

**Etablering og drift af anlæg til
opsamling, rensning og
genanvendelse af gråvand til
toiletskyl og maskinvask af tøj**

Etablering og drift af anlæg til
opsamling, rensning og
genanvendelse af gråvand til
toiletskyl og maskinvask af tøj

Nordhavnsgården

Morten Andersson
Moe & Brødsgaard

Anders Dalsgaard
Kgl. 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.

Indhold

INDHOLD	3
FORORD	5
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 INDLEDNING	15
2 BEHANDLINGSANLÆG	17
2.1 PLACERING AF ANLÆGGET I EJENDOMMEN	17
2.2 RØRFØRING	18
2.3 VENTILATION	20
2.4 RENSEANLÆGGET	20
2.5 SEDIMENTATIONSTANKE	21
2.6 BIOLOGISK RENSNING	22
2.7 SEKUNDÆR SEDIMENTERING OG FILTRERING	23
2.8 UV-LYS BEHANDLING	23
2.9 LAGERTANKE	24
2.10 MYNDIGHEDSBEHANDLING	25
2.11 ANLÆGS- OG DRIFTSMÆSSIGE ERFARINGER	25
2.12 DRIFTSPROBLEMER	26
2.13 DRIFTS- OG VEDLIGEHOLDELSESMANUAL	27
3 BEBOERINFORMATION OG -UNDERSØGELSE	28
3.1 BEBOERUNDERSØGELSE	28
4 SUNDHEDS- OG HYGIENEMÆSSIGE RISICI VED PROJEKTET	31
4.1 AFGRÆNSNING AF PROJEKTET	31
4.2 OVERFØRSEL AF MIKROORGANISMER VED TOILETSKYL TIL MENNESKER	31
5 VALG AF ANALYSEPARAMETRE	34
5.1 FYSISKE PARAMETRE	34
5.2 KEMISKE FORURENINGER	34
5.3 MIKROORGANISMER	35
5.4 SYGDOMSFREMKALDENDE BAKTERIER	38
5.5 ANDRE SMITSTOFFER	39
6 MÅLEPROGRAM, TRIN 1: INDLEDENDE SCREENING	40
6.1 KEMISKE ANALYSE PARAMETRE	40
6.2 MIKROBIOLOGISK ANALYSE PARAMETRE	41
6.3 RESULTATER AF INDLEDENDE KEMISKE OG MIKROBIOLOGISKE UNDERSØGELSER (TRIN 1)	41
6.4 ANALYSEMETODISKE PROBLEMER	45
7 MÅLEPROGRAM, 2. FASE	47

7.1	VALG AF PARAMETRE TIL UNDERSØGELSER AF BEHANDLINGSEFFEKT	47
7.2	KEMISKE ANALYSER FORETAGET AF ROVESTA MILJØ I/S (TRIN 2)	49
7.3	MIKROBIOLOGISKE ANALYSER FORETAGET AF ROVESTA MILJØ I/S (TRIN 2)	49
7.4	MIKROBIOLOGISKE ANALYSER FORETAGET AF INST. F. VETERINÆR MIKROBIOLOGI, KVL (TRIN 2)	52
7.5	KEMISKE OG MIKROBIOLOGISKE RESULTATER FRA MÅLEPROGRAMMETS 2. FASE	54
8	KONKLUSION	57
9	REFERENCER	61
	BILAG A: FLOWDIAGRAM FOR GRÅVANDSANLÆGGET VED NORDHAVNSGÅRDEN	63
	BILAG B: BEREDSKABSPLAN VED FEJL PÅ ANLÆGGET	65
	BILAG C: RAPPORT FOR 1. ÅRS GENNEMGANG AF RENSEANLÆGGET	69
	BILAG D: BREV FRA EMBEDSLÆGEINSTITUTIONEN	73
	BILAG E: MÅLEPROGRAM FOR KARAKTERISERING AF GRÅT SPILDEVAND	77
	BILAG F: OVERSIGT OVER PRØVEUDTAGNING	87
	BILAG G: RESULTATER AF DEN KEMISKE SCREENING	91
	BILAG H: MIKROBIOLOGISKE RESULTATER AF ANLÆGGETS BEHANDLINGSEFFEKT	97

Forord

Formålet med projektet var at etablere et fuldskalaforsøg til opsamling og behandling af gråt spildevand i en boligejendom med henblik på anvendelse til toiletskyl og maskinvask af tøj. Resultaterne skulle bidrage med øget viden om den mikrobiologiske og kemiske sammensætning af ubehandlet og behandlet gråt spildevand for derved at kunne fastsætte kvaliteten af behandlet og opbevaret gråt spildevand tilledt toiletter. Med gråt spildevand forstås i dette projekt, vand fra brusebade og håndvaske i badeværelser.

Der blev etableret et anlæg ved Foreningen af Socialt Boligbyggeri, FSB's ejendom "Nordhavngården". Nordhavngården gennemgik i begyndelsen af 1990'erne en større renovering, hvor der bl.a. blev etableret dobbelte faldstammer og separat rørforsyning til toiletter. Der har tidligere været et gråvandsanlæg i drift, hvor der blev opsamlet grå spildvand vand fra ca. 30 lejemål. Anlægget blev stoppet i midten af 1990'erne pga. lugtgener.

Projektet er finansieret af Miljøstyrelsen under Aktionsplanen til fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning, Tema 4: Håndtering af regnvand og gråt spildevand. Endvidere har FSB bidraget med midler til ombygning ved Nordhavngården i forbindelse med anlæggets centrale placering i bygningen.

Projektet er udarbejdet af en projektgruppe bestående af:

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

FSB Nordhavngården v/Inspektør Jan Sørensen har deltaget meget aktivt i gennemførelsen af projektet. Jan Sørensen har således forestået den daglige drift og vedligehold af anlægget.

LOKUS GmbH har designet, leveret og opstillet anlægget til opsamling af det grå spildevandet. Moe & Brødsgaard A/S har projekteret VVS til opsamling af det grå spildevand samt fremføring af behandlet gråt spildevand til toiletter.

ROVESTA Miljø I/S har udtaget vandprøver og forestået de mikrobiologiske og kemiske analyser. Inst. f. Veterinær Mikrobiologi, KVL har for egen regning udtaget og analyseret yderligere et antal vandprøver, og stillet resultaterne til rådighed for dette projekt. Anna Ledin, DTU har fungeret som konsulent i forhold til vurdering af de kemiske parametre i måleprogrammet.

Projektet er gennemført i perioden januar 2001 til august 2003.

Projektet er blevet fuldt af en styregruppe bestående af:

Poul Thrane	FSB
Ulrik Djupdræt	FSB Nordhavngården (best.medlem)
Jan Sørensen	FSB Nordhavngården (inspektør)
Linda Bagge	Miljøstyrelsen
Tina Otterstrøm	Miljøstyrelsen (til d. 1. oktober 2001)
Line Hollesen	Miljøstyrelsen (fra d. 1. oktober 2001)

Maj-Britt Poulsen

Københavns Energi, Vandsparerådgivningen
(deltog i 1. styregruppemøde).

Sammenfatning og konklusioner

Formålet med projektet var at etablere et fuldskalaforsøg til opsamling og behandling af gråt spildevand i en boligejendom med henblik på anvendelse til toiletskyl og evt. maskinvask af tøj. Resultaterne skulle bidrage med øget viden om den mikrobiologiske og kemiske sammensætning af ubehandlet og behandlet gråt spildevand for derved at kunne fastsætte kvaliteten af behandlet og opbevaret gråt spildevand tilledt toiletter. 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.

Anlægget blev etableret i bebyggelsen "Nordhavnsgården" Østbanegade 153, 2100 København Ø, hvor der er 295 lejemål. Ved et beboermøde i december 2000, godkendte den beslutningsdygtige forsamling, at der blev etableret et forsøgsanlæg til opsamling og rensning af gråt spildevand i ejendommen. Det blev endvidere besluttet, at anlægget, med særlige midler fra FSB, skulle udvides til at omfatte ca. 80 lejemål i stedet for 30, der var det oprindelige forslag. Ved eventuelle uacceptable lugtgener fra anlægget, skulle forsøget omgående standses.

I forbindelse med en større renovering af ejendommen i begyndelsen af 1990'erne blev hele ejendommen forberedt til genanvendelse af gråt spildevand. Fra samtlige lejemål er der således etableret dobbelte faldstammer og separate rørføringer til vandforsyning af toiletter. Spildevand fra brusebade og håndvaske er koblet på den ene faldstamme (gråt spildevand) og spildevand fra toilet og køkkenvask er koblet på den anden faldstamme (sort spildevand). Al rørføring følger RC-Anvisning 003 /1/.

Der er ingen direkte forbindelse mellem vandværksvand og anlægget for gråt spildevand. Spædevand fra eksisterende brugsvandssystem er forsynet med tilbageløbssikring (kontra- og vakuumventil) i varmecentral. Drikkevandsefterfyldning er monteret i henhold til forskrifter i RC-anvisning 003 med et min. luftgab på 20 mm.

Det anvendte anlæg er et RBC-anlæg (Rotating Biological Contactor), se figur 2.8. I bilag A findes et flowdiagram over anlægget. Anlægget er et gennemprøvet tysk koncept, der anvender miljøvenlige og korrosionsbestandige komponenter. Anlægget er fuldautomatisk og selvrensende i den almindelige drift. Anlægget er forsynet med en række alarmfunktioner for forskellige væsentlige og mindre væsentlige fejl i anlægget. Alarmer kan via modem sendes til en PC eller en mobiltelefon. Der kræves et årligt vedligeholdelse tjek på 6-8 timers varighed, samt 2-3 times vedligeholdelse pr. måned.

Anlægget består af følgende behandlingsmoduler:

1. Opsamlings- og sedimenteringstanke til gråt spildevand, hvor der sker en primær sedimentering
2. Biologiske rensning i et RBC-anlæg, hvor der sker en omsætning af organisk stof
3. Sekundær sedimentering og efterklaring med sandfilter
4. UV-lys behandling

5. Opbevaringstanke for behandlet gråt spildevand.

Anlægget blev sat i drift i juni 2001. I perioden juni 2001 til april 2002 blev det behandlede grå spildevand ledt direkte til kloak. For at driftserfaringer i den periode kunne blive så realistiske som muligt, blev der etableret et simuleringsprogram, der tappede vand fra lagertankene svarende til det forventede forbrug henover et døgn. Stort forbrug om morgenen, eftermiddagen og om aftenen. I samme periode blev der udtaget et antal vandprøver til analysering og karakterisering af det ubehandlede og behandlede grå spildevand.

Fra april 2002 og frem til afslutning af denne rapport har renseanlægget været i drift, og det behandlede vand er blevet fremført til 84 lejemaal i ejendommen, hvor det er brugt til toiletskyl. I samme periode blev der udtaget yderligere et antal vandprøver til bestemmelse af renseeffekten af anlægget. Der blev endvidere udtaget et antal prøver i WC-cisterner, både fra cisterner forsynet med behandlet gråt spildevand og fra cisterner forsynet med vandværksvand.

Overordnet vurderes anlægget at være meget velfungerende, med et meget begrænset behov for pasning og vedligeholdelse. Der har ikke været konstateret lugtproblemer ved normal drift af anlægget. Der har ikke været klager fra beboere.

Der er blevet gennemført to beboerundersøgelser omfattende alle ca. 80 lejemaal samt en løbende vurdering hos 5 udvalgte lejemaal.

Den første undersøgelse blev gennemført ca. 14 dage efter anlæggets ibrugtagning, og omfattede 3 spørgsmål omkring lugt, misfarvning og vandmangel i toiletter. Efter ca. 10 måneders anvendelse af gråvandsanlægget blev der gennemført endnu en beboerundersøgelse mhp. at indsamle brugernes erfaringer med anvendelse af gråvand til toiletskyl.

Generelt vurderes anlægget at fungere godt set både fra beboernes og inspektørens side. Anlægget har vist sig driftsteknisk stabilt og de mindre gener der er opstået undervejs kunne løses på en hensigtsmæssig måde på baggrund af de erfaringer der er gjort.

Der foreligger ringe viden om sundheds- og hygiejnemæssige risici ved anvendelse af gråt spildevand til toiletskyl. Inden igangsættelsen af Aktionsplanens projekter vedr. gråt spildevand forelå der få danske og udenlandske undersøgelser af sådanne aspekter, ligesom viden om den mikrobiologiske og kemiske sammensætning af forskellige typer gråt spildevand var begrænset.

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 tiledt toiletter. 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 beboerne ved anvendelse af det behandlede gråvand til toiletskyl, 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.

Miljøstyrelsen besluttede at måleprogrammet for grävandsprojekter skulle gennemføres i to trin:

- 1) En generel karakterisering af det grå spildevand ved tilledning til grävandsanlægget, 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.

Resultaterne af de mikrobiologiske analyser udført af ROVESTA Miljø I/S og KVL viser, at det opstillede anlæg til behandling af gråt spildevand over en lang undersøgelsesperiode var meget driftssikker og producerede vand af en mikrobiologisk kvalitet meget tæt på kravene til drikkevand.

Sundhedsrisici ved en eventuel indtagelse via munden af WC-kumme vand tilført behandlet gråt spildevand vurderes på baggrund af projekts resultater ikke højere sammenlignet med WC kummer som ikke tilføres gråt spildevand. Bidraget fra afføringen ved toiletbesøg er den altafgørende faktor til fækal forurening af WC -kumme vand.

På baggrund af projektets resultater vurderes det, at indholdet af evt. kemiske stoffer især metaller og miljøfremmede stoffer ikke udgør nogen sundhedsmæssig risiko ved anvendelse af behandlet gråt spildevand til toiletskyl.

Med udgangspunkt i projektets samlede resultater vurderes det, at de sundheds- og hygiejnemæssige risici for beboere i Nordhavnsgården der anvender toiletter tilført behandlet gråt spildevand er overordentlig lave. Det kan derfor anbefales, at behandlet gråt spildevand kan anvendes til toiletskyl i Nordhavnsgården.

