssp. i det ubehandlede grå spildevand. Der blev fundet lave antal fækale indikatorbakterier i såvel ubehandlet som behandlet gråt spildevand. Der blev ikke isoleret *Legionella* spp. i ubehandlet gråt spildevand. Behandlet gråt spildevand blev ikke analyseret for *Legionella* spp.

Der blev fundet relativt høje antal bevægelige *Aeromonas* spp. (3.900 og 89.000 pr. ml.) i ubehandlet gråt spildevand, ligesom der også kunne isoleres lave antal *Pseudomonas aeruginosa* og koagulase-positive stafylokokker.

Temperaturen af det grå spildevandet varierede mellem 24,1°C og 29,0°C.

#### Foreløbig konklusion

Resultaterne af smitstofanalyserne indikerer, at der tilføres yderst få velkendte egentlige bakterielle smitstoffer til det opsamlede grå spildevand. Fund af bevægelige *Aeromonas*, *Pseudomonas aeruginosa* og koagulase-positive *Staphylococcus* viser dog også, at der kan forekomme en række potentielle smitstoffer i såvel ubehandlet som behandlet gråt spildevand. Det skal understreges, at der ikke blev undersøgt for virus og parasitter i disse undersøgelser.

## 6 Måleprogram 2. fase: vurdering af behandlingseffekt

Formålet med måleprogrammets fase 2 var at fastlægge anlæggets behandlingseffekt af det grå spildevand.

Resultaterne af fase 2 af måleprogrammet er beskrevet i dette kapitel. Måleprogrammet er fastlagt med udgangspunkt i resultaterne fra den indledende undersøgelses fase 1, som er beskrevet i kapitel 5. Programmet er godkendt af Miljøstyrelsen. Da der kan forventes at forekomme en række virus og parasitter i denne type grå spildevand, blev der foretaget undersøgelse for udvalgte protozoer. Der blev ikke analyseret for virus da der ikke eksisterer standardiserede metoder til påvisning af disse smitstoffer.

Alle prøver og analyser ifølge måleprogrammet er udtaget og foretaget ved ROVESTA Miljø I/S.

I måleprogrammets fase 2 er der udtaget prøver af henholdsvis:

- Ubehandlet grå spildevand – før 1. sandfilter (V1)
- Behandlet grå spildevand – efter 2. sandfilter (V3)
- Behandlet grå spildevand – efter reservoiret (V4)
- Behandlet grå spildevand – efter UV-lampe (V5)

Prøveudtagningspunkter fremgår af principdiagrammerne bilag A og B.

Udtagningspunktet for behandlet grå spildevand efter UV-lampen blev først etableret inden prøveudtagningen d. 19.08.03 og 26.08.03. Dette er nærmere beskrevet i afsnit 2.3.

### 6.1 Kemiske analyseparametre

De analyserede parametre og anvendte metoder er vist i tabel 6.1. Begrundelser for valg af parametre er angivet i rapportens kapitel 4.

Tabel 6.1 Kemiske parametre for fase 2

Parameter	Udtagningssted	Antal prøver
Suspenderet stof	V1 V4 V5*	3-4
Temperatur		
Turbiditet		
BOD		
COD		
Ilt		
Ledningsevne		
NVOC		
PH		
Sulfid		
Olie/fedt		
Anioniske detergenter		

\* Prøver fra udtagningssted V5 blev kun analyseret d. 19.08.03 og 26.08.03

### 6.1.1 Kemiske analyseresultater fra vurdering af behandlingseffekt (fase 2)

Kemiske analyseresultater fremgår af bilag H.

Af tabel 6.2 ses behandlingseffekten for organisk stof og anioniske detergenter i forhold til drikkevandskravene.

Tabel 6.2 Behandlingseffekt

		08.07.03	15.07.03	19.08.03	19.08.03	26.08.03	26.08.03	Drikkevandskrav /5/
BOD [mg/l]	V1	120	80	180	77	87	96	
	V4	77	110	57	38	57	49	11*
	V5	-	-	58	55	63	63	11*
Anioniske detergenter [mg/l]	V1	12,0	13,0	25,0	-	13,5	16,8	
	V4	5,0	5,0	6,0	-	7,29	8,1	0,1
	V5	-	-	7,11	-	8,3	8,08	0,1

\* Der findes ikke et specifikt drikkevandskrav til BOD, men for NVOC er der et krav til max. 4 mg C pr. Dette vil svare til et BOD-indhold på ca. 11 mg/l /4/.

Det vurderedes ud fra analyseresultaterne i tabel 6.2, at behandlingseffekten ikke var tilfredsstillende, idet indholdet af BOD og anioniske detergenter i det behandlede grå spildevand lå langt over kravene til drikkevand. Mængden af BOD vil bla. øge risikoen for mikrobiel eftervækst.

### 6.2 Mikrobiologiske analyser

De analyserede parametre og anvendte metoder er vist i tabel 6.3. Begrundelser for valg af parametre er angivet i rapportens kapitel 4.

Tabel 6.3 Mikrobiologiske parametre for fase 2

Parameter	Metode	Udtagningssted	Antal prøver
<i>Parametre til bestemmelse af kvaliteten af det ubehandlede og det behandlede grå spildevand</i>			
Kimtal 22°C	DS/EN ISO 6222/1	V1 og V4/V5	3-4
Kimtal 37°C	DS 2217/2		
Coliforme bakterier	DS 2255/2		
Termotolerante coliforme bakterier			
Enterokokker	ISO 7899/2 og DS 2401: 1999		
<i>Aeromonas</i> spp., bevægelige arter	NMKL-forsl. 150/2		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	DS 268/1		
<i>Staph.</i> , koagulase positive	NMKL 66/3		
<i>Cl. perfringens</i> , sporer	DS 2256/1		
<i>Cryptosporidium</i> (protozoa)	Analiseret efter metode udviklet af Danmarks Veterinærinstitut (DVI)	V1'	1
<i>Giardia</i> (protozoa)	Analiseret efter metode udviklet af DVI		
<i>Parametre til bestemmelse af behandlingseffekten forskellige steder i anlægget</i>			
Kimtal 22°C	Se ovenfor	V1*, V3, V4* og V5*	3-4
Kimtal 37°C			
Kimtal 37°C, hæmolytiske bakterier			

' ved prøveudtagningen d. 08.07.03

\* ved prøveudtagningen d. 19.08.03 og 26.08.03

## 6.2.1 Mikrobiologiske analyseresultater fra vurdering af behandling seffekt (fase 2)

Resultater fra 2 prøveindsamlinger d. 08.07.03 og 15.07.03

Der blev ved de 2 prøveindsamlinger analyseret for en række mikrobiologiske parametre. Parametre og resultater er vist i tabel 6.4.

Tabel 6.4. Mikrobiologiske analyseresultater fra måleprogram - fase 2 (08.07.03 og 15.07.03).

Parameter	Enhed	08.07.03	08.07.03	08.07.03	15.07.03	15.07.03	15.07.03
		Ubehandlet gråt spildevand (V1)	Efter sandfilter (V3)	Behandlet gråt spildevand (V4)	Ubehandlet gråt spildevand (V1)	Efter sandfilter (V3)	Behandlet gråt spildevand (V4)
Termotolerante coliforme bakterier	Pr. ml	6.300	-	79	49.000	-	2.400
Enterokokker (ISO 7899/2)	Pr. ml (gram)	56	68	11	170	110	16
Enterokokker (DS 2401: 1999)	Pr. ml (gram)	55	-	-	450	-	-
Kimtal ved 37°C, blodagar	Pr. ml	18.000.000	4.900.000	2.900.000	3.800.000	1.800.000	280.000
Kimtal ved 37°C, blodagar, hæmolytiske bakterier	Pr. ml	1.200.000	6.000	600	520.000	110.000	37.000
Kimtal ved 22°C (TGA)	Pr. ml	4.600.000	2.900.000	330.000	3.400.000	3.000.000	200.000
Total coliforme bakterier	Pr. ml	240.000	-	240	240.000	-	5.400
<i>Clostridium perfringens</i>	Pr. ml	-	-	-	-	-	-
<i>Cl. perfringens</i> , sporer	Pr. ml	1	-	<1	6	-	2
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Pr. ml (gram)	200	-	140	2.000	-	230
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (mod.)	Pr. ml (gram)	-	-	-	-	-	-
Staph., koagulase positive	Pr. ml	2.000	-	16	9.000	-	44
<i>Aeromonas</i> spp., bevægelige arter	Pr. ml	170.000	-	2.600	270.000	-	17.000
<i>Salmonella</i> spp.	Pr. 25 g	-	-	-	-	-	-
<i>Campylobacter jejuni</i> og <i>C. coli</i>	Pr. 10 g	-	-	-	-	-	-
<i>Cryptosporidium</i> (protozoa)	Pr. liter	600	-	-	-	-	-
<i>Giardia</i> (protozoa)	Pr. liter	600	-	-	-	-	-
<i>Legionella</i> spp.	Pr. liter	-	-	-	-	-	-
Temperatur	°C	28,0	-	28,0	27,0	-	29

Analyserne for termotolerante coliforme bakterier og enterokokker viste relativt lave kimalt i ubehandlet gråt spildevand (V1). UV-lysbehandlet gråt spildevand (V4) udledt fra anlægget indeholdt dog såvel termotolerante coliforme bakterier og enterokokker.

Ubehandlet gråt spildevand indeholdt høje antal kim ved 22°C og 37°C, herunder hæmolytiske kim (tabel 6.4). Der fandtes nogen kimaltsreduktion efter sandfiltrene (V3), men det UV-lysbehandlede gråt spildevand (V4) udledt fra anlægget indeholdt stadig relativt høje antal kim. Det UV-lysbehandlede grå spildevand (V4) udledt fra anlægget indeholdt endvidere varierende antal af coliforme bakterier, *Pseudomonas aeruginosa*, *Aeromonas* spp., og koagulase-positive *Staphylococci*.

Ved projektets igangsættelse var det usikkert om det var muligt at identificere et dansk laboratorium som havde kapacitet og mulighed for at lave analyser af gråt spildevand for protozoer. Analyser for protozoer blev derfor ikke medtaget i den oprindelige analyseplan. Protozoer er vigtige vandbårne smitstoffer i udlandet, hvorimod der ikke syntes at foreligge viden om deres forekomst i gråt spildevand i Danmark. Da der efter projektets igangsættelse blev mulighed for at få udført analyser for protozoer, blev det besluttet at gennemføre en analyse af ubehandlet gråt spildevand. Resultaterne viste, at det ubehandlede

grå spildevand indeholdt 600 *Cryptosporidium* æg (oocyster) og 600 *Giardia* æg (cyster) per liter.

Af flere grunde blev der ikke foretaget flere analyser for protozoer i det ubehandlede og behandlede grå spildevand. Det lykkedes aldrig i projektet, at få sandfilteranlægget til at fungere optimalt. Det var derfor ikke så interessant, at få påvist om der var protozoer i det behandlede vand, da der ville være usikkerhed omkring et velfungerende anlægs kapacitet til at fjerne eller reducere indholdet af protozoer. Endvidere vil påviste protozoer også skulle undersøges for deres viabilitet (om oocysterne var levende) og eventuelle infektivitet (smitsomhed) efter behandling i anlægget. Det er relativt omfattende analyser (forsøg med mus) og analyseudgifter til sådanne analyser for protozoer er meget høje. Der var ikke umiddelbart økonomiske ressourcer til i projektet at gennemføre den type af analyser. Der blev således ikke foretaget analyser for protozoer i efterfølgende analyser.

#### Resultater fra 2 prøveindsamlinger d. 19.08.03 og 26.08.03

På baggrund af resultaterne fra de mikrobiologiske analyser i juli 2003, hvor der generelt blev påvist høje kimtal i UV-lysbehandlet gråt spildevand (V4) udledt fra anlægget, blev det besluttet at justere UV-lysbehandlingen, herunder vandgennemstrømhastigheden for at øge kimtalsreduktionen. Der blev herefter foretaget et antal målinger forskellige steder i anlægget (V1, V3, V4, og V5) til fastlæggelse af effekten af de foretagne anlægsjusteringer. Der blev for hver indsamlingssted udtaget 2 forskellige prøver (a og b prøve). Resultaterne af disse analyser er vist i tabellerne 6.5 og 6.6.

Tabel 6.5. Mikrobiologiske analyseresultater fra måleprogrammets fase 2 (19.08.03)

Parameter	Enheden	V1 a	V1 b	V3 a	V3 b	V4 a	V4 b	V5 a	V5 b
Total kimtal ved 37°C	Pr. ml	260.000	1.600.000	3.800.000	2.400.000	860.000	1.800.000	5.900	8.600
Antal hæmolytiske kim ved 37°C	Pr. ml	7.600.000	130.000	60.000	40.000	25.000	23.000	200	170
Kimtal ved 22°C (TGA)	Pr. ml	4.300.000	1.200.000	3.800.000	4.600.000	1.300.000	2.300.000	970	1.200
Temperatur	°C	27,2	-	-	-	28,0	-	29,6	-

Tabel 6.6. Mikrobiologiske analyseresultater fra måleprogrammets fase 2 (26.08.03)

Parameter	Enheden	V1 a	V1 b	V3 a	V3 b	V4 a	V4 b	V5 a	V5 b
Total kimtal ved 37°C	Pr. ml	1.400.000	4.400.000	2.300.000	3.300.000	1.400.000	1.700.000	3.700	3.100
Antal hæmolytiske kim ved 37°C	Pr. ml	70.000	140.000	60.000	26.000	17.000	15.000	30	10
Kimtal ved 22°C (TGA)	Pr. ml	930.000	3.100.000	3.700.000	2.900.000	3.100.000	2.700.000	1.100	660
Temperatur	°C	26	28	-	-	27	28	29	29

Resultaterne af undersøgelserne var ikke væsentlig forskellige fra resultaterne fra juli 2003. Det skal endvidere bemærkes, at der var betydelige forskelle i kimtal i dobbeltprøverne udtaget fra samme indsamlingssted. De foretagne anlægsjusteringer havde således haft en minimal effekt. Det skal bemærkes, at prøver udtaget umiddelbart efter UV-lyslampen (V5) indeholdt 3.100-8.600 kim/ml ved 37°C og 660-1.200 kim/ml ved 22°C. Disse kimtal er uventet høje, hvilket eventuelt kan skyldes at behandlet gråt spildevand indeholdt relativt store mængder partikulært materiale og organisk stof. Dette vil normalt medføre en nedsat effekt af UV-lysbehandlingen.

De meget høje kimtal i UV-lysbehandlet gråt spildevand (V4) udledt fra anlægget sammenholdt med kimtalsmålingerne umiddelbart efter UV-lysbehandlingen (V5) indikerer, at ikke alt udledt behandlet vand fra beholderen var blevet UV-lysbehandlet.

### 6.3 Mikrobiologiske delkonklusioner

- Det ubehandlede grå spildevand (V1) indeholdt relative høje antal af alle mikrobiologiske måleparametre, dog var antal fækale indikatorbakterier (termotolerante coliforme bakterier og enterokokker) lave. Der fandtes endvidere generelt meget store variationer i de fundne kimtal.
- Ved gentagne målinger blev der trods påvisning af fækale indikatorbakterier ikke påvist *Salmonella* og *Campylobacter*. Der blev ikke påvist *Legionella* spp. i ubehandlet gråt spildevand. *Legionella* spp. syntes derfor ikke at forekomme og/eller udvise ringe overlevelse i gråt spildevand. Det bemærkes, at der ikke er en korrelation mellem forekomst af fækal indikatorbakterier og *Legionella* spp..
- Der blev påvist såvel *Cryptosporidium* som *Giarida* æg (600 æg/L) i en enkelt prøve af ubehandlet gråt spildevand. Grundet bl.a. begrænsede økonomiske ressourcer blev der ikke foretaget yderligere analyser for disse protozoer. Det er derfor uvist om protozoeeggene blev tilbageholdt i sandfiltrene og/eller blev inaktiveret af UV-lysbehandlingen. Effekt af UV-lysbehandling på protozoer vil endvidere skulle undersøges ved bestemmelse af æggenes (oocysternes) viabilitet (levedygtighed) og eventuelt også deres infektivitet (evne til at give infektion)
- Behandling af det grå spildevand i sandfiltrene havde kun en begrænset reducerende effekt på kimtallene.
- De høje kimtal i UV-lysbehandlet gråt spildevand (V4) udledt fra anlægget sammenholdt med kimtalsmålingerne umiddelbart efter UV-lysbehandlingen (V5) indikerer, at ikke alt udledt behandlet vand fra beholderen var blevet UV-lysbehandlet.

# 7 Konklusion

## *Behandlingsanlægget*

Efter ca. 1½ års drift af behandlingsanlægget vurderes det, at denne type anlæg, der bestod af en opsamlingskank, to serieforbundne sandfiltre, et iltanlæg til dosering af ren ilt samt et UV-lysanlæg og en opbevaretkank, ikke er egnet til effektiv behandling af gråt spildevand. Anlægget har ikke på noget tidspunkt under driftsperioden fungeret optimalt. Dette gælder både drifts- og behandlingsmæssigt.

Anlægget har ikke vist sig i stand til effektivt at reducere BOD og indholdet af detergenter. I perioder har behandlingseffekten målt i forhold til reduktion af BOD være fin, idet værdierne har ligget under drikkevandskravene for BOD (målt som NVOC, jf. afsnit 6.1.1). Generelt må det dog konstateres, at der kun er opnået reduktioner på 40-60%, hvilket ikke er tilstrækkeligt i forhold til at sikre en konstant og høj kvalitet af det behandlede grå spildevand. Værdierne for BOD lå i hovedparten af undersøgelsesperioden langt over drikkevandskravene.

På trods af flere justeringer af anlægget levede kvaliteten af det behandlede grå spildevand ikke op til det, som var ønsket for projektet. I et forsøg på at nedbringe/fjerne mængden af organisk stof og detergenter blev der tilsat ren ilt, som var med til at reducere mængden af organisk stof og detergenter. Det kunne konstateres, at mængden af organisk stof i det behandlede grå spildevand blev væsentligt reduceret umiddelbart efter tilsætning af ren ilt til sandfiltrene. Efter en driftsperiode på 2-3 måneder viste analyseresultaterne imidlertid en stigning i BOD tallene igen på trods af tilsætning af ren ilt. Det betyder en øget risiko for mikrobiel eftervækst og nedsat effekt af UV-lysbehandlingen.

Der er ikke fundet en entydig forklaring på denne stigning i indholdet af BOD. Tilslamning af sandfiltrene og problemer med returskylning af filtrene samt eksisterende beholder-pumpe- og varmeveksler installation ved Vestbadet, kan være en medvirkende årsag til det stigende BOD tal. De eksisterende installationer har bl.a. betydet, at der ikke har været et kontinuert vandflow gennem filtrene. Pga. den generelt ringe reduktion af BOD i anlægget, blev der ikke foretaget yderligere vurderinger for at finde forklaringer på de stigende BOD tal.