Med projektets resultater er der tilvejebragt et omfattende datagrundlag for vurdering af udvalgte mikrobiologiske og kemiske parametre for anvendelse af gråt spildevand. Ved gentagne sammenlignelige analyser er det påvist, at kvaliteten af det behandlede grå spildevand er af meget høj kvalitet tæt på kravene til drikkevand. Det er påvist, at den valgte teknologi er driftssikker og uden lugtgener.

Det vurderes, at projektet giver et væsentligt bidrag til, at Miljøstyrelsen sammen med andre relevante myndigheder kan vurdere, om der skal udarbejdes retningslinier for anvendelse af gråt spildevand på tilsvarende vis som gælder for anvendelse af regnvand i boliger.

Summary and conclusions

The objective of the project was to establish a full-scale test for collection and treatment of grey water to be reused for laundry machines and toilet flushing, in an apartment house, aiming at contributing to increasing the knowledge on the microbiological and the chemical composition of untreated and treated grey water. Thus, the quality of treated and stored grey water for toilet flushing could be determined. Knowledge of the composition of grey water is necessary to determine the possible applications and ways of treatment that would be best suitable for a given type of water. There was not sufficient basis to determine whether the Danish Environmental Protection Agency should prepare guidelines for the use of grey water.

The test facilities were established in the apartment house of "Nordhavngården" Østbanegade 153, 2100 Copenhagen Ø, with 295 apartments. At a meeting of tenants in December 2000, a legally competent assembly approved that test facilities should be established for collection and cleaning of grey water in the building. Furthermore, it was decided that the facilities with special funding from FSB should be extended to include approx. 80 apartments instead of 30 as originally proposed. In case of unacceptable odour from the test facilities, the test should be stopped immediately.

In connection with a considerable renovation of the premises at the beginning of the 90's, the entire building was prepared for reuse of grey water. Double waste pipes were established from each apartment and separate piping for the water supply for toilet flushing. Waste water from showers and wash basins are connected to one of the waste pipes (grey water and waste water from the toilet and the kitchen sink was connected to the other waste pipe (black waste water). All piping is carried out according to RC direction 003 " Use of rain-water for toilet flushing and laundry machines in private housing ".

There is no direct connection between the water from the water works and the system for grey water. Feed-water from the existing water system is supplied with a reflux valve (counter and vacuum valve) in the central boiler house. Equipment for refilling of drinking water is mounted in accordance with RC direction 003 with minimum air gap of 20 mm.

The system is a RBC system (Rotating Biological Contactor), see figure 2.8. Appendix A shows a flow diagram of the system - a thoroughly tested German concept, which uses environmentally friendly and corrosion resistant components. The system is fully automatic and self-cleaning in its day-to-day running, and supplied with numerous alarm functions in case of different kinds of major or minor errors in the system. The alarm signal can be transferred by modem to a PC or a cell-phone. An annual maintenance check of about 6-8 hours is required, as well as 2-3 hours maintenance each month.

The system consists of the following treatment modules:

1. Collection and sedimentation tanks for grey water, where the primary sedimentation takes place.

2. Biological cleaning in a RBC system, where a transformation of organic substances takes place.
3. Secondary sedimentation and clearing with sand filter.
4. UV-light treatment
5. Storage tanks for treated grey water

The system was put into operation in June 2001. During the period from June 2001 to April 2002 the treated grey water was led directly to the sewerage system. In order to gain as realistic operating experience as possible during this period, a simulation program was established, which tapped water from the storage tanks in a quantity equal to the expected consumption within a 24 hours period. Large consumption in the morning, in the afternoon and in the evening. During the same period a number of samples were analysed and characterised as untreated and treated grey water.

From April 2002 until the completion of the report, the cleaning system has been in operation, and has delivered treated water to approximately 80 apartments in the building, where it was used for toilet flushing. During the same period a further number of water samples were taken to determine the cleaning effect of the system. Furthermore, a series of samples were taken from toilet cisterns, both the cisterns supplied with treated grey water and the cisterns supplied with water from the water works.

From the overall evaluation of the system appears that the system is very well functioning and requires only minimal supervision and maintenance. There have been no reports of unusual smell during the normal operation of the system, and there have been no complaints from the tenants.

Two tenant surveys were conducted, which included all 80 apartments, as well as a running evaluation of five selected tenants.

The first survey was carried out about 14 days after the commissioning of the system, and included three questions regarding smells, discoloration and lack of water in the toilets.

After 10 months' use of the grey water system, another tenant survey was carried out, this time with the objective to gather the tenants' experience from their use of grey water for toilet flushing.

In general, the system seems to function very well, both from the tenants' and the superintendent's point of view. The system has proven to be operationally stable, and the small inconveniences that did occur were easily solved, using the gathered experience.

There is only limited knowledge of the health and hygienic aspects in connection with the use of grey water for toilet flushing. Only very few Danish or foreign surveys are available on these aspects, and there is limited knowledge of the microbiological and chemical composition of different kinds of grey water.

The main objective of the project was to estimate to what extent the treatment system could reduce the number of selected microbiological measuring parameters in grey water, for in this way to determine the microbiological quality of treated and stored grey water supplied to toilets. Further objectives were to obtain an overall evaluation of the operation of the system and the technology,

and bad smell, if any . the latter being the cause of operational problems with previous systems for treatment of grey water. Finally, the test results were to contribute with 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 for the tenants from the use of treated grey water for toilet flushing, 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 for the people who were in charge of the maintenance of the system.

The Danish Environmental Protection Agency decided that the measuring programme for the grey water projects 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.

The results of the microbiological analyses, which were carried out by ROVESTA Miljø I/S and KVL indicate that the system for treatment of grey water over a long test period was very reliable, and produced water of a quality that was very close to the drinking water quality standards.

On the basis of the project results, the health risks in connection with a possible oral intake of toilet water supplied with treated grey water does not seem higher in comparison with toilet water that had not been supplied with grey water. The contribution from the faecal pollution during a toilet visit is the dominant factor.

On the basis of the project results, it is estimated that the content of possible chemical substances, in particular metals and xenobiotic substances, does not constitute a health risk when using grey water for toilet flushing.

On the basis of the overall result of the project it is estimated that the health risks are exceptionally small for the residents at Nordhavngården, who use toilets supplied with treated grey water.

Based on the results derived from the project, an extensive data basis has been formed for evaluation of selected microbiological and chemical parameters with regard to the use of grey water. From repeated comparable analyses appears that the quality of the treated grey water is very high, very close to the required quality of drinking water.

The project contributes with extensive and new knowledge on technologies and microbiological and chemical parameters with regard to the use of grey

water, on the basis of which the Danish Environmental Protection Agency together with relevant authorities can decide whether to prepare new guidelines for the use of grey water, along the lines of the guidelines for the use of rainwater in private homes.

1 Indledning

Baggrunden for projektet var en stigende interesse for at reducere vandforbruget særligt i områder, hvor vandforbruget overstiger den naturlige grundvandsproduktion. Med Aktionsplanen var der et ønske om at undersøge og vurdere forskellige metoder til at nedbringe belastningen på grundvandsressourcerne. Regler for anvendelse af regnvand til toiletskyl og maskintøjvask var allerede udarbejdet /1/ og /6/.

Der forelå ringe viden om sundheds- og hygiejnemæssige risici ved anvendelse af gråt spildevand til toiletskyl. Der forelå kun få danske og udenlandske undersøgelser af sådanne aspekter, ligesom viden om den mikrobiologiske og kemiske sammensætning af forskellige typer gråt spildevand var begrænset.

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 gråvandstype. Der var således ikke et tilstrækkeligt grundlag for Miljøstyrelsen til at kunne vurdere, om evt. skulle udarbejdes retningslinier for anvendelse af gråt spildevand.

Formålet med projektet var at etablere et anlæg til opsamling, rensning og lagring af gråt spildevand til anvendelse til toiletskyl og evt. tøjvaskevand i et antal boliger fx i etagebyggeri. Endvidere skulle der gennem udtagning af vandprøver bestemmes og dokumenteres en karakteristik af urensset gråt spildevand, samt af kvaliteten af det behandlede grå spildevand. Med udgangspunkt i kvaliteten af ubehandlet og behandlet gråt spildevand, var det ligeledes et væsentlig formål med projektet at vurdere de sundheds- og hygiejnemæssige risici ved anvendelse af det grå spildevand.

Erfaringerne med etablering og drift af gråvandsanlæg i Danmark var begrænset. Det kunne konstateres, at det danske marked for gråvandsanlæg var meget begrænset. Ingen af de større danske leverandører af spildevandsanlæg havde erfaring og referencer inden for området. To kvalificerede danske leverandører blev kontaktet, men ønskede ikke at deltage i projektet.

I Tyskland er der mere end 15 års erfaring med gråvandsanlæg. Der arbejdes med 2. og 3. generations anlæg. For at sikre det bedst mulige resultat i dette projekt, blev der indgået aftale med en af de førende virksomheder i Tyskland, Lokus GmbH, om design og levering af et anlæg.

Anlægget blev etableret i bebyggelsen "Nordhavnsgården" Østbanegade 153, 2100 København Ø, hvor der er 295 lejemål. Ved et beboermøde i december 2000, godkendte den beslutningsdygtige forsamling, at der blev etableret et forsøgsanlæg til opsamling og rensning af gråt spildevand i ejendommen. Det blev endvidere besluttet, at anlægget, med særlige midler fra FSB, skulle udvides til at omfatte ca. 80 lejemål i stedet for 30, der var det oprindelige forslag. Ved eventuelle uacceptable lugtgener fra anlægget, skulle forsøget omgående standses.

Anlægget blev sat i drift i april 2001. Fra ca. marts 2002 blev der fremført behandlet gråt spildevand til toiletter i ca. 80 lejemål. De sidste vandprøver til analysering blev udtaget i november 2002.

2 Behandlingsanlæg

Efterfølgende findes en teknisk beskrivelse af det samlede anlæg til opsamling og behandling af gråt spildevand. Der henvises til bilag A, der viser flowdiagrammer af anlægget.

2.1 Placering af anlægget i ejendommen

Oprindeligt var der lagt op til, at anlægget skulle omfatte de samme ca. 30 lejemål, som ved det tidligere anlæg. Afdelingsbestyrelsen for Nordhavnsgården ønskede imidlertid at få anlægget udbygget til at omfatte ca. 80 lejemål. Endvidere var der et ønske om at få anlægget placeret i ejendommen således, at det senere kunne udbygges til at omfatte samtlige ca. 300 lejemål i ejendommen.

I forbindelse med placeringen blev flere alternativer overvejet, men der var følgende to overordnede ønsker, der gerne skulle kunne indfris med den valgte placering:

1. Alt gråt spildevand skulle kunne løbe til renseanlægget ved almindelig gravitation (uden pumpebrønde undervejs). Pumpebrønde vil medføre et større energiforbrug og kan give anledning til lugtgener og risiko for smittespredning.
2. Der skulle være plads til en udvidelse af anlægget til at omfatte samtlige ca. 300 lejemål i ejendommen.

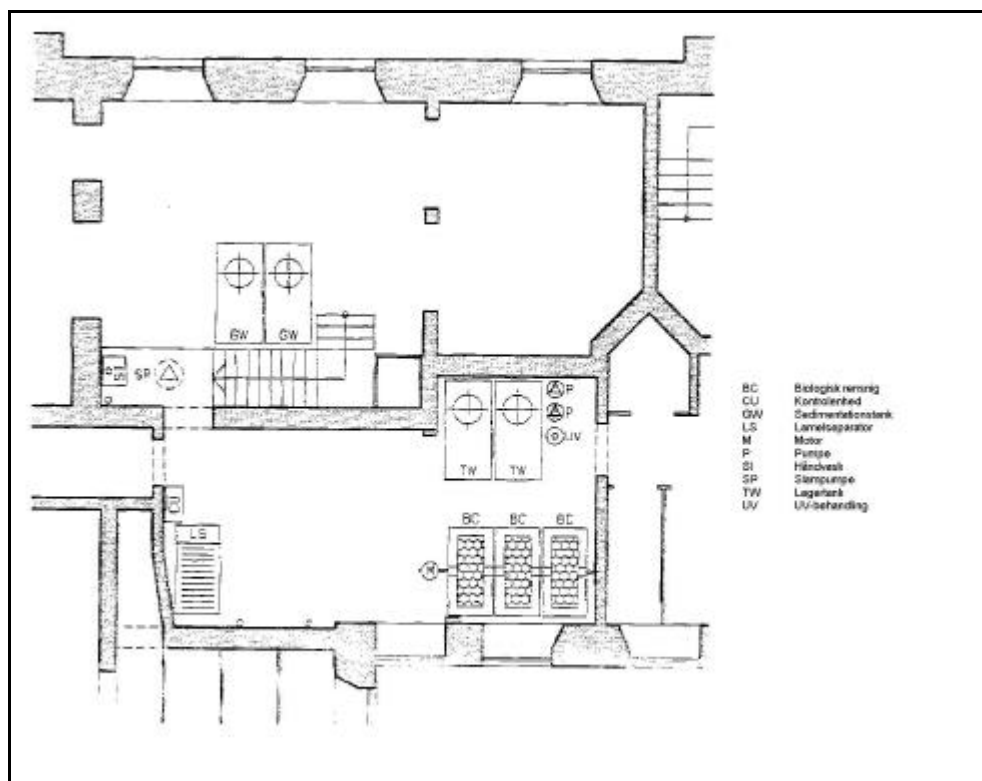
For at få plads til en udvidelse af anlægget var det nødvendigt, at sammenlægge to kælderrum (beholderrum og malerværksted), der lå i forbindelse med ejendommens varmcentral. En placering i nærheden af varmecentralen betød endvidere, at opsamlingsstankene kunne placeres lavt da kælderniveauet i varmecentralen er væsentlig lavere end ejendommens øvrige kælderniveau. Dette indebærer en større ombygning bl.a. fjernelse af et bærende vægelement mellem de to eksisterende rum.



Figur 2.1: Kælderrum under og efter ombygning.