Driften af anlægget har givet anledning til en del problemer med bl.a. lugtgener, utætheder, driftsstop mv. Dette har betydet, at anlægget i flere perioder har været ude af drift pga. reparationer og tilretninger.

Der har været anvendt kendte behandlingsteknologier som sandfiltrering og UV-lysbehandling, der har vist sig effektive i andre sammenhæng. I forbindelse med behandling af gråt spildevand har UV-lysbehandlingen af grå spildevand i Nordhavnsgården givet gode resultater /2/, som ikke har vist sig muligt for dette projekt.



### *Sundheds- og hygiejnemæssige aspekter*

Resultaterne af de mikrobiologiske analyser viser, at det opstillede anlæg kun i begrænset udtrækning havde en reducerende effekt på kimtallene. Behandlingen i sandfiltrene havde således kun en meget begrænset kimtalsreducerende effekt.

De høje kimtal i UV-lysbehandlet gråt spildevand udtaget fra beholderen (V4) sammenholdt med kimtalsmålingerne umiddelbart efter UV-lysbehandlingen (V5) indikerer, at ikke alt udledt behandlet vand fra beholderen var blevet UV-lysbehandlet.

Analyseresultaterne af de prøver, der blev udtaget umiddelbart efter UV-lysbehandlingen (V5), hvor kimtalsniveauerne lå mellem 660 – 1.200 cfu/ml for kimtal ved 22°C og mellem 3.100 – 8.600 cfu/ml for kimtal ved 37°C indikerer, at UV-lysbehandlingen ikke var effektiv, set i forhold til, hvilken reducerende effekt UV-lys normalt har på kimtal i spildevand af denne karakter. Indholdet af suspenderet stof og turbiditeten var relativt høj i det behandlede vand efter sandfiltrene, hvilket kan have haft betydning for UV-behandlingens effekt.

### *Fysiske og kemiske aspekter*

Resultaterne af de fysiske og kemiske analyser udført af ROVESTA Miljø I/S viser en ringe behandlingseffekt i anlægget for parametrene suspenderet stof, turbiditet, BOD, COD, NVOOC, sulfid og anioniske detergenter. Værdierne for det behandlede grå spildevand viste reduktioner på 40-55% fra det ubehandlede til det behandlede grå spildevand. BOD lå således på 38 – 110 mg/l i det behandlede vand, hvilket betyder, at der er en betydelig risiko for mikrobiel eftervækst og nedsat effekt af UV-lysbehandling.

På baggrund af erfaringer i projektet ved "Nordhavnsgården" /2/ blev det besluttet ikke at analysere for behandlingseffekt for de øvrige parametre i fase 1 måleprogrammet (screeningsparametrene). Det blev bl.a. besluttet på grundlag af de generelt meget lave niveauer, der blev fundet for stort set samtlige screeningsparametre i ubehandlet grå spildevand. Undtaget var fire typer phthalater (blødgørere) og to typer phenoler. Projektet har ikke undersøgt årsagen til fundet af netop disse stoffer i det ubehandlede grå spildevand, men de stoffer findes typisk i de produkter (sæbe shampoo, parfumer osv), der anvendes ved badning. Der henvises til andre relevante undersøgelser /1/.

Analyseresultaterne af de prøver der er udtaget viser generelt et meget lavt indhold af metaller og miljøfremmede stoffer i det ubehandlede grå spildevand. De lave værdier indikerer, at den sundhedsmæssige risiko i forhold til kemiske aspekter ved anvendelse af behandlet grå spildevand til toiletskyl eller maskinvask af tøj er lav. Det skal dog bemærkes, at der kun er gennemført en analyserunde for alle de kemiske parametre, og der er ikke foretaget analyser for metaller og miljøfremmede stoffer i det behandlede grå spildevand. De meget lave værdier for metaller og miljøfremmede stoffer i det ubehandlede grå spildevand understøttes af andre tilsvarende undersøgelser /1/ og /2/.

### *Generel konklusion*

Ved gentagne sammenlignelige analyser er det påvist, at kvaliteten af det behandlede grå spildevand var meget varierende og værdierne for kimtal, BOD

og detergenter var høje. Ved gentagne målinger blev der trods påvisning af fækale indikatorbakterier ikke påvist *Salmonella* og *Campylobacter* i ubehandlet vand. Ligeledes blev der heller ikke påvist *Legionella* i det ubehandlede grå spildevand. Der blev påvist såvel *Cryptosporidium* som *Giardia* æg (600 æg/L) i en enkelt prøve af ubehandlet gråt spildevand. Da der ikke blev foretaget yderligere analyser for disse protozoer, er det uvist om protozoeeggene blev tilbageholdt i sandfiltrene og/eller blev inaktiveret af UV-lysbehandlingen.

Med projektets resultater, vurderes det, at der kan være sundhedsrisici ved anvendelse af det behandlede grå spildevand fra det anlæg, der blev etableret ved Vestbadet. Sammensætningen af det ubehandlede grå spildevand ved Vestbadet er sammenligneligt med gråt spildvand fra andre steder /1/ og /2/. Der har således ikke været tale om særligt tungt belastet spildevand, der evt. kunne forklare den ringe behandlingseffekt.

Hovedproblemet for det etablerede sandfilteranlæg (jf. kapitel 2 for en nærmere beskrivelse af anlægget) var, at det ikke var i stand til at sikre en tilstrækkelig omsætning/fjernelse af det organiske stof i det grå spildvand. Selv efter tilsætning af ren ilt (95% ren ilt) til sandfiltrene kunne der ikke opnås en tilstrækkelig og ensartet fjernelse af BOD. Med et højt indhold af BOD og partikler er den efterfølgende UV-lysbehandling væsentlig mindre effektiv, hvilket analyseresultaterne i dette projekter også viser. Endvidere er der stor risiko for mikrobiel eftervækst.

Selvom der evt. kunne tilvejebringes bedre tekniske forhold, styring af vandstrømme og trykforhold, hvilket var vanskeligt i det konkrete projekt ved Vestbadet, vurderes det, at dette ikke ville ændre på den generelle vurdering af anlæggets anvendelighed til behandling af gråt spildevand.

På baggrund af projektets erfaringer med denne type sandfilteranlæg og erfaringer fra et tilsvarende anlæg ved BO90 /1/ vurderes det, at sådanne sandfilteranlæg ikke er egnet til rensning af gråt spildevand jf. ovenstående. Det er ikke i dette projektet, vurderet om andre typer sandfilteranlæg med f.eks. recirkulation over filtrene, længere opholdstid i anlægget, større filtermasse pr. behandlede mængde spildevand, forsedimentering osv. ville være egnede metoder. Disse løsninger har været diskuteret i projektet, men det var ikke muligt at afprøve dem i praksis, primært pga. tid og økonomi i projektet.

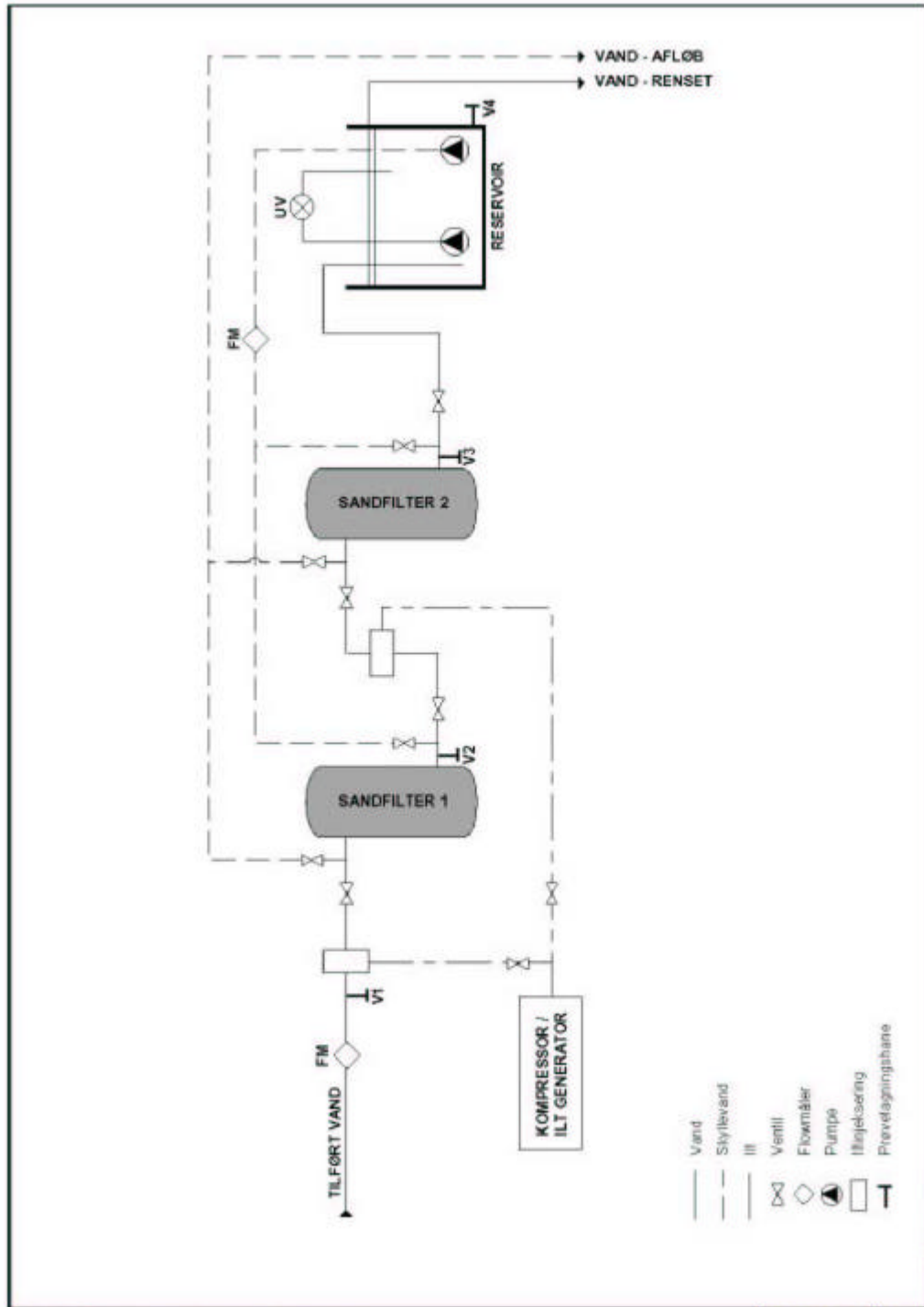


## 8 Litteratur

- /1/ Udvikling af metode til karakterisering af gråt spildevand. 1. udkast , december 2002, Anna Ledin et. a. (BO90 Rapport).
- /2/ "Etablering og drift af anlæg til opsamling, rensning og genanvendelse af gråt spildevand ved boliger til toiletskyl", "Nordhavnsgård-projektet", Miljøstyrelsen november 2003, [www.mst.dk](http://www.mst.dk)
- /3/ Udviklingsprojekt for anvendelse af regnvand som spædevand direkte i offentlige svømmebade, Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning nr. 29, 2003 – Miljøstyrelsen, [www.mst.dk](http://www.mst.dk)
- /4/ Interne notater udarbejdet af Rambøll d. 03.03.2003 – Oversigt over analyser – oplæg til fællesmøde samt d. 28.11.2002 – Vestbadet – genanvendelse af brusebadevand
- /5/ Bekendtgørelse nr. 871 af 21. september 2001 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.
- /6/ Intern mail fra Rambøll d. 20. maj 2003.



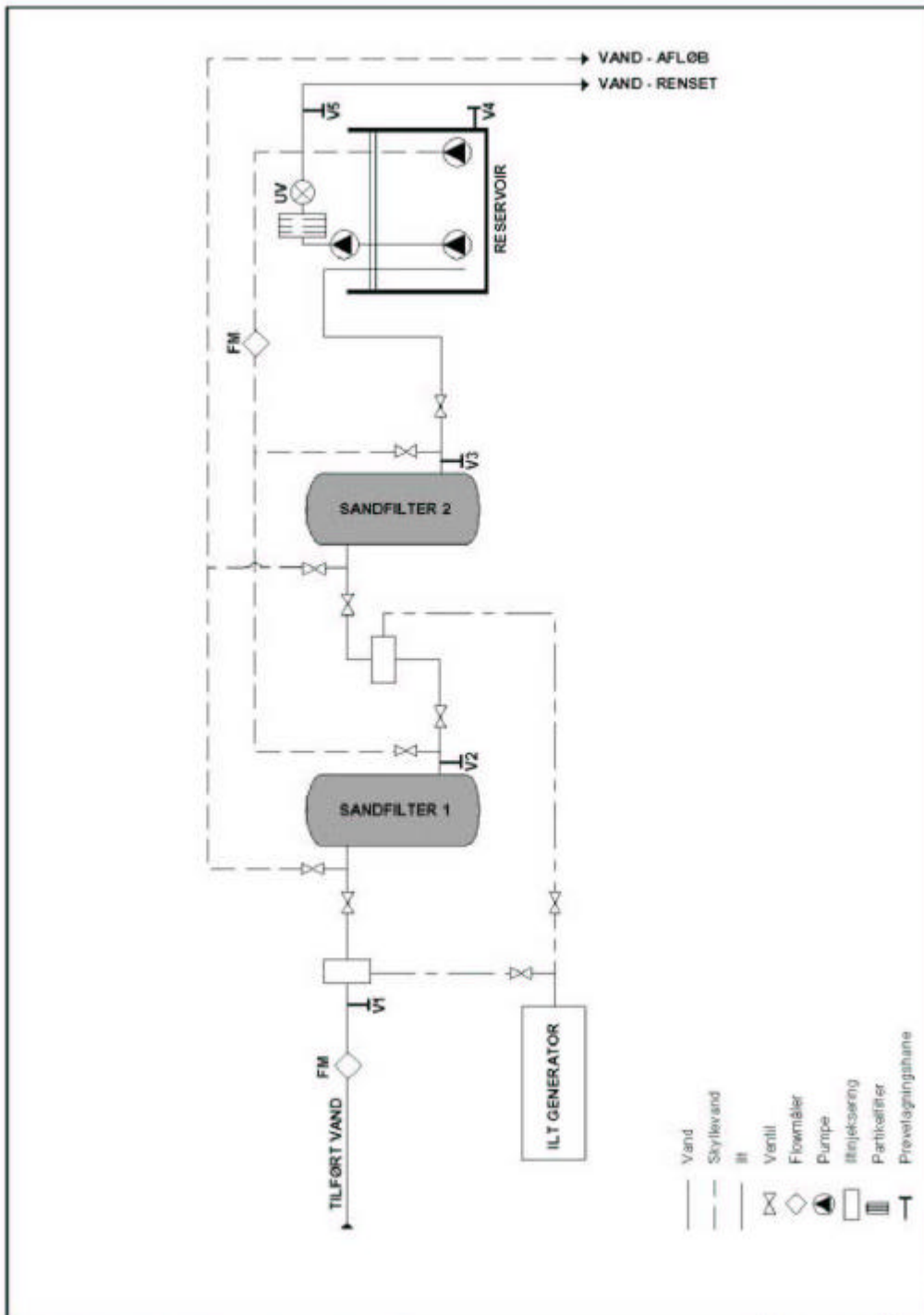
# Bilag A Principdiagram af sandfilter- anlæg



Bilag A Principdiagram - sandfilteranlæg

## Bilag B Principdiagram af ændret sandfilteranlæg





Bilag B Prinsipdiagram - ændret sandfilteranlæg



TRIP-LABORATORY

# Bilag C Komponentliste

## Vestbadet – Demonstrationsanlæg for rensning af gråt spildevand

I forbindelse med demonstrationsanlægget for rensning af gråt spildevand er der anvendt følgende komponenter. For en nærmere beskrivelse af indbygningen for de enkelte komponenter henvises til principdiagrammerne i bilag A og B.

### Komponentliste:

- Sandfilter: Dobbelt sandfilter fabrikat Kemic type 502. Hver beholder er på 0,25 m<sup>3</sup>. Diameter af sandfiltrene 0,5 m og en højde på 1,70 m. Styringen af drift og returskylning udføres af automatik type Kemic.
- For hvert sandfilter er der anvendt følgende sandtyper:
  - Nederst i filteret er anvendt 2 sække filtersand nr. 1
  - I midten af filteret er der anvendt 3 sække filtersand nr. 2
  - Øverst i filteret er der anvendt 9 sække filtersand nr. 3Hver sæk indeholder 25 kg filtersand svarende til ca. 16,5 l pr. sæk.
- Iltgenerator: Fabrikat Oxymat, type 20 LE, kapacitet på 1,5 Nm<sup>3</sup>/h ved 93% ren ilt og et afgangstryk på 5,0 bar.
- Iltbeholder type Oxymat på 135 l med sikkerhedsventil, manometre og dræn.
- Kompressor fabrikat Atlas Copco GX2P, beregnet for 7,5 bar. Der er vandseparator og filterhuse beregnet for forfilter og mikrofilter indbygget i kompressoren.
- Flowmålere: Fabrikat Danfoss, type Vand-Mag.
- UV enhed: Fabrikat Sterilight, type S8Q.
- Ekstrapumpe til partikelfilter: Fabrikat Grundfoss, type CR8
- Partikelfilter: Skivefilter, fabrikat Arkal Filtration System type Spin Klin Filtron 246 med monteret filter på 50 µm. Partikelfilteret kan renses ved returskylning med vand fra reservoiret. Det anvendte vand fra returskylningen udledes til afløbet.
- Reservior er en plasttank med maksimalt indhold på 500 l.

# Bilag D Brev fra Embedslægeinstitutionen, Nordhavnsgården

Bygge- og Teknikforvaltningen 25. september 2001  
Byggesagsafdelingen 1. kontor  
Ottiliavej 1  
2500 Valby 374-001-01 AF/go

**Vedrørende genanvendelse af gråt spildevand i ejendommen Norhavnsgården.**

Den 22. august 2001 har byggesagsafdelingen fremsendt materiale vedrørende firmaet Moe & Brødsgaards projekt om anvendelse af rensset gråt spildevand til toiletskyl i ovennævnte ejendom med anmodning og en udtalelse vedrørende eventuelle krav til vandkvaliteten af gråt genbrugsvand. Byggedirektoratet anmoder særligt om udtalelse vedrørende luftens indhold af endotoksiner i wc-rummene, foranstaltninger til begrænsning af spredning af vira og bakterier med aerosoler i forbindelse med toiletskylningen, krav til wc-rummens ventilation udover hvad der er hjemlet i bygningsreglementet samt bemærkninger i øvrigt til projektet.