FSB/Nordhavnsgården finansierede hovedparten af denne ombygning. Anlægget blev på denne måde placeret centralt i ejendommen, hvor alt gråt spildevand kan løbe til anlægget ved naturligt fald. Anlægget er endvidere placeret

i forbindelse med ejendommens varmecentral, hvor driftspersonalet har sin daglige gang.



Figur 2.2: Skitse af anlæggets placering i kælder.

2.2 Rørføring

I forbindelse med en større renovering af ejendommen i begyndelsen af 1990'erne blev hele ejendommen forberedt til genanvendelse af gråt spildevand. Fra samtlige lejemål er der således etableret dobbelte faldstammer og separate rørføringer til vandforsyning af toiletter. Spildevand fra brusebade og håndvaske er koblet på den ene faldstamme (gråt spildevand) og spildevand fra toilet og køkkenvask er koblet på den anden faldstamme (sort spildevand).

Projektet var oprindeligt tiltænkt kun at omfatte de 30 lejemål, der allerede tidligere havde prøvet at deltage i et gråvandsprojekt, og hvor der i forvejen var etableret vandrette rørføringer i kælderen.

Afdelingsbestyrelsen i Nordhavnsgården ønskede imidlertid, at anlægget skulle udbygges til at omfatte 84 lejemål. Projektet omfattede derfor en ombygning af eksisterende rørinstallationer, så det grå spildevand kunne opsamles fra de 84 lejemål. Ombygningen bestod i at etablere vandrette føringer i kælderen, hvor alle faldstammer blev ført til den fælles opsamlingsbænk i varmecentralen. Endvidere blev der etableret vandrette strenge til fremføring af behandlet gråt spildevand, som blev koblet på de eksisterende lodrette strenge.

Børneinstitutionen beliggende i ejendommen tilsluttes ikke det rensede gråvand.

Al rørføring følger RC-Anvisning 003 "Brug af regnvand til wc-skyl og vaskemaskiner i boliger /1/.

Alle rør er tydeligt afmærket med sorte og gule klæbebånd iht. RC-Anvisning 003 /1/. Desuden er der opsat mærkning ved toiletter i de enkelte lejligheder, der orientere om, at installationen bruger gråvand.



Figur 2.3: Rørafmærkning i kælder og i lejlighederne.

Der er ingen direkte forbindelse mellem vandværksvand og anlægget for gråt spildevand. Spædevand fra eksisterende brugsvandssystem er forsynet med tilbageløbssikring (kontra- og vakuumventil) i varmecentral. Drikkevandsefterfyldning er monteret i henhold til forskrifter i RC-anvisning 003 med et min. luftgab på 20 mm. /1/.

Ved tankene for behandlet gråt spildevand er der etableret pumper til forsyning af toiletter. Der er etableret et dobbelt pumpesystem i tilfælde af nedbrud på den ene pumpe, hvilket sikrer, at der altid er vandforsyning til toiletterne.

I tilfælde af, at opsamlingstankene (jf. afsnit 2.5) er fyldte så der sker opstuvning, er der etableret et overløb styret af motorventiler, således at overløb føres direkte i kloak inden nedløb til varmecentralen. For at modvirke tilbageløb fra det offentlige kloaksystem, ved evt. opstuvning i det system, er der etableret dobbeltvandlås. Endvidere er motorventilen lukket ved normaldrift af renseanlægget, hvilket også beskytter mod tilbageløb fra det offentlige kloaksystem.

Alt VVS-arbejde er udført af autoriseret VVS-installatør. Kloakarbejde er udført af Aut. kloakmester. Alle vand- og kloakinstallationer er godkendt af myndighederne.



Figur 2.4: Overløbsventil og vandlås

Der er kun anvendt komponenter der er DIN, Tüv og/eller CE-mærket. Der findes ikke VA-godkendte komponenter til gråvandsanlæg.

Eksisterende brugsvandssystem (vandværksvand) til blandingsbatterier er udført i rustfri stålør. Nye vandledninger i kælder til gråt spildevand føres i Alu-PEX-rør og rørmærkes tydeligt. Det kræver specialværktøj at arbejde med disse ledninger. Det er således ikke muligt for uautoriserede at arbejde på rørene, hvilket reducerer risikoen for fejltilslutninger.



Figur 2.5: Diskussion af rørføringer mellem leverandør og ejendomsinspektøren

Selve grävandsrensaneanlægget blev leveret og monteret af det tyske firma Lokus GmbH. Leverandøren har 15 års erfaring i etablering af grävandsanlæg. Der var tale om specialister, der ikke umiddelbart kunne erstattes af danske montører. Lokus er (tysk) autoriseret VVS-installatør.

2.3 Ventilation

På grund af begyndende fugtdannelse på ydervægge og i loftet over rensaneanlægget var det nødvendigt at etablere et mindre ventilationsanlæg. Det blev forsøgt at anvende et eksisterende ubrudt rør (tidligere vandør Ø 100), der løb fra kælderrummet til loft. Ventilationsafkast kunne hermed føres over tag.

Efter en kort driftsperiode med anlægget måtte det konstateres, at der ikke kunne opnås det nødvendige luftskifte pga. for lille dimension.

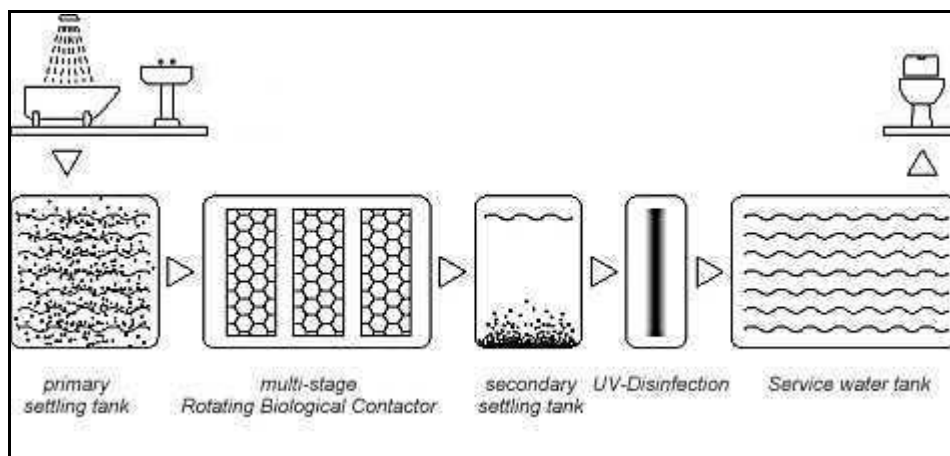
Der blev herefter etableret et anlæg med direkte udsug over de åbne vandkar. Udkastet er ført ud igennem kældervinduet. Udkastet har efterfølgende ikke givet anledning til gener eller klager fra beboere.

2.4 Rensaneanlægget

Det anvendte anlæg er et RBC-anlæg (Rotating Biological Contactor), se figur 2.8. I bilag A findes et flowdiagram over anlægget. Anlægget er et gennemprøvet tysk koncept, der anvender miljøvenlige og korrosionsbestandige komponenter. Anlægget er fuldautomatisk og selvrensende i den almindelige drift. Anlægget er forsynet med en række alarmfunktioner for forskellige væsentlige og mindre væsentlige fejl i anlægget. Alarmer kan via modem sendes til en PC eller en mobiltelefon. Der kræves et årligt vedligeholdelse tjek på 6-8 timers varighed, samt 2-3 times vedligehold pr. måned.

Anlægget består af følgende behandlingsmoduler:

6. Opsamlings- og sedimenteringstanke til gråt spildevand, hvor der sker en primær sedimentering
7. Biologiske rensning i et RBC -anlæg, hvor der sker en omsætning af organisk stof
8. Sekundær sedimentering og efterklaring med sandfilter
9. UV-lys behandling
10. Opbevaringstanke for behandlet gråt spildevand.



Figur 2.6: Principskitse af rensenanlæg

Princippet i anlægget er at opsamle gråt spildevand fra bad og håndvask. Det grå spildevand ledes via separat rørføring til en opsamlingstanke i kælderen, hvor slam bundfældes og fjernes. Det grå spildevand pumpes derefter til en rensentanke bestående af tre møllehjul med biologisk materiale (biofilm), der udgør den biologiske behandling. Herefter ledes vandet til en lamelsedimenteringstanke, hvor partikler sedimentere inden vandet føres forbi en UV-lampe og over i en lagertanke. Fra lagertanken kan vandet nu genanvendes til toilet skyl.

2.5 Sedimentationstanke

De to sedimentationstanke af polypropylen (PP) har en kapacitet på ca. 3 m³. Det grå spildevand fra bad og håndvask ledes direkte til disse tanke fra de enkelte lejemaal.

I sedimentationstankene sker en primær bundfældning af partikler og organisk stof. Indløbet til tanken er designet, så der sker en størst mulig bundfældning af partikler.

Tankene er selvrensende. Slammet fra bundfældningen fjernes automatisk 2 gange om ugen vha. en pumpe, der pumper slammet til kloak. Samtidig aktiveres en automatisk spuling af tankene med behandlet gråt



Figur 2.7: Sedimentationstanke i varmecentral

spildevand. Tankene rengøres manuelt efter behov dog mindst 1 gang om året.

Det grå spildevand pumpes løbende til den biologiske rensning, så der er et jævnt flow igennem hele rensenanlægget. Der behandles 4-5 m³ gråt spildevand i døgnet i anlægget. Opholdstiden i sedimentationstankene er max. ½ - 1 døgn.

Fra opsamlingstankene pumpes spildevandet til RBC -anlægget.

2.6 Biologisk rensning

Den biologiske rensning foregår på 3 møllehjul med en samlet overflade på ca. 650 m². Ved tilføring af spildevand til RBC-anlægget dannes en biofilm på møllehjulene. Biofilmen består af bakterier, der kan omdanne ca. 6 g organisk stof pr. m² pr. døgn til biomasse /2/.

Princippet er, at de 3 møllehjul roterer langsomt igennem det grå spildevand, hvorved der tilføres ilt, og det organiske materiale i spildevandet nedbrydes. Halvdelen af møllehjulene er altid under vandoverfladen mens den anden halvdel er i forbindelse med luften. Dette princip sikrer, at der altid er tilstrækkeligt ilt tilstede til en aerob proces, og forhindre dannelsen af svovlbriener.



Figur 2.8: RBC-anlæg til biologisk rensning.

Iltmætningen i det grå spildevand er målt til følgende i anlægget i Nordhavns-gården:

Målested	Iltmætning
Ubehandlet gråt spildevand	35%
1. trin i RBC-anlæg	60%
2. trin i RBC-anlæg	70%
3. trin i RBC-anlæg	95%
Efterklaringstank	95%
Opbevaringstank efter UV-behandling	95%
Drikkevand efter 2 minutters henstand	95%

Note: Målt d. 22-09-2001

Opholdstid i RBC -anlægget er ca. 3 timer. Belastning af anlægget kan ses visuel på mængden af biofilm på de 3 møllehjul, hvor det sidste hjul har en synlig mindre belægning med biofilm. Hvis alle 3 hjul er fuldt begroet, er belastningen for stor og vandflowet skal justeres.

Det tager ca. 3 uger for biofilmen at blive dannet første gang. Herefter fornyes den kontinuerligt, så længe der tilføres spildevand med højt indhold af organisk materiale. Biofilmen er meget robust. Møllehjulene kan således stå stille i

op til 8 dage uden biofilmen tager nævneværdigt skade. Erfaringen viser, at den reetablerer sig selv i løbet af 1-2 dage .

1 – 2 gange årligt fjernes slam fra RBC -anlægget ved manuelt at åbne ventiler i bunden af karet. Slammet føres til kloak.

Fra RBC -anlægget løber det behandlede vand ved almindeligt overløb til efterklaring. Vandflowet kan justeres, men er i det aktuelle anlæg 2,5 – 3,5 l/min.

2.7 Sekundær sedimentering og filtrering

Efter den biologiske rensning sker der en efterklaring i en lamelsedimentationstank, hvor biomasse, partikler og slam bundfældes. Det sker ved at tvinge vandet i et opadgående flow forbi en speciel lamel struktur, der bevirker, at slammet sedimenterer i tanken.

Slammet der består af 95% vand fjernes regelmæssigt ved en automatisk bortledning til kloak.

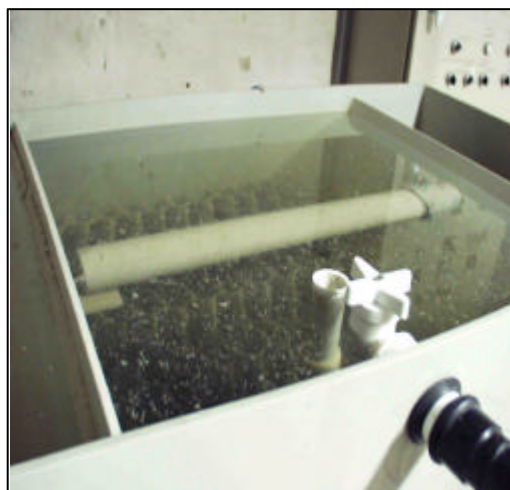
For at fjerne evt. rest af biomasse ledes vandet igennem et sand/lavastens filter inden det føres til en mindre opbevaringstank. Sandfiltret tilbageskylles automatisk med behandlet vand efter behov (tryk i filtret) dog min. 2 gange/døgn.

Under normal drift skal tanken renses ca. 1 gang om året. Erfaringer viser dog, at hvis RBC-anlægget ikke kører optimalt kan der være behov for hyppigere rensning af tanken, primært af æstetiske og visuelle grunde.

Opholdstiden i opbevaringstanken er meget kort, ½ - 1 time. Fra opbevaringstanken pumpes vandet videre til UV-behandling.

2.8 UV-lys behandling

UV-enheden er af typen UV-C, Sterling Berkefeld type 2700. Anlægget har en kapacitet (max. vandflow) på 2,7 m³/h. UV-effekten ved 254 nm (bølgelængde) er efter 8.700 timers drift > 40 mJ/cm² (doseringsniveau).