Det fremgår af materialet, at projektet finansieres af Miljøstyrelsens Økologiske Aktionsplan, idet hensigten med projektet er at skaffe Miljøstyrelsen yderligere viden og erfaring med drift af grävandsanlæg, herunder dokumentation for vandkvalitet med henblik på udarbejdelse af retningslinier for fremtidige grävandsanlæg.

Anlægget er udformet således, at spildevand fra bad og håndvaske samles i opsamlingsstanke, hvorfra sedimentet udslammes. Vandet løber til en renses-tanke, hvor der sker biologisk spildevandsbehandling. Herefter løber det videre til lagertanke, hvor der sker en UV-desinfektion og sedimentet udslammes. Fra lagertanken, hvortil der også er mulighed for supplerende drikkevandsindløb skal vandet pumpes op til forbrugerne og bruges til toiletskyl. I projektets indledende fase fra maj til september 2001 sker der ingen genanvendelse af vandet, men fasen bruges til undersøgelser med henblik på fastlæggelse af det endelige måleprograms kemiske- og mikrobiologiske parametre. Det er planen, at brugsfasen, hvor anlægget anvendes til toiletskyl, varer fra oktober 2001 til marts 2002. Udover de tekniske målinger vil der løbende blive foretaget forbrugerundersøgelser af eventuelle ulemper, ligesom der skal være en slutevaluering. Anlægget omfatter 30 lejemål, men børneinstitutionen i ejendommen vil ikke blive tilsluttet.

Embedslægeinstitutionens erfaringer med eventuelle sundhedsmæssige problemer i forbindelse med anvendelse af grävandsanlæg er beskedne, bortset fra, at der gentagne gange er rapporteret om lugtgener fra sådanne anlæg. En vurdering af den sundhedsmæssige risiko må derfor i høj grad bero på teoretiske overvejelser:

Vand fra badeværelsets håndvask/bad/bruser vil kunne indholde hår, hudrester, sæbe, tandpasta og mikroorganismer som bakterier, virus og parasitter. Har en syg person eller smittebærer benyttet vandet, vil det kunne indeholde sygdomsfremkaldende mikroorganismer, og der vil være en teoretisk mulighed for, at smitstoffet passerer gennem anlægget. Det vil først og fremmest dreje sig om mikroorganismer der giver mave/tarmsygdomme, men også legionellabakterier, der vokser i varmt vand, kan forurene systemet. Risikoen for smitstoffer øges ved fejlagtig brug, f.eks. hvis snavsede biler skylles i håndvasken, eller hvis der udhældes kemikalier, som kan skade anlæggets rensningseffekt. Igennem anlægget går mange bakterier tilgrunde, og fra visse bakteriers cellevæg vil der herved frigøres giftstoffer, såkaldte endotoksiner, der kan give feber, hovedpine, kvalme, diarré, træthed og muskelsmerter.

Ved toiletskyl dannes en aerosol, hvorved blandt andet endotoksiner vil kunne spredes til luften og indåndes. Målinger af endotoksiner i toiletvand tyder dog på, at indholdet i luften vil være lavt sammenlignet med Arbejdstilsynets grænseværdi.

Ved aerosoldannelsen vil også legionellabakterier kunne spredes til luften og efter indånding give anledning til lungebetændelse. Da det ikke drejer sig om varmt vand vil legionellabakterier dog ikke opformeres i anlæggene, således at problemet må anses for lille.

Ved toiletskyl vil sprøjt og aerosoler endvidere kunne afsættes på toilettets overflade og andre overflader i badeværelset. Da sprøjt af aerosoler vil kunne indeholde sygdomskim, vil berøring af sådanne overflader efter hånd/mundkontakt kunne give anledning til sygdomsoverførelse. Risikoen er vanskelig at vurdere, idet der ikke er tilgængelige oplysninger om forskellige moderne toilettypers aerosoldannelse og sprøjt. Såfremt det drejer sig om et anlæg for en enkelt hustand, vil andre smitteveje for mave/tarmsygdomme være dominerende. Grävandsanlæg til flere hustande åbner imidlertid nye teoretiske smitteveje fra en hustand til en anden. Risikoen anses dog normalt for lille og vil kunne minimeres ved almindelig god hygiejne. Risikoen vil naturligvis alt andet lige stige med stigende bakterietal.

Den væsentligste bekymring omkring grävandsanlæg knytter sig til installationsfejl, driftsuheld, forkert anvendelse af anlæggene og arbejdsmiljøproblemer for personer der skal vedligeholde anlægget, herunder oprensning af tanke, skiftning af filtre m.v.. I disse forbindelser vil der kunne ske en lang mere massiv eksponering af personer for forurenede vand.

Embedslægeinstitutionen skal herefter bemærke, at vand til toiletskyl ifølge nugældende regler skal opfylde kravene til drikkevand. Renset gråt spildevand vil ikke kunne opfylde drikkevandskravene, og der er ifølge Miljøstyrelsen i øjeblikket ikke tilstrækkelige erfaringer til, at der kan opstilles regler for vandkvaliteten i grävandsanlæg. Det aktuelle projekt skal netop belyse problemerne ved genanvendelse af grävand og bidrage til grundlaget for stillingtagen til, om sådanne anlæg kan tillades og på hvilke betingelser. For at kunne gennemføre projektet må der således dispenseres fra gældende regler i en periode. Em-

bedslægeinstitutionen finder, at en dispensation må bero på en konkret vurdering. Grundlaget for denne vurdering må tilvejebringes af ansøgeren i form af resultaterne af de indledende undersøgelser af den kemiske- og mikrobiologiske vandkvalitet samt øvrige erfaringer med anlæg med i form af lugtgener, driftproblemer m.v.. Der bør endvidere foreligge udkast til skriftlig information til beboerne, herunder oplysninger om indskrænkninger i brug af kemikalier, skærpet hygiejne m.v. samt instruks til de personer, der skal passe anlæggene, herunder beredskabsplan ved driftuheld.

Embedslægeinstitutionen deltager gerne i en nærmere vurdering, når oplysninger er tilvejebragt.

Med venlig hilsen

Anne Fabricius  
Embedslæge

## Bilag E Status og udkast til måleprogram



## **Status og udkast til måleprogram for fase 2 af projekt M 226-0188, "Demonstrationsprojekt med genanvendelse af gråt spildevand fra en større gråvandsproducent" (Vestbadet)**

Indledning

Denne statusrapport og udkast til måleprogram for fase 2 af projektet M 226-0188 indeholder kommentarer modtaget fra Miljøstyrelsen per telefon d. 1. juli 2003.

Denne rapport indeholder en kort præsentation af måleprogram for de indledende undersøgelser (fase 1) af gråt spildevand ved Vestbadet, samt kommentering af de opnåede mikrobiologiske analyseresultater. Med udgangspunkt i disse indledende undersøgelser er der derefter opstillet udkast til måleprogram for 2. fase af projektet.

Planlægning af undersøgelserne og opstilling af måleprogram er i vid udstrækning baseret på rapporten "Forslag til analytisk måleprogram for karakterisering af gråt spildevand i relevante Tema 4 projekter", samt de opnåede erfaringer med et lignende projekt "Etablering og drift af anlæg til opsamling, rensning og genanvendelse af gråvand ved boliger til toiletskyl og maskinvask af tøj" ved Nordhavnsgården /2/.

Mulige anvendelser af behandlet gråt spildevand ved Vestbadet inkluderer toiletskyl og maskinvask af personaletøj. Afhængig af kvaliteten af det rensede gråvand, vil der være mulighed for anden anvendelse af vandet, herunder til toiletskyl og vaskeri i en stor beboelsesejendom som ligger tæt på Vestbadet.

Det forventes, at fase 2 undersøgelserne kan afsluttes ved udgangen af sommeren 2003 og at projektet således kan afsluttes, herunder afrapportering, inden udgangen af 2003.

Der henvises iøvrigt til projektbeskrivelsen.

Måleprogram for 1. fase og udkast til måleprogram for fase 2

Måleprogrammet opdeles i 2 faser.

### **1. Fase: Screening af det grå spildevand**

Der er analyseret for parametre i henhold til rapport "Forslag til analytisk måleprogram for karakterisering af gråt spildevand i relevante Tema 4 projekter" jf. de efterfølgende tabeller 1 og 2 for måleparametre, der svarer til trin 1. Baseret på erfaringerne fra projektet ved Nordhavnsgården /2/ er der opstillet en revideret tabel 2b for de undersøgte mikrobiologiske parametre.

Tabel 1. Analysepakke 1a; kemiske analyse parametre (trin 1), standardprogram

<b>Stofgruppe</b>	<b>Inkluderede forbindelser</b>
pH	
Temperatur	
Turbiditet	
BOD	
COD	
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	
N-tot	
P-tot	Inkluderes i tungmetal analysen
Sulfat	
Sulfid	
Suspenderet stof	
<b>Tungmetaller</b>	Cd, Hg, Pb, Ni, Cr, Cu, Zn, P-tot, Na, K, Ca, Mg, Al, Co, Mn, Mo, Sb, Sn, V, As, Ba, Fe, S
<b>Klorerede aliphater</b>	Diklormethan, 1,1-diklorethan, 1,2-diklorethan, cis/trans-diklorethylen, 1,2-diklorpropan, triklormethan, tetraklormethan, 1,1,1-triklorethan, 1,1,2-triklorethan, triklorethylen, tetraklorethylen,
<b>Klorerede ether</b>	di(2-chlorisopropyl)ether
<b>Phthalater</b>	Dimethylphthalat, diethylphthalat, di-n-propylphthalat, di-n-butylphthalat, di-idobutylphthalat, dipentylphthalat, di-(2-ethylhexyl)phthalat, butylbensylphthalat, di-cyclohexylphthalat
<b>LAS</b>	Sum af C <sub>10</sub> -C <sub>14</sub> -LAS.
<b>Kationiske detergenter</b>	Skal kompletteres
<b>NPE'er</b>	Nonylphenol, mono-, di-, tri-, tetra- og penta-nonylphenoletoxylaterne
<b>Oktylphenoletoxylater</b>	Oktylphenol, mono-, di-, tri-, tetra- og penta-oktylphenoletoxylaterne
<b>Phenoler</b>	Phenol, o-, m- og p- kresol
<b>Klorphenoler</b>	17 forskellige inklusiv 2,4-diklorphenol, 2,4,5- og 2,4,6-triklorphenol
<b>AOX</b>	Kun trin 2 af måleprogrammet
<b>Olie/fedt</b>	Kun i trin 2 af måleprogrammet

Tabel 2. Analysepakke 1b; mikrobiologiske parametre svarende til trin 1 (standardprogrammet)

Parameter	Målemetode
Registrering, fortynding mv. <i>E. coli</i>	ISO/DIS 9308/1 10/100 ml
Enterokokker (fækale streptokokker)	DS-forslag 10/100 ml
Kimtal ved 37°C, blodagar, incl. antal hæmolytiske bakterier, men ikke identifikation	DS 2217/1 10/100 ml
Kimtal ved 21°C, Total coliforme	?
<i>Salmonella sp.</i> 100/900 ml	NMKL 70/5 100 ml Trin 1 Trin 2-4
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	DS 268/1 10/100 ml Trin 1 Trin 2
<i>Cryptosporidium</i> (protozoa)	
<i>Giardia</i> (protozoa)	
<i>Campylobacter</i>	
<i>Aeromonas</i>	

Tabel 2b. Analysepakke 1b; revideret og gennemført ved Vestbadet

Parameter	Målemetode
Registrering, fortynding mv.	
Termotolerante coliforme bakterier	DS 2255/2
Enterokokker	ISO 7899/2 og DS 2401: 1999
Kimtal ved 37°C, blodagar, incl. antal hæmolytiske bakterier, men ikke identifikation	DS 2217/2
Kimtal ved 22°C	DS/EN ISO 6222/1
Total coliforme bakterier	DS 2255/2
<i>Clostridium perfringens</i>	DS 2256/1
<i>Cl. perfringens</i> , sporer	DS 2256/1
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	DS 268/1 DS 268/1 modificeret med direkte udsæd. Trin 1 og 2
Staph., koagulase positive (biomasse trin 1 og 2)	NMKL 66/3
<i>Aeromonas spp.</i> , bevæglige arter	NMKL-forsl. 150/2
<i>Salmonella spp.</i>	DS 266/Ret. 1/1 Trin 1
<i>Campylobacter jejuni</i> og <i>C. coli</i>	NMKL 119, VFDCk. 6.3.4
<i>Cryptosporidium</i> (protozoa)	Ikke analyseret

*Giardia* (protozoa)  
*Legionella* spp.

Ikke analyseret  
DS 3029:2001

Kommentering af de mikrobiologiske resultater fra fase 1 undersøgelser (trin 1)

Der er pr. april 2003 (d. 12.03.02) udtaget en prøveserie af ubehandlet gråt spildevand til analyse for de kemiske parametre svarende til tabel 1. Screeningsparametrene er revideret i henhold til de erfaringer der er opnået i projektet ved Nordhavnsgården /2/. Ændringerne er godkendt af Miljøstyrelsen i Nordhavnsprojektet (M 226-0187). Analyseresultaterne for Vestbadet og Nordhavnsgården er dermed sammenlignelige.

Der er pr. april 2003 udtaget 2 prøveserier for de mikrobiologiske parametre svarende til den reviderede tabel 2b. Der blev analyseret prøver af urensset gråt spildevand (V1) og efter sandfiltrering (V3). Prøveudtagningssteder er beskrevet i det efterfølgende. Det skal bemærkes, at der ikke er analyseret for protozoerne *Giardia* og *Cryptosporidium*. Hvis det er muligt at identificere et eget laboratorium kan der efterfølgende undersøges for protozoer. Eventuelle analyser for protozoer vil blive diskuteret med Miljøstyrelsen. Efter telefonisk drøftelse med Miljøstyrelsen er det besluttet at projektet kontakter Danmarks Veterinærinstitut for at spørge om de kan/vil lave analyser for de to protozoer i 2 prøver af urensset gråt spildevand.

Sammenlignet med det oprindelige forslag til måleprogram (tabel 2) er der foretaget ekstra analyser for *Legionella*, *Clostridium perfringens* og koagulasepositive *Staphylococcus*. Der er foruden anvendelse af membranfiltreringsmetode til påvisning af *Pseudomonas aeruginosa* også anvendt direkte udsæd på selektivt substrat (DS 268 modificeret). Analyse for *E. coli* (ISO/DIS 9308/1) er erstattet af analyse for termotolerante coliforme bakterier (DS 2255), da denne metode af analyselaboratoriet er fundet mere robust til analyse af forurenede prøver som gråt spildevand. ROVESTA vil fremsende tekst med begrundelse for disse ændringer af metode og analyseparameter.

Miljøstyrelsen havde følgende kommentarer til valg af analysemetoder:

- Ved fremtidige undersøgelser af rensset gråt spildevand i projektet skal der laves parallelanalyser for enterokokker med begge de i tabel 2b angivne metoder, inklusiv metode anvendt til analyse af drikkevand
- Vedr. kimtal 22°C skal ROVESTA i beskrivelse af målemetode tilføje at der anvendes DS/EN ISO 6222/1, informativ annex
- Vedr. metode til analyse for *Campylobacter* spp. udtrykte Miljøstyrelsen utilfredshed med valg af NMKL metode frem for Dansk Standard metode. Miljøstyrelsen kunne dog godt accepterer de eksisterende resultater af urensset gråt spildevand. Der skal således ikke udføres yderligere analyser for *Campylobacter* spp.
- Der skal tilstræbes så lave detektionsgrænser som muligt, især ved analyse af rensset gråt spildevand. Detektionsgrænser bør være identisk med de detektionsgrænser der anvendes ved analyser af drikkevand.

Efter aftale med ROVESTA vil der fremover blive anvendt metoder til analyse for parametrene opstillet i tabel 6 med detektionsgrænseværdier på 1 cfu per ml (g).

Resultaterne af de mikrobiologiske undersøgelser fra de to prøveserier er vist i tabel 3. Der kunne ikke påvises *Campylobacter* spp. og *Salmonella* spp. i det urensede grå spildevand. Der blev fundet et lavt antal af fækale indikatorbakterier i såvel urensset som rensset gråvand. Der vil i samråd med analyselaboratoriet og Miljøstyrelsen blive truffet beslutning om hvilken af de 2 anvendte metoder til bestemmelse af enterokokker der skal anvendes i de videre undersøgelser. De samme overvejelser og beslutning vil blive gjort mht metode til påvisning af *Pseudomonas aeruginosa*.

Analyserne for kimtal ved 37°C, herunder hæmolytiske bakterier og ved 22°C viste kun små forskelle i kimtal for urensset og rensset gråvand. I enkelte målinger fandtes der forhøjede kimtal i det rensede gråvand. De fundne kimtal viser at disse parametre er egnede til fastlæggelse af behandlingseffekt af anlægget, herunder UV-lysbehandling.

Antal *Pseudomonas aeruginosa* var ved begge målinger højere i rensset gråvand. Dette kan indikerer en eventuel vækst af *Ps. aeruginosa* i sandfiltret.

Der blev fundet et relativt høje antal bevægelige *Aeromonas* spp. (3.900 og 86.000 per ml.) i urensset spildevand.

Vandets temperatur varierede mellem 24,1 og 29,0°C.

Tabel 3. Mikrobiologiske resultater fra indledende undersøgelser af urensset og rensset gråt spildevand ved Vestbadet.

Parameter	Enhed	12.03.03	12.03.03	19.03.03	19.03.03
		Urenset gråvand (V1)	Renset gråvand (V3)	Urenset gråvand (V1)	Renset gråvand (V3)
Termotolerante coliforme	Pr. ml	940	-	300	-
Enterokokker (ISO 7899/2)	Pr. ml	30	20	200	<10
	(gram )				
Enterokokker (DS 2401: 1999)	Pr. ml	85	70	90	10
	(gram )				
Kimtal ved 37°C, blodagar	Pr. ml	840.000	310.000	820.000	190.000
Kimtal ved 37°C, blodagar, hæmolytiske bakterier	Pr. ml	1.800	5.400	8.100	4.500
Kimtal ved 22°C	Pr. ml	320.000	360.000	1.800.000	610.000
Total coliforme	Pr. ml	7.900	-	790	-
<i>Clostridium perfringens</i>	Pr. ml	<10	-	<10	-
<i>Cl. perfringens</i> , sporer	Pr. ml	<10	-	<10	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	Pr. ml	430	920	50	380
	(gram )				
<i>Pseudomonas aeruginosa</i> (mod.)	Pr. ml	250	1.000	20	410
	(gram )				
Staph., koagulase positive	Pr. ml	790	-	920	-
<i>Aeromonas</i> spp., bevæglige arter	Pr. ml	3.900	-	86.000	-
<i>Salmonella</i> spp.	Pr. 25	<1	-	<1	-
	g				
<i>Campylobacter jejuni</i> og <i>C. coli</i>	Pr. 10	<1	-	<1	-
	g				
<i>Cryptosporidium</i> (protozoa)	-	-	-	-	-
<i>Giardia</i> (protozoa)	-	-	-	-	-
<i>Legionella</i> spp.	Pr.	<100	-	<100	-
	liter				
Temperatur	°C	27,6	26,6	29,0	24,1

På baggrund af resultaterne af disse analyser fastlægges i samarbejde med Miljøstyrelsen og evt. Embedslægen analyseparametre for 2. fase.