Figur 2.9: Sekundær sedimentering af partikler



Figur 2.10: Sandfilter med automatisk retur-skylling



Figur 2.11: UV-anlæg

Enheden er installeret med en sensor, der måler det aktuelle doseringsniveau, som bl.a. er afhængig af vandets klarhed og lampens alder og evt. vækst af biofilm på lampen.

UV-enheden er sat til at vise 100 % doseringsniveau ved 20 mJ/cm². Ifølge producenten er 40 % doseringsniveau svarende til 8 mJ/cm² tilstrækkelig til at opnå > 99% reduktion af bakterier og vira.

I Nordhavnsgården er det i samråd med leverandøren af det samlede renseanlæg, Lokus GmbH, besluttet, at alarmen tænder og UV-enheden ikke kan starte når doseringsniveauet er < 100 %. Siden driftsstart har doseringsniveauet ligge på 250 –180%.

Alle de udvalgte mikrobiologiske analyseparametre kræver væsentligt mindre end 20 mJ/cm² for at blive inaktiveret/dræbt /4/.

UV-enheden er styret automatisk således, at den tændes ca. 30 sec. før vandpumpen fra efterklaringstanken tændes. Vandpumpen kan ikke fungerer, hvis UV-enheden er uden af funktion eller doseringsniveauet < 100 %.

Det biologiske behandlede og efterklarede grå spildevand passere kontinuerligt forbi et UV-lysanlæg. Alt vand vil passere UV-lysanlægget før det løber til lagertanken.

2.9 Lagertanke

Det rensede grå spildevand føres til to lagertanke med en samlede kapacitet på ca. 3 m³. To trykpumper føder en ekspansionstank, og sikrer et vandtryk på ca. 4 bar, hvilket svarer til vandværkstrykket i området. Fra lagertankene pumpes det behandlede grå spildevand således direkte til toiletter i de enkelte lejemål. Ved driftsstop på en af pumperne, er der tilstrækkeligt kapacitet i den anden pumpe til at sikre vandforsyning til toiletterne i lejlighederne.

I tilfælde af, at der ikke er tilstrækkeligt behandlet vand til at forsyne toiletterne er lagertanken forsynet med en spædevandstilførsel. Spædevand er vandværksvand. Påfyldningen af vandværksvand sker i henhold til RC anvisning 003 /1/, med en luftgab på min. 20 mm. Spædevandstilførslen er automatisk styret ved lav vandstand i tankene.

I henhold til drifts- og vedligeholdelsesmanualen for anlægget skal lagertankene renses 1 gang om året.



Figur 2.12: Opbevaringstanke og trykpumper

2.10 Myndighedsbehandling

Ved projektets igangsættelse var der ingen regler for anlæg til opsamling og behandling af gråt spildevand. Der kunne derfor forudses visse problemer med myndighedsbehandlingen af projektet.

På initiativ af projektledelsen blev der indkaldt til et møde med de relevante forvaltninger i Københavns Kommune. Miljøkontrollen (ofte benævnt et stjernemøde), Københavns Vand (Vandinstallation og Vandsparerådgivning) og Byggedirektoratet deltog i mødet. Der var stor imødekommenhed overfor projektet fra de forskellige forvaltninger, og der er ingen tvivl om, at stjernemødet lettede sagsbehandlingen betydeligt. Der var dog stadig en vis usikkerhed omkring, hvilken forvaltning der skulle behandle projektet, hvilket gav en del korrespondance med myndighederne.

Det bør overvejes i fremtidige projekter af denne karakter, at særlige myndighedsforhold er afklaret af opdragsgiver på forhånd, evt. i form af en dispensation for gældende regler, så projektholderen ikke skal bruge uforholdsmæssigt mange ressourcer på disse problemstillinger.

Alle byggeandragerne herunder fjernelse af væg i kælder, kloakinstallation, rørføringer og ventilationsanlæg er godkendt af Københavns Kommune, og der er givet de nødvendige ibrugtagningstilladelser.

D. 19. april 2002 gav Miljøstyrelsen på baggrund af en udtalelse fra Sundhedsstyrelsen en midlertidig godkendelse til fremføring af behandlet gråt spildevand til brug for toiletskyl.

2.11 Anlægs- og driftsmæssige erfaringer

2.11.1 Simuleringsfasen:

Anlægget blev sat i drift i juni 2001. I perioden juni 2001 til april 2002 blev det behandlede grå spildevand ledt direkte til kloak. For at driftserfaringer i den periode kunne blive så realistiske som muligt, blev der etableret et simuleringsprogram, der tappede vand fra lagertankene svarende til det forventede forbrug henover et døgn. Stort forbrug om morgenen, eftermiddagen og om aftenen.

I samme periode blev der udtaget et antal vandprøver til analysering og karakterisering af det ubehandlede og behandlede grå spildevand.

2.11.2 Driftsfasen:

Fra april 2002 og frem til afslutning af denne rapport har renseanlægget været i drift, og det behandlede grå spildevand er blevet fremført til ca. 80 lejemaal i ejendommen, hvor det er brugt til toiletskyl.

I samme periode blev der udtaget yderligere et antal vandprøver til bestemmelse af renseseffekten af anlægget. Der blev endvidere udtaget et antal prøver i WC-cisterner, både fra cisterner forsynet med behandlet gråt spildevand og fra cisterner forsynet med vandværksvand.

2.11.3 Driftsresultater

I hele perioden har ejendomsinspektøren ført en meget detaljeret driftsjournal. I begyndelsen hver dag senere en gang om ugen.

I tabel 2.1 er de væsentlige nøgletal for driften af anlægget vist. Nøgletallene dækker driftsperioden fra april 2002 frem til august 2003, dvs. den periode hvor det behandlede grå spildevand er blevet fremført til toiletskyl i lejlighederne.

Tabel 2.1: Nøgletal for driften af Gråvandsanlægget ved Nordhavnsgården

Beskrivelse	Opgørelse
1. Antal driftsdage siden opstart af anlægget	786 dage
2. Antal driftsdage siden fremføring af behandlet vand	520 dage
3. Samlet mængde vand fremført til toiletter	2.763 m ³
4. Samlet mængde tilført spædevand	730 m ³
5. Gns. mængde vand fremført til toiletter pr. dag	5,3 m ³
6. Gns. mængde behandlet gråt spildevand pr. dag ⁽¹⁾	3,9 m ³
7. Samlet elforbrug siden behandlet vand er fremført til toiletter	4.813 kWh
8. Elforbrug pr. m ³ fremført vand til toiletter	1,7 kWh
9. Vandflow i RBC-anlægget ved 5 m ³ /døgn	3,5 l/m
10. Vandflow i RBC-anlægget ved 4 m ³ /døgn	2,8 l/m

(1) Behandlet mængde gråt spildevand er beregnet ved at trække tilført spædevand fra samlet mængde fremført vand pr. dag.

Ved en visuel vurdering af RBC-anlægget har det kunne konstateres, at anlæggets renskapacitet ikke udnyttes fuldt ud. Det 3. møllehjul var således næsten uden synlig biofilm, hvilket viser, at der var uudnyttet kapacitet i anlægget. Vandflowet har i det meste af perioden været på ca. 4 m³ gråt spildevand/døgn. Da der har været gråt spildevand til rådighed, har vandflowet forsøgsvis været sat op til 5 m³/døgn. Det gav en mindre tilvækst af biofilm i RBC-anlægget, men 3. møllehjul var stadig næsten uden synlig biofilm.

2.12 Driftsproblemer

Overordnet vurderes anlægget at være meget velfungerende, med et meget begrænset behov for pasning og vedligeholdelse. Der har ikke været konstateret lugtproblemer ved normal drift af anlægget. Der har ikke været klager fra beboere. Ejendomsinspektøren har bemærket, at der er svag til moderat lugt af svovlbrinte ved udslamning af tanke. Lugten kunne ikke registreres uden for kælderrummet, og forsvandt i løbet af ½ - 1 time.

Der har været to hændelser, hvor biofilmen i RBC-anlægget er "faldet af" næsten 100%.

I det ene tilfælde blev årsagen bestemt. Spædevandstilførelsen til lagertanken var løbet løbsk ved fejl i en sensor. Overløb fra lagertanken føres til opsamlingsstanken (i normal drift, for ikke at "spilde" behandlet vand). I den konkrete situation resulterede det i, at der gradvist blev tilført næsten rent drikkevand til RBC-anlægget. Biofilmen blev på den måde "udsultet" og døde. Ved udbedring af spædevandstilførelsen blev biofilmen reetableret i løbet af 12- 14 dage.

I det andet tilfælde blev der ikke fundet en konkret årsag. Biofilmen blev dog reetableret i løbet 6-8 dage. Erfaringer fra andre tilsvarende anlæg i Tyskland viser, at biofilmen spontant kan "forsvinde", typisk inden for de første 2-4 måneder af drift. Det sker i forbindelse med biofilmen ændrer karakter (især bakteriel sammensætning) og ofte udseende. Det var også tilfælde for anlægget i Nordhavnsgrården.

De to hændelser resulterede i, at der blev udarbejdet en procedure i tilfælde af fejl eller uregelmæssigheder ved RBC-anlægget jf. bilag C.

Der har været et antal mindre driftsproblemer af typen:

- Utætte samlinger
- Stoppede ventiler
- Defekte sensorer
- Defekt aksel i møllehjul (producenten har erkendt fejl, som er blevet udbedret)

Disse hændelser har ikke haft væsentlig betydning for driften af anlægget og anlæggets renseseffekt. De fleste hændelser har ejendomsinspektøren kunne udbedre selv eller ved lokale håndværkere evt. under tlf. vejledning fra leverandøren.

Fejlene kan karakteriseres som være almindelige og acceptabel i tekniske anlæg af denne type.

2.13 Drifts- og vedligeholdelsesmanual

Der er en omfattende drifts- og vedligeholdelsesmanual for anlægget som ejendomsinspektøren har fået udleveret. Manualen indeholder detaljerede vedligeholdelses programmer for måneds eftersyn, ½ års eftersyn og 1 års eftersyn. Ejendomspersonalet er blevet instrueret af leverandøren i anlæggets opbygning og drift.

Som nævnt tidligere er der blevet udarbejdet en beredskabsplan ved driftsuheld. Det er sket ved at tilføje et afsnit i drifts- og vedligeholdelsesmanual, der beskriver procedurer, ved fejl og uregelmæssigheder ved bioreaktoren (RBC-anlægget), jf. bilag B.

Det vurderes, at ejendomspersonalet i gennemsnit skal bruge 2-3 timer/måned på tilsyn og vedligeholdelse samt ca. ½-1 dag på 1 års eftersynet.

I demonstrationsprojektet har ejendomspersonalet brugt betydeligt mere tid på tilsyn af anlægget end ovenfor skitseret. Dels for at samle de nødvendige data til afrapporteringen, dels for at sikre, at anlægget har kørt optimalt hele tiden. Det skal også bemærkes, at der har været stor interesse i anlægget. Det har betydet meget for anlæggets drift, at det blev placeret i forbindelse med ejendommens varmecentral, hvor ejendomspersonalet har deres daglige gang. Det har betydet, at små og store driftsproblemer er blevet konstateret med det samme.

Ved leverandørens 1 års gennemgang blev der ikke konstateret fejl og mangler ved anlægget, og det blev vurderet, at anlægget var velfungerende, jf. bilag C.

3 Beboerinformation og -undersøgelse

Det var en forudsætning for gennemførelse af projektet, at beboerne i ejendommen godkendte projektet. Der har tidligere været et grävandsanlæg i ejendommen, som gav anledning til meget store lugtgener.

Den 20.12.2000 blev der afholdt et beboermøde med det ene punkt at tage stilling til gennemførelse af projektet. Et medlem af Nordhavnsgårdens bestyrelse havde inden mødet besøgt et grävandsanlæg i Berlin, Tyskland af den type der var aktuell for Nordhavnsgården. Billeder og erfaringer fra det anlæg blev fremlagt på mødet. Endvidere blev der givet information om, at det behandlede grå spildevand ikke kunne forventes at have den samme kvalitet som vandværksvand, og der derfor ikke kunne forventes den samme sikkerhed mod eventuel smitte med mikroorganismer som kan give sygdomsproblemer hos mennesker. Den beslutningsdygtige forsamling godkendte projektet, med den anmærkning, at projektet omgående skulle stoppes, hvis der var lugtgener fra anlægget.

Løbende under hele projektforløbet har der været information om projektet på Nordhavnsgårdens interne TV. Alle beboere har været inviteret til fremvisning af anlægget. Det skal bemærkes, at kun få beboere har taget imod invitationen og set anlægget. Årsagen hertil kendes ikke.

Den 26.02.2002 blev der afholdt et orienteringsmøde om "*brug af behandlet gråt spildevand til toiletskyl*". Beboerne blev orienteret om, at ca. 80 lejemål fra april 2002 ville blive forsynet med behandlet vand til toiletskyl. De foreløbige resultater af vandanalyserne blev fremlagt. Resultaterne påviste, at den mikrobiologiske kvalitet af det behandlede vand var meget tæt på kravene til drikkevand. Det blev dog påpeget, at det behandlede vand har en anden kvalitet end drikkevand.

Der har ikke været begrænsninger eller indskrænkninger i beboernes anvendelse af kemikalier.

Beboerne blev informeret om, at der 2- 3 uger efter opstart (fremføring af behandlet vand) ville der blive gennemført en beboerundersøgelse.

3.1 Beboerundersøgelse

Der er blevet gennemført to beboerundersøgelser omfattende alle 84 lejemål. Endvidere blev udvalgt 5 beboere der i en længere periode skulle foretage registreringer.

Den første undersøgelse blev gennemført ca. 14 dage efter anlæggets ibrugtagning, og omfattede 3 spørgsmål omkring lugt, misfarvning og vandmangel i toiletter. Spørgsmålene fremgår af tabel 3.1. Der var mulighed for uddybning af svarene.

Skemaet skulle afleveres til ejendomsinspektøren. Nordhavnsgården opfordrede til at beboerne angav navn og adresse på besvarelsen, så eventuelle fejl og ulemper ved anvendelse af det behandlede vand i toiletterne kunne udbedres hurtigst muligt.

Ud af de 84 lejligheder svarede 36 lejermål på spørgeskemaet. De 36 besvarelser fordelte sig som vist i tabel 3.1.

Tabel 3.1: Resultat af den første beboerundersøgelse

	Ja	Nej
Har du observeret usædvanlig lugt fra toilettet?	6	27
Har du observeret misfarvning af vandet i toilettet?	5	29
Har du observeret mangel på vand i toilettet?	9	27

Enkelte beboere havde observeret de driftsstop, der havde været under opstarten af anlægget. Desuden var der observeret lugtgener, som ikke umiddelbart kunne stamme fra toilettet, men fra afløbet generelt.

Efter ca. 10 måneders anvendelse af grävandsanlægget blev der gennemført endnu en beboerundersøgelse mhp. at indsamle brugernes erfaringer med anvendelse af grävand til toiletskyl.

Ud af de 84 lejligheder besvarede 33 lejermål spørgeskemaet, der bestod af 4 spørgsmål omkring misfarvning af vand og kumme, lugt samt mangel på vand. Spørgsmålene fremgår af tabel 3.2. Der var mulighed for uddybning og kommentering af erfaringerne. Spørgeskemaet kunne afleveres anonymt. De 33 besvarelser fordelte sig som vist i tabel 3.2.

Tabel 3.2: Resultat af den anden beboerundersøgelse

Har du/I bemærket:	Ja	Nej	Ved ikke
- misfarvning af vandet?	5	25	3
- misfarvning af kummen?	10	20	3
- usædvanlig lugt?	5	27	1
- mangel på vand?	14	16	3

Der har i løbet af anlæggets driftsperiode været vandmangel et par gange. Dette er i overensstemmelse med at der i gennemsnit fra beboernes side er oplevet vandmangel 2,4 gange i løbet af de 10 måneder anlægget har været i drift.

Ca. 63% af besvarelserne havde hverken misfarvninger eller lugtgener, mens ca. 28% havde en af generne. 9% havde observeret både lugt og misfarvning.

Der var i forbindelse med besvarelsen 10 bemærkninger, hvoraf de 4 var positive tilkendegivelser over for anlægget. De øvrige bemærkninger omfattede den førnævnte vandmangel og enkelte oplevede en hurtigere misfarvning af kummen i forhold til tidligere.

En besvarelsesprocent på 39% er ikke særlig højt, men dette kunne indikere at beboerne generelt er tilfredse med anlægget, og derfor ikke har haft behov for at komme med kommentarer. Det skal også bemærkes, at brugerundersøgelser er yderst problematiske at gennemføre da der ofte "overrapporteres" om eventuelle negative effekter. Ideelt bør en undersøgelse omfatte husstande, som ikke ved om toiletter i deres husstande tilføres behandlet gråt spildevand eller vand fra drikkevandsforsyningen.

Der var udvalgt 5 lejemaal til at føre en protokol over en periode på 2-3 måneder over hændelser, der kunne relateres til grävandsanlægget. Undersøgelsen blev indstillet, da ingen af de udvalgte lejemaal efter ca. 2 måneder havde gjort nogen bemærkninger.

Generelt vurderes anlægget at fungere godt set både fra beboernes og inspektørens side. Anlægget har vist sig driftsteknisk stabilt og de mindre gener der er opstået undervejs kunne løses på en hensigtsmæssig måde på baggrund af de erfaringer der er gjort.

4 Sundheds- og hygiejnemæssige risici ved projektet

Der foreligger ringe viden om sundheds- og hygiejnemæssige risici ved anvendelse af gråt spildevand til toiletskyl. 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 medfører 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.

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 /3/ samt bilag E. 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.

4.1 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 tilledt toiletter. 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 beboerne ved anvendelse af det behandlede gråvand til toiletskyl, 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.

4.2 Overførsel af mikroorganismer ved toiletskyl til mennesker

Anvendelse af gråt spildevand til toiletskyl kan være forbundne med mulige sundhedsrisici for mennesker. Sådanne risici kan være relateret til forekomsten

af mikroorganismer, herunder især sygdomsfremkaldende mikroorganismer, samt sundhedsskadelige kemiske stoffer i det behandlede grå spildevand. Der er i projektet dog kun analyseret for kemiske stoffer i ubehandlet gråt spildevand.

Overførslen til mennesker af fremmedstoffer kan ske ved:

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

De to førstnævnte overførselsveje skønnes primært at være aktuelle for børn, dog kan voksne også eksponeres, eksempelvis ved rengøring af toiletter.

Beboere som anvender behandlet gråt 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 forhold til projektet i Nordhavnsgården (jf. bilag D).

4.2.1 Indtagelse af vand gennem mund (oral)

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

Antal mikroorganismer i behandlet gråt spildevand, som ønskes anvendt til toiletskyl, 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 kintalsreduktion. 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" fækalforurenset vand i toiletkummer.

Den infektive 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. Infektions dosis er typisk høj for bakterier (10^5 - 10^7), hvorimod få vira eller parasitter ofte kan forårsage sygdom.

4.2.2 Hudkontakt

Brugere af toiletter, hvor der anvendes rensed gråt spildevand til toiletskyl, men også andre tilstedeværende (eksempelvis børn) i toiletrum 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 og bakterier som *Mycobacterium* spp. og *Pseudomonas aeruginosa*. Personer vil normalt have en ringe hudkontakt med cisterne- og toiletkummevand og sundhedsrisici kan tilsvarende betragtes som lave.

4.2.3 Indånding

Indånding af forstøvede vandpartikler (aerosoler) indeholdende, især sygdomsfremkaldende mikroorganismer, udgør en potentiel smitteoverførsesrisiko 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 toiletskyl.

Indåndning 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 risici i forbindelse med anvendelse af gråvandsanlæg (jf. bilag D). Projektdelegerne indhentede derfor en ekspertvurdering fra Overlæge Ole Bent Jeppesen, afdelingschef i Centralafdelingen for Sygehushygiejne ved Statens Seruminstitut. Det blev her vurderet, at luftbåren overførsel af endotoksiner ved toiletskyl 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 /5/.

5 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 grävandsprojekter skulle gennemføres i to trin:

- 3) En generel karakterisering af det grå spildevand ved tilledning til grävandsanlægget, 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 Nordhavnsgråden.

5.1 Fysiske parametre

Parameterne 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.

5.2 Kemiske forureninger

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.

Næringsstofferne 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 faktor 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 badning og vask. 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.

5.3 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.

5.3.1 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.

5.3.2 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.

I dag er kravene for drikkevand, at enterokokker ikke må være målelig med den af Miljøstyrelsen angivne metode /6/.

5.3.3 Coliforme bakterier

Gruppen af totale 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 total coliforme bakterier i projektet.

I dag er kravene for drikkevand, at coliforme bakterier ikke må være målelig med den af Miljøstyrelsen angivne metode /6/.

5.3.4 Termotolerante coliforme og *E. coli*

Gruppen af termotolerante coliforme bakterier opfylder alle kriterierne i definitionen af totale 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 er således en bedre og mere specifik indikator for fækal forurening end gruppen af totale coliforme bakterier.

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

enzymet B-glucuronidase. Som indikatorbakterium i gråt spildevand er *E. coli* således velegnet til indikation på en frisk fækal forurening. Termotolerante coliforme bakterier og *E. coli* overlever oftest kortere tid end enterokokker i det ydre miljø. Der er analyseret for termotolerante coliforme bakterier og *E. coli* i projektet.

I dag kravene for drikkevand, at *E. coli* ikke må være målelig med den af Miljøstyrelsen angivne metode /6/.

5.3.5 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 *E. coli*, pr. gram fæces. Ved en fækal forurening af det grå spildevand vil disse bakterier derfor blive tilført spildevandet.

5.3.6 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 fækaloprindelse, 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 kimtal ved 37°C kan der ved dyrkning på blodholdige medier bestemmes det antal bakterier som ødelægger ("hæmolysierer") 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 kimtal ved 22°C og 37°C, samt antal hæmolytiske kim ved 37°C.

I dag er kravene til drikkevand, at værdien ved indgang til en ejendom maksimalt må være 200 cfu/ml for kimtal ved 22°C og 20 cfu/ml ved kimtal 37°C /6/.

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

Aeromonas slægten består af en gruppe af kuldetolerante, ikke-bevægelige bakterier og en gruppe af mesofile, bevægelige bakterier, sidstnævnte kan være sygdomsfremkaldende for såvel koldblodige og varmblodige 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.

Pseud. 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).

Pseud. 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*.

5.3.8 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.

5.3.9 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 mave-tarm- 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.

5.4 Sygdomsfremkaldende bakterier

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

5.4.1 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 mave-tarminfektioner. *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).

5.4.2 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 dannes aerosoler vil *Legionella* i behandlet gråt spildevand til toiletskyl kunne udgøre en egentlig sundhedsrisiko. Der er i projektet lavet en række undersøgelser for forekomst af *Legionella* i ubehandlet og behandlet, opbevaret gråt spildevand.

5.5 Andre smitstoffer

5.5.1 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 ikke undersøgt for virus og parasitter i dette projekt.

6 Måleprogram, trin 1: Indledende screening

Måleprogrammet bestod af to trin. Trin 1's analysepakke, 1a og 1b (a=kemiske og b=mikrobiologiske parametre, se bilag F) var en første indledende screening, mens trin 2's analysepakke blev designet baseret på resultaterne fra trin 1.

Måleprogram og valgte parametre blev løbende diskuteret i projektets Styregruppe og blev således godkendt af Miljøstyrelsen. Embedslægeinstitutionen og Sundhedsstyrelsen har deltaget i møder om projektet, men har ikke forholdt sig konkret til projektet som myndighed.

Perioder for prøveudtagning og analyselaboratorier (trin 1)

Alle prøver af gråt spildevand blev indsamlet, transporteret og analyseret for kemiske og mikrobiologiske parametre af laboratoriet ROVESTA Miljø I/S efter gældende danske og internationale standarder. Prøver blev indsamlet og analyseret i perioden 02-10-2001 til 21-10-2002. Enkelte analyser er af ROVESTA Miljø I/S videresendt og udført ved andre laboratorier efter Miljøstyrelsens godkendelse. 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 analyse parametre er angivet i bilag H.

Der er i perioden 02-10-01 til 19-03-02 foretaget ialt 4 prøveindsamlings af ROVESTA Miljø I/S til den indledende karakterisering af det grå spildevand.

6.1 Kemiske analyse parametre

De analyserede parametre er vist i tabel 6.1 og identisk med "analysepakke 1a" under trin 1 (jf. bilag E). Begrundelser for at analyser for de enkelte parametre er angivet i bilag E.

Tabel 6.1: Analysepakke for kemiske analyse parametre.

Stofgruppe	Inkluderede forbindelser
PH	
Temperatur	
Turbiditet	
BOD	
COD	
NVOC	
NH ₄ ⁺ -N	
NO ₃ ⁻ -N	
N-tot	
P-tot	

Stofgruppe	Inkluderede forbindelser
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 ₁₀ -C ₁₄ -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 penta-oktylphenoletoxylaterne
Phenoler	Phenol, o-, m- og p- kresol
Klorphenoler	17 forskellige inklusiv 2,4-diklorphenol, 2,4,5- og 2,4,6-triklorphenol

6.2 Mikrobiologisk analyse parametre

De analyserede parametre er vist i tabel 6.2 og identisk med ”analysepakke 1b” under trin 1 (jf. bilag E). Begrundelser for at analysere for de enkelte parametre er angivet i rapportens kapitel 5.

Tabel 6.2: Mikrobiologiske analyseparametre.

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, incl. antal hæmolytiske bakterier, men ikke identifikation	DS 2217/2
Kimtal ved 22°C og 37°C	DS/EN ISO 6222/1
Colliforme 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

6.3 Resultater af indledende kemiske og mikrobiologiske undersøgelser (trin 1)

Alle prøver blev indsamlet og analyseret af ROVESTA Miljø I/S. En oversigt over prøveindsamlingsstederne A2, A3, A4, A5, A6, og A7 er vist i Bilag A.

Indledningsvis blev der som aftalt med Miljøstyrelsen foretaget gentagne analyser af ubehandlet og behandlet, opbevaret gråt spildevand d. 02-10 og 09-10-2002. Grundet en række problemer med de anvendte analysemetoder ved ROVESTA Miljø I/S blev det besluttet at gennemføre endnu en prøveindsamling d. 11-03-02. Her blev også indsamlet prøver fra lokaliteterne A3, A5 og A6. Da der igen opstod problemer med analysemetoderne, og var sket fejl ved prøveindsamlingen, blev der foretaget omprøve indsamlet d. 19-03-2002.

6.3.1 Fysisk-kemiske analyseresultater fra indledende analyser af gråt spildevand (trin 1)

Den 2. og 9. oktober 2001 blev der udtaget en prøveserie af ubehandlet gråt spildevand til analyse for de fysisk-kemiske parametre svarende til tabel 6.1. 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*" /3/, hvor der er gennemført et omfattende litteraturstudie 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 de ubehandlede grå spildevand fremgår af bilag H.

Fysiske-kemiske parametre

Generelt ses det, at værdierne er lavere end for almindeligt husspildevand jfr. /3/. Turbiditeten er relativt lav med hhv. 18 og 36 FTU. Suspenderet stof varierer fra 39 til 290 mg/l.

BOD (B_{15}) er relativt lav med værdier på 60 og 70 mg O_2 /l. Værdierne for Tot.-N, klorid og sulfat ligger i begge analyseserier under kravene til drikkevand. Hvorimod værdierne for tot.-P og olie/fedt ligger over kravværdierne for drikkevand, hvilket ikke er overraskende.

Metaller

Der er ikke fundet koncentrationer, der har givet anledning til at foretage yderligere analyser, da koncentrationer enten ligger indenfor de intervaller der er fundet i andre sammenhænge ved badevand /3/ eller kan sidestilles med de naturlige baggrundskoncentrationer, der optræder i drikkevandet i København. Det er kun værdien for jern (Fe), der ligger over kravværdierne for drikkevand, alle de øvrige undersøgte metaller ligger under drikkevandskravene.