## 2. Fase: Behandlingseffekt af anlæg.

Der er foretaget nogle indledende analyser for at fastlægge om der kan opnås en tilfredsstillende rensningseffekt i anlægget. Efter montering af et iltanlæg, der leverer rent ilt til anlægget, er det påvist, at der sker en betydelig reduktion i BI<sub>5</sub> og indholdet af anioniske detergenter (tabel 4).

Tabel 4. Reduktion i BOD (5d biokemisk iltforbrug) og anioniske detergenter efter montering af iltanlæg ved sandfilter.

Parameter	Enhed	Analyse metode	04.11.02	04.11.02	23.01.03	23.01.03
			Urenset grävand (V1)	Renset grävand (V3)	Urenset grävand (V1)	Renset grävand (V3)
BOD (5d biokemisk iltforbrug)	mg/l	DS/R 254	98	8	102	32-
Anioniske ofl. akt. Stoffer	mg/l	DS 237	14	0,09	12	0,36

Der vil blive udtaget prøver følgende prøveudtagningssteder:

- V1: Ubehandlet grå spildevandsprøve udtaget inden indløb til sandfilter, men efter gennemløb i varmeveksler.
- V3: Efter behandling i sandfilter, hvor der er tilført rent (95%) ilt (O<sub>2</sub>). Hermed måles behandlingseffekt af sandfilter.
- V4: Efter UV-lysbehandling. Herved måles behandlingseffekt på mikrobiologiske parametre.
- V5: Udløb fra opbevaringstank. Herved måles for eventuel opformering af udvalgte mikrobiologiske parametre.

Måleprogram 2. fase: Vurdering af renseeffekt

Baseret på resultaterne af foretagne kemiske og mikrobiologiske analyser og rapport "Forslag til analytisk måleprogram for karakterisering af gråt spildevand i relevante Tema 4 projekter" foreslås det efterfølgende udkast til måleprogram for fase 2.

Tabel 5. Kemiske parametre for 2. fase

Parameter	Udtagningssted	Antal prøver
Suspenderet stof	En prøve ved V1 og En prøve ved V5	3-4
Temperatur		
Turbiditet		
BOD		
COD		
Ilt		
Ledningsevne		
NVOC		
PH		
Sulfid		
Hæmningstest nitrifikation		
Olie/fedt		
Anioniske detergenter		

Der vil blive anvendt metoder til bestemmelse af kemiske parametre, som allerede er godkendt af Miljøstyrelsen ved projektet i Nordhavnsgråden /2/.

Tabel 6. Mikrobiologiske parametre for 2. fase

Parameter	Metode, som beskrevet i tabel 2b	Udtagningssted	Antal prøver
<i>Parametre til bestemmelse af kvaliteten af det urensede og det rensede gråvand</i>		V1 og V5	3-4
Kimtal 22°C			
Kimtal 37°C			
Coliforme bakterier			
Termotolerante coliforme			
Enterokokker			
<i>Aeromonas</i> spp., bevæglige arter			
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>			
<i>Staph.</i> , koagulase positive			
<i>Cl. perfringes</i> , sporer			
<i>Parametre til bestemmelse af renseeffekten forskellige steder i anlægget</i>		V3 og V4	3-4
Kimtal 22°C	Se ovenfor		
Kimtal 37°C			
Enterokokker			

Resultaterne af de mikrobiologiske undersøgelser vil blive drøftet løbende med Miljøstyrelsen. Det endelige antal prøveindsamlinger vil afhænge af de opnåede resultater, især størrelsen af variationer i de fundne kimtal. Effekten af UV-lysbehandling og eventuel opformering af kimtal ved opbevaring af rensset gråt spildevand vil især skulle fastlægges.

Anders Dalsgaard og Morten Andersson  
27.06.2003





# Bilag F Oversigt over prøveudtagning

Prøvetidspunkt	FASE 1		Iltanlæg		FASE 2		FASE 2 – ændret vandstrøm			
	ROVESTA		MILANA (Finansieret af Rambøll)		ROVESTA / DVI		ROVESTA			
	12.03.02	19.03.02	04.11.02	23.01.03	08.07.03	15.07.03	19.08.03		26.08.03	
							1. udtagning kl. 7.20	2. udtagning kl. 8.20	1. udtagning kl. 7.20	2. udtagning kl. 8.00
Urenset gråvand (V1)	Kemiske (fase 1) screeningsparametre  Mikrobiologiske parametre (fase 1) + Legionella, Clostridium perfr., Staph, koag, - men ikke Giardia og Cryptosporidium	BI <sub>5</sub> , COD og Anioniske detergenter  Mikrobiologiske parametre (fase 1) + Legionella, Clostridium perfr., Staph, koag, - men ikke Giardia og Cryptosporidium	BI <sub>5</sub> og Anioniske detergenter	BI <sub>5</sub> og Anioniske detergenter	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – suspenderet stof, turbiditet, BOD og COD  Mikrobiologiske parametre (fase 2) + Cryptosporidium og Giardia (DVI)	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – suspenderet stof, turbiditet, BOD og COD  Mikrobiologiske parametre (fase 2)	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – suspenderet stof, turbiditet, BOD og COD  Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – suspenderet stof, turbiditet, BOD og COD  Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – suspenderet stof, turbiditet, BOD og COD  Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – suspenderet stof, turbiditet, BOD og COD  Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37
Renset gråvand – efter 2. sandfilter (V3)	Kimtal 22 og 37 Hæmolytisk bakt. Enterokokker Pseud. Aerugin.  BI <sub>5</sub> , COD og Anioniske detergenter	Kimtal 22 og 37 Hæmolytisk bakt. Enterokokker Pseud. aerugin.  BI <sub>5</sub> , COD og Anioniske detergenter	Mikrobiologiske parametre (fase 2) – BI <sub>5</sub> og Anioniske detergenter	Mikrobiologiske parametre (fase 2) – BI <sub>5</sub> og Anioniske detergenter	Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37 Entereokokker	Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37 Entereokokker	Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37	Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37	Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37	Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37
Udløb fra rentvandstank (V4)					Kemiske (fase 2) screeningsparametre – men ikke hæmningstest nitrifikation  Mikrobiologiske parametre (fase 2)	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – men ikke hæmningstest nitrifikation  Mikrobiologiske parametre (fase 2)	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – men ikke hæmningstest nitrifikation  Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – men ikke hæmningstest nitrifikation  Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – men ikke hæmningstest nitrifikation  Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – men ikke hæmningstest nitrifikation  Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37
Udløb efter UV-lampe (V5)							Kemiske (fase 2) screeningsparametre – men ikke hæmningstest nitrifikation  Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – men ikke hæmningstest nitrifikation  Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – men ikke hæmningstest nitrifikation  Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37	Kemiske (fase 2) screeningsparametre – men ikke hæmningstest nitrifikation  Mikrobiologiske parametre (fase 2) – kimtal 22 og 37

# Bilag G Resultater af den kemiske screening

Fysisk-kemiske analyseresultater – trin 1

Parameter	Enhed	12.03.2002	Badeværelser	Drikkevand	Vandkvalitetskrav (Værdi ved forbrugers taphane) /5/
		Urenset spildevand (V1)	Litteraturinterval /1/		
Temperatur	°C	27,6	18-38	14,5	Tilstræbes højst 12°C
Suspenderet stof	mg/l	44	48-120		-
BOD (BI <sub>5</sub> )	mg O <sub>2</sub> /l	8 <sup>1)</sup>	76-200		NVOC 4 mg/l (Omregnet til BOD 11 mg/l)
COD	mg O <sub>2</sub> /l	200	280-8000	6,04	-
Anioniske detergenter	µg/l	2.900			100
Turbiditet	FTU	29	20-370	0,17	1
PH		7,96	5-8,1	7,58	7-8,5 ved afgang fra vandværk
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> -N	mg N/l	2,3	<0,1-1,25	<0,004	-
NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> -N	mg N/l	0,17	0-4,9	2,46	50
N-tot	mg N/l	7,6	0,6-7,3		
P-tot	mg P/l	0,21	0,11-2,2	0,015	0,15
Sulfat	mg SO <sub>4</sub> /l	40	12-40	68	250
Sulfid	mg/l	< 0,1			-
Chlorid	mg Cl/l	54			250
NVOC	mg C/l	20			4
METALLER:					
Al (aluminium)	µg/l	140	<100-1000	1,5	200
Sb (antimon)	µg/l	0,37		0,03	5
As (arsen)	µg/l	1,1	<38	0,35	10
Ba (barium)	µg/l	54	32	30	700
Pb (bly)	µg/l	< 2	<63		10
Cd (cadmium)	µg/l	< 0,1	<10	0,02	5
Ca (calcium)	mg/l	99	3,5-21	102,20	Bør ikke overstige 200 mg/l
Cr (chrom)	µg/l	< 2	36	1,10	50
Co (cobolt)	µg/l	0,25	<12	1,00	-
Fe (jern)	mg/l	0,057	0,34-1,40	0,01	0,2
K (kalium)	mg/l	7,6	1,5-6,6	4,06	10
Cu (kobber)	µg/l	12	60-120	0,88	2.000
Hg (kviksølv)	µg/l	0,13	<0,3	0,20	1
Mg (magnesium)	mg/l	23	1,4-6,6	20,00	50
Mn (mangan)	mg/l	< 0,005	0,061		0,05
Mo (molydæn)	µg/l	1,2			-
Na (natrium)	mg/l	90	7,4-21	40,40	175
Ni (nikkel)	µg/l	1,5	<25	1,56	20
Sn (tin)	µg/l	0,59			1.500
V (vanadium)	µg/l	1,3			-
Zn (zink)	µg/l	81	10-6300	45	3.000
S-tot	mg/l	16,3			-
KLOREREDE ALIPHATER:					
Trans-1,2-dichlorethylen	µg/l	<0,5			
1,1-dichlorethan	µg/l	<0,5			