Miljøfremmede organiske stoffer

Der er kun foretaget analyse af miljøfremmede organiske stoffer d. 02-10 og 09-10-2001 i forbindelse med de indledende analyser af det urensede grå spildevand. De registrerede 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.

Generelt kan det konstateres, at de fundne værdier er meget lave og i de fleste tilfælde under detektionsgrænsen.

De anioniske detergenter er som forventet i begge prøver fundet i moderate værdier en faktor 15 over drikkevandskravene. Phenol og 4-methylphenol er ligeledes fundet i moderate værdier.

Blødgørerne DEP og DEHP er i begge prøver fundet over grænseværdierne for drikkevand, mens værdierne for de øvrige analyserede blødgørere ligger under.

Det vurderes, at indholdet af LAS (sum af C10-C14-LAS) er lavt hhv. 0,2 og 0,4 mg/l.

6.3.1.1 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 i Nordhavngården. Det svarer også overens med erfaringerne fra projektet ved Bo-90, hvor det konstateres at vand fra badeværelser er den kilde, der er mindst belastet med forurenende stoffer. /3/

Analyseresultaterne er drøftet (telefonisk) med Anna Ledin, DTU. Der var enighed om, at de fundne værdier generelt var så lave, at der ikke var behov for at undersøge behandlingseffekten i anlægget for disse parametre. Et meget begrænset måleprogram for de fysisk-kemiske parametre blev derfor anbefalet, jf. kapitel 7.

6.3.2 Mikrobiologiske analyseresultater fra indledende analyser af gråt spildevand (trin 1)

Tabel 6.3: Mikrobiologiske analyseresultater fra indledende prøveindsamlinger af

Parameter	Enhed	Dato og prøveindsamlingssted							
		02-10-2001		09-10-2001		11-03-2002		19-03-2002	
		A2	A7	A2	A7	A2	A7	A2	A7
Kimtal ved 22°C	pr ml	6.300.000	1.600	1.900.000	2.000	1.700.000	2.100		
Kimtal ved 37°C (blodagar)	pr ml	1.100.000	80	450.000	180	7.100.000	150		
Hæmolytiske kim, 37°C	pr ml	<10	<10	<10	<10	18	9		
Coliforme bakterier	pr 100 ml	1.700.000		270.000		35.000		11.000	
<i>E. coli</i> /termotolerante coliforme	pr 100 ml	12.000		<10000		<100		49	
Enterokokker	pr 100 ml	<100	<10	<10000	<10	100 / 75	<10	30/290	<10
<i>Clostridium perfringens</i> , sporer	pr ml	<10		<10		<10			
Aeromonas, bevægelige arter	pr ml	210.000		210.000		<100000	<10		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	pr 100 ml	700	<10	19.000	40	400	10		
Staphylococcer, koagulase positive	pr ml	<100		4.200		<1000	<10		
<i>Campylobacter jejuni/coli</i>	pr 100 ml	i.p.		i.p.		i.p.			
<i>Salmonella</i>	pr 100 ml	i.p.		i.p.		i.p.			
<i>Legionella</i>	pr L	<100		<1000		<100			
pH		7,8		7,9		9,3	8,5		
Temperatur	°C	23,0				23,5	19,7		23,2
Turbiditet	FTU	18,0		36,0			11,0		

De mikrobiologiske resultater er vist i tabel 6.3. Det kan bemærkes, at der kun blev udført få analyser d. 19-03-2002, herunder for de fækale indikatorbakterier, samt for antal coliforme bakterier.

Kimtal ved 22°C og 37°C

Ved de 3 prøveudtagninger blev der påvist et højt antal kim ved 22°C og 37°C i prøver af ubehandlet gråt spildevand (A2). I behandlet, opbevaret spildevand (A7) var kimtallene generelt reduceret med 3 til 4 log enheder. Der var en god korrelation mellem kimtal ved 22°C og 37°C i ubehandlet og behandlet, opbevaret spildevand, hvor førstnævntes antal var cirka 10 gange højere end kimtal ved 37°C. De to kimtalsparametre ser således ud til at være udmærkede indikatorer til måling af behandlingseffekt af det grå spildevand.

Der blev påvist et yderst lavt antal hæmolytiske kim ved 37°C (<10-18 celleformende enheder (cfu)/ml) i prøver af behandlet, opbevaret spildevand. Sammenlignet med det relativt høje antal kim ved 37°C kunne man have forventet påvist et større antal hæmolytiske kim. Da antal hæmolytiske kim blev optalt på samme agarplade som kimtal ved 37°C kan de høje kimtal af sidstnævnte og de dermed tætbeliggende kolonier på agarpladerne eventuelt have hindret udvikling af hæmolyse.

Indikatorbakterier

Resultaterne for analyserne for de tre indikatorbakterier, coliforme bakterier, *E. coli*/termotolerante coliforme bakterier og enterokokker kunne kun i begrænset omfang anvendes til fastlæggelse af deres antal i såvel ubehandlet, som behandlet, opbevaret gråt spildevand. Dette skyldes primært en række problemer med de anvendte mikrobiologiske metoder hvilket medførte, at den nedre detektionsgrænse i flere tilfælde måtte angives højere en normalt (Tabel 6.3). Disse og andre analysemetodiske problemer er kommenteret og diskuteret i afsnittet "analysemetodiske problemer".

Antal coliforme bakterier varierede mellem 11.000 og 1.700.000 per 100 ml i ubehandlet, opbevaret gråt spildevand (Tabel 6.3). Grundet de metodiske problemer var der kun enkelte bestemmelser for antallet af *E. coli*/termotolerante coliforme bakterier og enterokokker som kunne anvendes. Resultaterne indikerer dog at alle tre indikatororganismer kunne påvises i ubehandlet gråt spildevand og at parametrene derfor kunne anvendes til fastlæggelse af anlæggets behandlingseffekt (trin 2).

Bakterielle smitstoffer

Der blev ikke påvist *Salmonella*, *Campylobacter* og *Legionella* i de tre prøver af ubehandlet gråt spildevand (Tabel 6.3). Trods tilstedeværelsen af fækale indikatorbakterier kunne der således ikke påvises *Salmonella* og *Campylobacter* i det grå ubehandlede spildevand. Ifølge analyseprogrammets trin 1 blev der ikke undersøgt for de tre smitstoffer i behandlet, opbevaret gråt spildevand. Da *Legionella* eventuelt kan opformeres i såvel ubehandlet som behandlet gråt spildevand under opbevaring blev der udført analyser for *Legionella* i de videre undersøgelser af anlæggets behandlingseffekt (trin 2).

Der fandtes ingen sporer af *Clostridium perfringens* i det ubehandlede grå spildevand (Tabel 6.3.1). På baggrund af fundene af andre fækale indikatorbakterier som vist ovenfor, og en forventet forekomst af *Cl. perfringens* i fækalier fra mennesker, var det noget overraskende at *Cl. perfringens* sporer ikke blev påvist.

Der blev påvist 210.000 bevægelige *Aeromonas* spp. per ml ubehandlet gråt spildevand i to prøver, ligesom *Pseudomonas aeruginosa* også kunne påvises i såvel ubehandlet som behandlet, opbevaret gråt spildevand. Antal *Pseud. aeruginosa* var dog lavt i behandlet, opbevaret spildevand (<10-40 cfu/100 ml). Koagulase-positive *Staphylococci* blev kun påvist i en enkelt prøve.

Temperatur, pH og turbiditet

Temperaturen af det grå spildevand varierede mellem 20 og 24°C. Der fandtes umiddelbart ingen sammenhæng mellem variationer i vandtemperaturen og de fundne kimal (Tabel 6.3).

pH varierede mellem 7,8 og 9,3 og var således let til middel basisk. De fleste mikroorganismer vil normalt forventes at kunne overleve og eventuelt vokse i et let til middel basisk vandmiljø.

Turbiditeten af det grå ubehandlede spildevand varierede mellem 11 og 36 FTU. Der fandtes umiddelbart ingen sammenhæng mellem variationer i spildevandets turbiditet og de fundne kimal (Tabel 6.3).

6.3.2.1 Foreløbig konklusion

Samlet indikerer resultaterne af smitstofanalyserne, at der tilføres yderst få velkendte egentlige bakterielle smitstoffer til det opsamlede grå spildevand. Fund af bevægelige *Aeromonas*, *Pseud. aeruginosa* og koagulase-positive *Staphylococci* viser dog også, at der kan forekomme en række potentielle smitstoffer i det ubehandlede grå spildevand. Det skal understreges, at der ikke blev undersøgt for virus og parasitter.

Indledende undersøgelse af behandlingseffekt

D. 11-03-2002 blev der indsamlet spildevandsprøver fra lokaliteterne A3, A5, og A6, samt som tidligere beskrevet fra A2 og A7.

Prøver fra A3, A5, og A6 blev undersøgt for kimal ved 22°C og 37°C, herunder hæmolytiske kim, samt antal enterokokker.

Resultaterne er vist i Tabel 6.4.

Tabel 6.4: Resultater af indledende undersøgelse af behandlingseffekt.

Parameter	Enhed	A3	A5	A6
Kimal 22°C	Pr. ml	24.000	2.000	1.500
Kimal 37°C	Pr. ml	30.000	480	380
Hæmolytiske kim 37°C	Pr. ml	244	<10	<10
Enterokokker	Pr. ml	10	<10	<10

Den biologiske rensning (A3) medførte en kraftig reduktion i antal kim ved 22°C og 37°C, ligesom passage gennem separatortanken (A4) også medførte en reduktion i antallet af de to parametre (Tabeller 6.3 og 6.4). UV-lysbehandlingen (A6) medførte en begrænset reduktion i antal kim ved 22°C og 37°C. Der blev ikke påvist hæmolytiske kim og enterokokker før og efter UV-lys behandling.

6.4 Analysemetodiske problemer

Trods indledende diskussioner af egnede metoder til de mikrobiologiske undersøgelser af gråt spildevand mellem ROVESTA Miljø I/S, Miljøstyrelsen og projekts andre partnere, viste resultaterne af de efterfølgende analyser, at de

valgte metoder for en række parametre var mindre egnede til analyse af gråt spildevand. De metodemæssige problemer bestod primært i at andre bakterier (såkaldt ledsageflora) overvoksede de ønskede ("target") bakterier på membranfiltre når der blev anvendt membranfiltreringsmetoder. Samtidig blev der i flere tilfælde ikke valgt optimale volumener/fortyndninger til analyserne.

Sammenholdt medførte disse forhold, at der måtte angives unormalt høje detektionsværdier for flere af parametrene og analyserne angivet i Tabel 6.3. Eksempelvis blev der for enterokokkerne angivet nedre detektionsgrænseværdier på <10, <100, og <10.000 per 100 ml (Tabel 6.3). Projektets partnere har løbende været i kontakt og diskuteret disse metodemæssige problemer med ROVESTA Miljø I/S.

På grund af problemerne med at anvende metoder baseret på membranfiltrering blev der i flere tilfælde anvendt direkte udsæd af vandprøver på agarmedier, eksempelvis ved undersøgelserne foretaget ved KVL. Detektionsgrænsen ved direkte udsæd er lavere (eks <100 bakterier per 100 ml) sammenlignet med membranfiltrering, hvor der kan undersøges et større volumen.

Baseret på erfaringerne fra trin 1 blev der efter accept af Miljøstyrelsen foretaget en række ændringer i de mikrobiologiske metoder til projektets trin 2. Metoder anvendt i trin 2 er angivet i Tabel 7.1 og 7.2.

7 Måleprogram, 2. fase

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

Resultaterne af trin 2 af måleprogrammet er beskrevet i dette kapitel. Under et møde med Miljøstyrelsen d. 11-12-2001 blev måleprogrammet for trin 2 fastlagt med udgangspunkt i resultaterne fra trin 1 beskrevet i kapitel 6.3.

7.1 Valg af parametre til undersøgelser af behandlingseffekt

Grundet manglende fund, kunne der ikke til fastlægning af effekt af forskellige behandlingsmetoder analyseres for *Salmonella*, *Campylobacter* eller *Legionella*. En eksperimentel tilførsel af smitstoffer ville endvidere have været problematisk ud fra sikkerhedshensyn.

Da enterokokker fandtes i alle prøver og denne fækale indikator generelt skønnes at være en bedre parameter/indikator end coliforme og *E. coli*/termotolerante coliforme bakterier, grundet enterokokernes generelle større resistens overfor miljøpåvirkninger, blev enterokokker valgt som parameter i de videre undersøgelser af behandlingseffekt (prøveudtagningslokaliteter A3, A5, og A6).

Kimtallene ved 22°C og 37°C blev også valgt til undersøgelse af anlæggets behandlingseffekt. Bl.a. fordi de er standardparametre ved mikrobiologisk undersøgelse af drikkevandprøver, ligesom disse analyser vil give en ekstra sikkerhed ved vurdering af behandlingseffekt. En eventuel opformering af mikrobiologiske kim i det behandlede, opbevarede spildevand (A7), herunder også eventuel opformering af coliforme bakterier, vil også kunne registreres ved bestemmelse af de nævnte kimtal.

For at have yderligere viden om den mikrobiologiske kvalitet af vand anvendt til toiletskyl, blev der indsamlet et antal vandprøver fra WC cisterner tilledt behandlet spildevand og cisterner tilledt drikkevand fra det normale forsyningsnet. Disse prøver blev indsamlet og analyseret af ROVESTA Miljø I/S d. 30-05, 10-10, 16-10 og 21-10-2002.

De kemiske og mikrobiologiske analyseparametre og anvendte metoder for trin 2 analyser er beskrevet i Tabellerne 7.1 og 7.2.

Tabel 7.1: Fysisk-kemiske parametre for 2. fase

Parameter	Metode	Udtagningssted	Antal prøver
Suspenderet stof	DS 207	En prøve ved A2 og En prøve ved A7	3-4
Temperatur			
Turbiditet	DS 290		
Bl ₅ mod.	DS/EN 1899-1		
COD	DS 217, 1991		
Ilt, opløst	DS 2206		
Ledningsevne	DS 288		
NVOC	DS/EN 1484		
PH	DS 287		
Sulfid	DS 280		
Anioniske detergenter	DS 237		

Tabel 7.2: Mikrobiologiske parametre for 2. fase

Parameter	Metode	Udtagningssted	Antal prøver
<i>Parametre til bestemmelse af kvaliteten af det urensede og det rensede gråvand</i>			
Kimtal 22°C	ISO/EN 6222/1	A2 og A7	3-4
Kimtal 37°C	ISO/EN 6222/1		
Coliforme bakterier	DS 2255/2		
Termotolerante coliforme	DS 2255/2		
Enterokokker	DS/EN ISO 7799/2 eller DS 2401		
Aeromonas	NMKL-forslag 150/2		
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	DS 268/1		
Stafylokokker	NMKL 66/3		
<i>Parametre til bestemmelse af renseeffekten forskellige steder i anlægget</i>			
Kimtal 22°C	Se ovenfor	A3 + A5 + A6	3-4
Kimtal 37°C			
Enterokokker			
<i>Parametre til bestemmelse af vandkvaliteten i WC-cisterner</i>			
Kimtal 22°C	Se ovenfor	2 cisterner hvor der fremføres rensed gråvand	3-4
Kimtal 37°C			
		Samt 1-2 cisterner, hvor der fremføres vandværksvand	

Perioder for prøveudtagning og analyselaboratorier (trin 2)

Alle prøver af gråt spildevand blev indsamlet, transporteret og analyseret for kemiske og mikrobiologiske parametre af laboratoriet ROVESTA Miljø I/S og laboratoriet ved Inst. f. Veterinær Mikrobiologi, KVL efter gældende danske og internationale standarder.

Der er i perioden 30-05-02 til 21-10-02 foretaget ialt 4 prøveindsamlinger af ROVESTA Miljø I/S til karakterisering af det grå spildevand og kvalitet af behandlet gråt spildevand og drikkevand i WC cisterner.

KVL har i perioden 07-05 til 23-05 2002 foretaget ialt 8 prøveindsamlinger og analyseret en række prøver for udvalgte mikrobiologiske indikatorparametre til vurdering af anlæggets behandlingseffekt.

7.2 Kemiske analyser foretaget af ROVESTA Miljø I/S (trin 2)

D. 11-03-2002 og d. 30.05.2002 er der udtaget prøver fra udtagningsstederne A2 og A7. Resultaterne fremgår af tabel 7.2.

Parameter	Enhed	Dato og prøveindsamlingssted			
		11-03-2002		30-05-2002	
		A2	A7	A2	A7
Suspenderet stof	mg/l	90	3,4	31	2,1
Turbiditet	FTU	49	11	30	0,8
BI ₅	mg/l	66	1,7	46	< 1
COD	mg/l	190	22	140	14
NVOC	mg/l	16	4,4	28	3,5
Sulfid	mg/l	5,6	< 0,1	3,2	< 0,1
Anioniske detergenter	µg/l	2.300	30	< 20	4.900

Det vurderes, at der er en god behandlingseffekt i anlægget for de udvalgte kemiske parametre. Alle værdier i A7 (behandlet vand fra opbevaringstanke) må karakteriseres som meget lave. BI₅ reduceres i begge tilfælde med > 97% til < 2 mg/l. Risikoen for eftervækst i det behandlede vand er dermed meget begrænset.

Det ses endvidere, at de anioniske detergenter reduceres med 98- 99% i prøven fra d. 11-03-2002. Det virker sandsynligt, at prøverne fra A2 og A7 fra den 30-05-2002 er blevet ombyttet. Det virker mest logisk, også når man sammeligner værdierne fra d. 02 og 09-10-2001 jf. bilag G. ROVESTA Miljø I/S fastholder dog, at der ikke er sket en fejl. Der kan ikke gives nogen forklaring på forskellen.

7.3 Mikrobiologiske analyser foretaget af ROVESTA Miljø I/S (trin 2)

Prøver indsamlet d. 30-05-2002

D. 30-05-2002 blev der indsamlet spildevandsprøver fra udtagningsstederne A2, A3, A5, A6, og A7. Der blev endvidere indsamlet vandprøver fra WC-cisterner i toiletter med hhv. behandlet gråt spildevand og drikkevand fra ledningsnet.

Resultaterne er vist i Tabel 7.3.

Tabel 7.3: Resultater af mikrobiologiske undersøgelser foretaget d. 30-05 2002.

Parameter	Enhed	Prøveindsamlingssted							
		A2	A3	A5	A6	A7	WC cisterne gråvand	WC cisterne gråvand	WC cisterne drikkevand
Kimtal ved 22°C	pr ml	9.300.000	12.000	70	300	690	390	500	10
Kimtal ved 37°C (blodagar)	pr ml	780.000	6.300	99	30	150	80	70	30
Hæmolytiske kim, 37°C	pr ml	4.300	630	10	<10	<10	<10	<10	<10
Coliforme bakterier	pr 100 ml	11.000				79			
Termotolerante coliforme	pr 100 ml	170				i.m.			
Enterokokker	pr 100 ml	10	<10	<10	<10	<10			
Aeromonas, bevægelige arter	pr ml	29.000				40			
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	pr 100 ml	130				<10			
Stafylokokker, koagulase positive	pr ml	140				<10			

Den biologiske rensning (A3) og passage gennem separatortanken (A4) medførte en kraftig reduktion i antal kim ved 22°C og 37°C. UV-lys behandlingen (A6) medførte en yderligere reduktion i antal kim ved 37°C fra 99 til 30 cfu/ml, hvorimod antal kim ved 22°C blev øget efter UV-lys behandling (fra 70 til 300 cfu/ml) (Tabel 7.3). Årsagerne til denne stigning i kimtal ved 22°C er ukendte.

Der blev påvist få termotolerante coliforme bakterier og enterokokker i det ubehandlede grå spildevand og begge parametre kunne ikke påvises i behandlet, opbevaret gråt spildevand (A7). Der blev påvist et varierende antal af de øvrige parametre i ubehandlet spildevand. Men antallet af disse blev kraftigt reduceret ved passage gennem anlægget og der kunne således kun påvises 79 coliforme bakterier per 100 ml og 40 bevægelige *Aeromonas* bakterier per ml i behandlet, opbevaret gråt spildevand.

Antal kim ved 22°C var 390 og 500 cfu per ml og ved 37°C fandtes 80 og 70 cfu per ml i to prøver af behandlet gråt spildevand tilledt WC cisterner, sammenlignet med 10 cfu per ml (22°C) og 30 cfu per ml (37°C) i en cisterne tilledt drikkevand fra forsyningsnettet. Der kunne ikke påvises hæmolytiske kim (37°C) i prøver indsamlet fra WC cisterner. Ved en sammenligning med de tilsvarende kimtal påvist i prøver af behandlet, opbevaret spildevand (A7) er der således sket en yderligere kimtalsreduktion efter tilledning af behandlet spildevand til WC cisternerne. De fundne kimtal i prøverne fra WC cisterner må betragtes som overordentlig lave.

Prøver indsamlet mellem d. 10-10 og 21-10-2002

Der blev foretaget yderligere 3 prøveindsamlinger d. 10-10, 16-10 og 21-10-2002 til fastlæggelse af effekten af UV-lys behandlingen, den mikrobiologiske kvalitet af behandlet, opbevaret gråt spildevand, samt af gråt spildevand tilledt en WC cisterne. Til sammenligning med sidstnævnte blev der analyseret en vandprøve fra en cisterne tilledt drikkevand fra det normale forsyningsnet.

Resultaterne af de 3 prøveindsamlinger er vist i Tabellerne 7.4, 7.5, og 7.6.

Tablet 7.4: Mikrobiologiske resultater fra prøver indsamlet d. 10-10-2002

Parameter	Enhed	A5	A6	A7	Cisterne gråt spildevand	Cisterne drikkevand
Kimtal 22°C	Pr. ml	5.000	22	300	210	7
Kimtal 37°C	Pr. ml	3.500	25	130	42	<1
Coliforme bakterier	Pr. 100 ml	1.700	<20	<20	<20	<20
Termotolerante coliforme bakterier	Pr. 100 ml	800	<20	<20	<20	<20
Enterokokker	Pr. 100 ml	<100	<100	<100	<100	<100

Tablet 7.5: Mikrobiologiske resultater fra prøver indsamlet d. 16-10-2002

Parameter	Enhed	A5	A6	A7	Cisterne gråt spildevand	Cisterne drikkevand
Kimtal 22°C	Pr. ml	84	16	270	170	1
Kimtal 37°C	Pr. ml	63	28	72	69	<1
Coliforme bakterier	Pr. 100 ml	<20	<20	<20	<20	<20
Termotolerante coliforme bakterier	Pr. 100 ml	<20	<20	<20	<20	<20
Enterokokker	Pr. 100 ml	<100	<100	<100	<100	<100

Tablet 7.6: Mikrobiologiske resultater fra prøver indsamlet d. 21-10-2002

Parameter	Enhed	A5	A6	A7	Cisterne gråt spildevand	Cisterne drikkevand
Kimtal 22°C	Pr. ml	14.000	31	460	690	9
Kimtal 37°C	Pr. ml	7.600	35	200	490	3
Coliforme (1) bakterier	Pr. 100 ml	-	-	-	-	-
Termotolerante coliforme bakterier	Pr. 100 ml	<20	<20	<20	<20	<20
Enterokokker	Pr. 100 ml	<100	<100	<100	<100	<100

(1) -, analyse for coliforme bakterier blev fejlagtigt ikke foretaget

Af Tabellerne 7.4, 7.5 og 7.6 fremgår det, at coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier og enterokokker ikke blev påvist i prøver udtaget fra A6, A7, og WC cisternerne. Der blev ved en fejl ikke analyseret for coliforme bakterier i prøver udtaget d. 21-10-2002. Disse resultater bekræfter fundene i undersøgelserne udført ved KVL (se sektion 7.3). Anlægget reducerer således effektivt antallet af disse indikatorbakterier, ligesom der ikke ser ud til at ske en opformering af indikatorbakterierne under opbevaring af behandlet gråt spildevand (A7).

D. 16-10-2002 blev der påvist relativt meget lave kimtalsværdier ved 22°C og 37°C, ligesom der ikke kunne påvises coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier, og enterokokker i prøver fra lokalitet A5. Årsagerne til disse lave kimtall er ukendte.

Der var generelt kun en lille variation mellem prøveindsamlingerne i antal kim ved 22°C og 37°C i A6, A7 og cisternevandprøverne. Det skal bemærkes, at antal kim ved 37°C var større end antal kim ved 22°C i alle prøver udtaget efter UV-lys behandling (A6). Ved alle andre prøvetyper var antal kim 22°C større end antal kim 37°C. ROVESTA Miljø I/S blev spurgt om en evt. forklaring. De har meddelt, at der ikke er fejl i tallene. Endvidere, at der statistisk set ikke er forskel på de 2 kimtall, idet 95%-intervallerne lapper ind over hin-

anden (Repeterbarheds-standardafvigelsen). Ved et sådan overlap vil en forskel kunne tilskrives en tilfældighed.

Der syntes at ske en ca. 10-folds stigning (vækst) i antal kim ved 22°C og 37°C under opbevaring af det behandlede grå spildevand (A7). Coliforme bakterier syntes derimod ikke at kunne udvise vækst under opbevaring af det rensede gråvand.

Der blev fundet lave kimal ved 22°C og 37°C i WC cisterner som blev tilledt behandlet grå spildevand (Tabellerne 7.4, 7.5 og 7.6). WC cisternen, som blev tilledt drikkevand fra det normale forsyningsnet, indeholdt generelt lavere kimal end cisterner tilledt grå spildevand.

7.4 Mikrobiologiske analyser foretaget af Inst. f. Veterinær Mikrobiologi, KVL (trin 2)

KVL har i perioden 07-05 til 23-05 2002 foretaget ialt 8 prøveindsamlinger og analyseret en række prøver for udvalgte mikrobiologiske indikator parametre til vurdering af anlæggets behandlingseffekt. Analyseparametre og anvendte metoder er opstillet i Tabel 7.7. Alle analyseresultater er vist i bilag I.

Tabel 7.7: Analyseparametre og metoder anvendt til vurdering af anlæggets behandlingseffekt på grå spildevand.

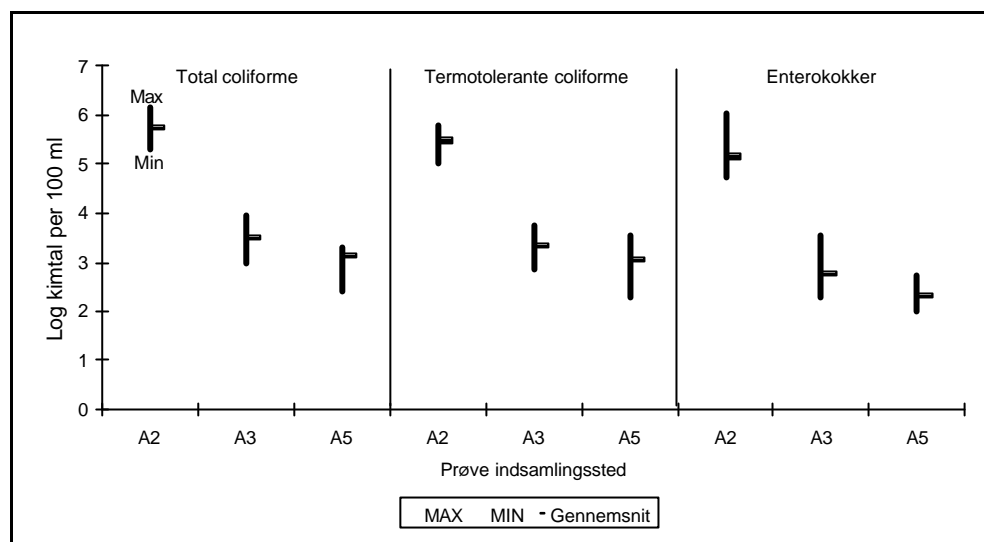
Parameter	Enhed	Metode anvendt ved KVL
Kimtal 22°C	Pr. ml	DS/EN ISO 6222
Kimtal 37°C	Pr. ml	DS/EN ISO 6222
Coliforme bakterier	Pr. 100 ml	ISO/DIS 9308/1
Termotolerante coliforme bakterier	Pr. 100 ml	ISO/DIS 9308/1
Enterokokker	Pr. 100 ml	DS 2401

De udvalgte mikrobiologiske parametre fandtes alle i tilstrækkelige store antal i det ubehandlede grå spildevand, som tillod deres anvendelse som indikatorer på behandlingseffekt.