Parameter	Enhed	12.03.2002	Badeværelser	Drikkevand	Vandkvalitetskrav (Værdi ved forbrugers taphane) /5/
		Urenset spildevand (V1)	Litteraturinterval /1/		
Cis-1.2-dichlorethylen	µg/l	0,5			Sum af flygtige klor forbindelser 3 µg/l  enkelt stof 1 µg/l
1,2-dichlorethan	µg/l	<0,5			
1,2-dichlorpropan	µg/l	<0,5			
Dichlormethan	µg/l	4,4			
Trichlormethan	µg/l	0,34		100-990	
1.1.1-trichlorethan	µg/l	<0,05		<20-100	
Tetrachlormethan	µg/l	<0,05		<10-100	
Trichlorethylen	µg/l	<0,05			
Tetrachlorethylen	µg/l	<0,05			
1.1.2.-trichlorethan	µg/l	<0,05^			
BLØDGØRERE:					
Di-cyclohexylphtalat	µg/l	<0,10			Sum max. 5
Diethylphtalat	µg/l	27			
Di-isobutylphtalat	µg/l	4,9			
Dimethylphtalat	µg/l	0,15			
Di-n-butylphtalat	µg/l	2,7			
Di-n-propylphtalat	µg/l	<0,10			
Benzylbutylphtalat	µg/l	0,42			
Di-(2-ethylhexyl)-phtalat	µg/l	28			
Di-pentylphtalat	µg/l	<0,10			
DETERGENTER:					
Anioniske detergenter	µg/l	2.900			100
Kationiske detergenter	µg/l	720			
LAS (sum af C10-C14-LAS)	µg/l	100			
NONYLPHENOLER:					
Nonylphenol	µg/l	0,9			Sum af octyl- og nonylphenol 20
Nonylphenolmonoethoxylater	µg/l	<0,10			
Nonylphenoldiethoxylater	µg/l	<0,10			
Sum af Nonylphenoler	µg/l	0,9			
Octylphenol	µg/l	<0,50			
Nonylphenolethoxylater	µg/l	<20			
Octylphenolethoxylater	µg/l	<20			
PHENOLER OG CHLORPHENOLER					
Phenol	µg/l	2,2			0,5
2-methylphenol (o-cresol)	µg/l	<0,05			
3-methylphenol (m-cresol)	µg/l	0,1			
4-methylphenol (p-cresol)	µg/l	21			
2.6-dimethylphenol	µg/l	0,4			
2.5-dimethylphenol	µg/l	0,1			
2.4-dimethylphenol	µg/l	<0,05			
3.5-dimethylphenol	µg/l	<0,05			
2.3-dimethylphenol	µg/l	<0,05			
3.4-dimethylphenol	µg/l	<0,05			
4-chlor-2-methylphenol	µg/l	<0,05			0,1
2.4-dichlorphenol	µg/l	<0,05			
2.6-dichlorphenol	µg/l	<0,05			

Parameter	Enhed	12.03.2002	Badeværelser	Drikkevand	Vandkvalitetskrav (Værdi ved forbrugers taphane) /5/
		Urenset spildevand (V1)	Litteraturinterval /1/		
2.4.5-trichlorphenol	µg/l	<0,05			
2.4.6-trichlorphenol	µg/l	<0,05			
2.3.4.6-tetrachlorphenol	µg/l	<0,05			
Pentachlorphenol	µg/l	<0,05			0,01
AOX	µg/l	12			
Olie + fedt	mg/l	10			

1) Ikke nok prøve til reanalyse. Men prøven ligger i niveauet 8 mg/l

^ Parameteren er ikke fundet i chromatogram

 = markerer af analyseresultatet ligger over kravværdien for drikkevand.

# Bilag H Analyseresultater – Fase 2



Dato	Enhed	08.07.03	15.07.03	19.08.03		26.08.03		08.07.03	15.07.03	19.08.03		26.08.03		08.07.03	15.07.03	19.08.03		26.08.03		19.08.03		26.08.03	
Prøveudtagningssted		V1	V1	V1	V1	V1	V1	V3	V3	V3	V3	V3	V3	V4	V4	V4	V4	V4	V4	V5	V5	V5	V5
Tidspunkt				kl. 7.20	kl. 8.20	kl. 7.15	kl. 8.00			kl. 7.35	kl. 8.25	kl. 7.25	kl. 8.10			kl. 7.40	kl. 8.30	kl. 7.30	kl. 8.15	kl. 8.00	kl. 8.35	kl. 7.40	kl. 8.25
Parameter																							
<b>MIKROBIOLOGI-SKE</b>																							
Kimtal v/22°C (TGA)	pr. ml	4.600.000	3.400.000	4.300.000	1.200.000	930.000	3.100.000	2.900.000	3.000.000	3.800.000	4.600.000	3.700.000	2.900.000	330.000	200.000	1.300.000	2.300.000	3.100.000	2.700.000	970	1.200	1.100	660
Kimtal v/37°C (Blodagar)	pr. ml	18.000.000	3.800.000	7.600.000	1.600.000	1.400.000	4.400.000	4.900.000	1.800.000	3.200.000	2.400.000	2.300.000	3.300.000	2.900.000	280.000	860.000	1.800.000	1.400.000	1.700.000	5.900	8.600	3.700	3.100
Hæmolytiske bakterier, antal	pr. ml	1.200.000	520.000	260.000	130.000	70.000	140.000	6.000	110.000	60.000	40.000	60.000	26.000	600	37.000	25.000	230.000	17.000	15.000	200	170	30	10
Enterokokker (ISO 7899/2)	pr. ml	56	170	-	-	-	-	68	110	-	-	-	-	11	16	-	-	-	-	-	-	-	-
Enterokokker (DS 2401: 1999)	pr. ml	55	450	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Termotolerante coliforme	pr. ml	6.300	49.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	79	2.400	-	-	-	-	-	-	-	-
Total coliforme bakterier	pr. ml	240.000	240.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	240	5.400	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cl. perfringens</i> , sporer	pr. ml	1	6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	<1	2	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	pr. ml	200	2.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	140	230	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Staph.</i> , koagulase positive	pr. ml	2.000	9.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	16	4	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Aeromonas</i> spp., bevæglige arter	pr. ml	170.000	270.000	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	2.600	17.000	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Cryptosporidium</i> (protozoa)	pr. l	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<i>Giardia</i> (protozoa)	pr. l	600	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
<b>KEMISKE</b>																							
Temperatur	°C	28,0	27,0	27,2	-	26	28	-	-	-	-	-	-	28,0	29	28,0	-	27	28	29,6	-	29	29
pH		7,8	7,5	7,8	-	7,7	7,7	-	-	-	-	-	-	7,3	7,2	7,2	-	7,2	7,3	7,2	-	7,3	7,3
Ilt, opløst målt i felt	mg/l	0,49	0,20	0,14	-	0,14	0,08	-	-	-	-	-	-	0,41	0,23	0,09	-	0,08	0,07	0,08	-	0,07	0,13
Ledningsevne	mS/m	107	124	117	-	179	110	-	-	-	-	-	-	120	127	120	-	129	121	116	-	124	121
Suspenderet stof	mg/l	73	27	88	67	31	69	-	-	-	-	-	-	32	88	24	31	31	26	18	19	20	17
Turbiditet	FTU	18	60	38	34	13	33	-	-	-	-	-	-	25	40	37	20	29	26	23	24	27	23
Bl <sub>5</sub>	mg/l	120	80	180	77	87	96	-	-	-	-	-	-	77	110	57	38	57	49	58	55	63	63
COD	mg/l	270	360	370	180	200	220	-	-	-	-	-	-	160	190	150	120	140	130	140	140	130	120
Olie + fedt	mg/l	17	27	11	-	7	18	-	-	-	-	-	-	9	10	9	-	10	6	7	-	7	7
NVOC	mg/l	59	48	59	-	31	50	-	-	-	-	-	-	38	46	41	-	47	35	40	-	38	35
Sulfid	gm/l	0,44	0,05	0,12	-	0,57	2,1	-	-	-	-	-	-	0,92	3,5	9,5	-	1,2	0,19	0,62	-	0,18	0,09
Anioniske detergenter	µg/l	12.000	13.000	25.000	-	13.500	16.800	-	-	-	-	-	-	5.000	5.000	6.000	-	7.290	8.100	7.110	-	8.300	8.080