I det ubehandlede grå spildevand (A2) fandtes der som forventet relative høje antal af alle parametre, inklusiv indikatorer på fækal forurening (termotolerante coliforme bakterier og enterokokker). Der fandtes endvidere generelt meget store variationer i de fundne kimal.

Der bør ved sammenligninger af kimal fra forskellige indsamlingssteder kun konkluderes på trends i kimalreduktioner p.g.a. de relative store variationer i kimal og det forhold af prøvetyperne ikke er direkte sammenlignelige. Vandprøver fra lokalitet A2 og A3 repræsenterer således forskellige vandprøver, idet kimalreduktionerne forskellige steder i anlægget ikke er sket på samme vandprøve. Dette skyldes, at det ikke var muligt at beregne og tage hensyn til vandets opholdsstid ved prøveindsamling.

Figur 7.7 viser reduktionen i antal coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier, og enterokokker efter biologisk rensning (A3) og passagen gennem separatortank og filerpatron (A5). Kimaldata er transformeret logaritmisk og der er angivet minimum, maksimum og gennemsnitskimalsværdier. Alle tre indikatorer blev påvist i høje antal i ubehandlet grå spildevand (10^5 - 10^6 cfu/100 ml) og der fandtes nærmest identiske kimalreduktioner ved behandling.

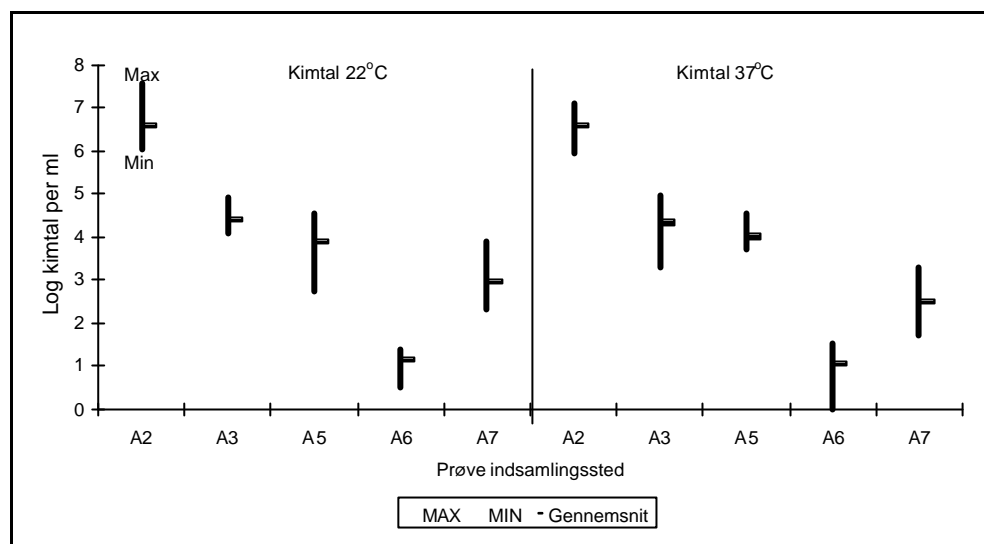


Figur 7.1. Antal coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier og enterokokker i gråt ubehandlet spildevand (A2), efter biologisk rensning (A3) og passage gennem separatortank og filterpatron (A5). Maksimum, minimum og gennemsnitskimaltsværdier er angivet efter logaritmisk transformering.

Der skete en generel kimtalsreduktion efter den biologiske rensning ved behandling i biorotator (A3) med en faktor 100-1000 for alle parametre. Der blev påvist en begrænset kimtalsreduktion med en faktor 2-3 som følge af vandets ophold og passage gennem separatortank og filterpatron (A5) (figur 7.1).

Antal coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier, og enterokokker blev reduceret til under detektionsgrænsen (<100 bakterier per 100 ml) i alle 6 undersøgte prøver efter behandling med UV-lys (A6). Der fandtes endvidere ikke coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier, og enterokokker i det opbevarede behandlede gråspildevand (A7). Dette indikerer, at disse parametre ikke vokser i behandlet, opbevaret grå spildevand. (jf. bilag H).

Reduktioner af kimtallene ved 22°C og 37°C viste samme tendens som for de fækale indikatorbakterier efter biologisk rensning og passage gennem separatortank og filterpatron (figur 7.2.)



Figur 7.2 Kimtal ved 22°C og 37°C i gråt ubehandlet spildevand (A2), efter biologisk rensning (A3), passage gennem separatortank og filterpatron (A5), efter UV-lys behandling (A6) og i opbevaret, behandlet spildevand. Maksimum, minimum og gennemsnitskimaltsværdier er angivet efter logaritmisk transformering.

Kimtal ved 22°C og 37°C blev efter UV-lys behandling (A6) reduceret med en faktor 100-1000 (Figur 7.3.2). Der blev således fundet mellem 3-25 cfu per ml ved 22°C og mellem 1-34 cfu per ml ved 37°C (bilag E). Til sammenligning blev der ved analyse foretaget af ROVESTA Miljø I/S d. 15-03-2002 påvist 1.500 cfu per ml ved 22°C og 380 cfu per ml ved 37°C. De relativt højere kimalt fundet i prøver analyseret af ROVESTA Miljø I/S kan ikke umiddelbart forklares. Ofte fandtes der højere kimalt ved 37°C sammenlignet med kimalt ved 22°C (bilag H).

I modsætning til de fækale indikatorbakterier skete der en generel opformering af kimalt ved 22°C og 37°C med en faktor på ca. 100 efter opbevaring af behandlet gråt spildevand (A7) (figur 7.2).

7.5 Kemiske og mikrobiologiske resultater fra måleprogrammets 2. fase

7.5.1 Fysisk/kemiske delkonklusioner

- Det ubehandlede grå spildevand (A2) indeholdt moderate værdier for de fysiske og kemiske parametre. Suspenderet stof, turbiditet, BI_5 og detegenter var således som ventet lavere end normalt for husspildevand [3]. Der var kun lille variation i indholdet af de nævnte parametre.
- Behandlingen i anlægget reducerede de fysiske/kemiske parametre betydeligt. For BI_5 med mere end 97 % og for anioniske detegenter på knapt 99%.
- Generelt var indholdet af metaller og miljøfremmede stoffer meget lavt i det opsamlede grå spildevand. I de fleste tilfælde under detektionsgrænsen eller under drikkevandskravene. Enkelte phthalater (plastblødgørere) og phenoler blev påvist, men stadig i meget lave koncentrationer. Der var et relativt højt indhold af fosfor i det ubehandlede grå spildevand. Der blev ikke analyseret for fosfor i det behandlede vand.

7.5.2 Mikrobiologiske delkonklusioner

- Det ubehandlede grå spildevand (A2) indeholdt relative høje antal af alle mikrobiologiske måleparametre, inklusiv indikatorer på fækal forurening (termotolerante coliforme bakterier og enterokokker). 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* i ubehandlet gråt spildevand. *Legionella* kunne endvidere ikke påvises i ubehandlet, behandlet og opbevaret gråt spildevand.
- Den biologiske rensning i biorotator (A3) reducerede generelt kimtal med en faktor 100-1000 for alle parametre. Der blev påvist en mindre kimtalsreduktion med en faktor 2-3 som følge af vandets ophold og passage gennem separatortank og filterpatron (A5)
- Coliforme bakterier, termotolerante coliforme bakterier og enterokokker blev ikke påvist i prøver udtaget efter UV-lysbehandling (A6); fra behandlet vand i opsamlingsbeholder (A7); og fra WC cisterner tilledt behandlet gråt spildevand. Anlægget reducerer således effektivt antallet af disse indikatorbakterier, ligesom der ikke ser ud til at ske en opformering af indikatorbakterierne under opbevaring af det behandlede grå spildevand. I modsætning til de fækale indikatorbakterier skete der en generel opformering af kimtal ved 22°C og 37°C med en faktor på ca. 100 efter opbevaring af behandlet gråt spildevand
- Antal 22°C og 37°C kim i UV-lysbehandlet gråt spildevand var meget lave (ca. 1-300 cfu per ml) og kunne ofte efterleve drikkevandskravene. Vand i WC cisterner tilledt behandlet gråt spildevand havde også meget lave kimtal (390 – 500 cfu per ml ved 22°C og ved 37°C fandtes 80 og 70 cfu per ml).

8 Konklusion

Renseanlægget

To års drift af reseauanlægget har vist, at det er meget driftssikkert. Fejl har kunne udbedres relativt nemt og hurtigt og i de fleste tilfælde uden betydning for kvaliteten af det behandlede vand. Det vurderes, at den anvendte teknologi er velfungerende og velegnet som anlæg i beboelsesejendomme. Det skyldes især, at anlægget er fuldautomatisk og kun kræver et minimum af vedligehold og pasning. Det er dog stadig en forudsætning, at der er en ejendomsfunktionær eller anden person, der jævnligt kan tilse anlæggets drift.

Anlægget har fungeret meget tilfredsstillende uden væsentlige lugtgener. Lugtgener har været begrænset til det rum, hvor anlægget er placeret og kun i forbindelse med tømning eller reparation af anlægget. Der har ikke været rapporteret om lugtgener for beboerne i ejendommen.

Det var vigtigt for resultaterne at vise hvordan anlægget ville fungere under "almindelige" forhold. Beboerne i ejendommen har således kunne anvende de vaskemidler og kemikalier de hidtil har anvendt. Under de betingelser har den biologiske proces i anlægget (bioreaktoren) vist sig at være robust og velfungerende. Projektet har vist, at for denne type teknologi er det ikke en betingelse, at der anvendes særlige miljøvenlige midler, for at opnå en god behandlingseffekt og dermed høj vandkvalitet.

Der er taget alle forholdsregler for installationsfejl især omkring rørtilslutninger. RC-anvisning 003 er blevet fulgt i det omfang, det har været relevant. Det er kun autoriserede VVS og kloakmestre, der har arbejdet på anlægget. Der er anvendt rørtyper, som adskiller sig væsentligt fra de øvrige installationer i ejendommen, så der ikke umiddelbart kan ske en forveksling. De valgte rørtyper kræver endvidere specialværktøj, som reduceres risikoen for "uautoriserede" arbejder på rørene.

Det vurderes, at Worst-case scenariet i driftssituationen er i det tilfælde, hvor bioreaktoren (RBC-anlægget) sætter hel eller delvis ud af funktion. Der er udarbejdet en beredskabsplan i sådanne tilfælde. Den har været bragt i anvendelse en enkelt gang af ejendomsinspektøren, og den har vist sig at fungere tilfredsstillende.

Sundheds- og hygiejnemæssige aspekter

Resultaterne af de mikrobiologiske analyser udført af ROVESTA Miljø I/S og KVL viser, at det opstillede anlæg til behandling af gråt spildevand over en lang undersøgelsesperiode var meget driftssikker og producerede vand af en mikrobiologisk kvalitet meget tæt på kravene til drikkevand.

Selvom der ikke kunne påvises bakterielle smitstoffer, herunder *Legionella* spp., i ubehandlet gråt spildevand, så må især gram-negative bakterielle smitstoffer forventes at kunne forekomme i ubehandlet gråt spildevand. Det forhold, at indikatorbakterierne, total coliforme, termotolerante coliforme og enterokokker, ikke kunne isoleres fra UV-lys behandlet og behandlet, opbevaret

spildevand, indikerer, at eventuelle gram-negative smitstoffer vil blive inaktiveret og/eller dræbt af UV-lys bestrålingen.

Miljøstyrelsen og projektets deltagere identificerede ved projektets start at eventuelle sundhedsrisici ved anvendelse af behandlet gråt spildevand primært er relateret til aerosolbåren indtagelse af smitstoffer og toksiske bakteriecelle bestanddele. Da *Legionella* spp. ikke kunne påvises ved gentagne målinger af såvel behandlet som ubehandlet gråt spildevand, og råvand tilført WC cisterne indeholdt meget lave kintal, vurderes risici for aerosolbåren smitte med bakterielle smitstoffer og toksiske cellebestanddele overordentlig lave. Sidstnævnte forhold blev endvidere bekræftet af Statens Serum Institut, der vurderede, at risici for indtagelse af aerosolbårne toksiske cellebestanddele ved toiletskyl er endog meget lav.

Sundhedsrisici ved en eventuel indtagelse via munden af WC-kumme vand tilført behandlet gråt spildevand vurderes på baggrund af projekts resultater ikke højere sammenlignet med WC kummer som ikke tilføres gråt spildevand. Bidraget fra afføringen ved toiletbesøg er den altafgørende faktor til fækal forurening af WC -kumme vand.

Fysiske og kemiske aspekter

Resultaterne af de fysiske og kemiske analyser udført af ROVESTA Miljø I/S viser en meget god behandlingseffekt i anlægget for parametrene suspenderet stof, turbiditet, BI_5 , COD, NVOC, sulfid og anioniske detergenter. Værdierne for det behandlede grå spildevand viste reduktioner på 90 – 99 % fra det ubehandlede til det behandlede grå spildevand. BI_5 lå således under 2 mg/l i det behandlede vand, hvilket betyder, at risikoen for mikrobiel eftervækst er begrænset.

I samråd med den kemiske konsulent fra DTU og Miljøstyrelsen 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. Undtaget var to typer phthalater (plastblødgørere) og to typer phenoler. Projektet har ikke undersøgt årsagen til fundet af netop disse stoffer i det ubehandlede grå spildevand. Der henvises til andre relevante undersøgelser /3/.

På baggrund af projektets resultater vurderes det, at indholdet af evt. kemiske stoffer især metaller og miljøfremmede stoffer ikke udgør nogen sundhedsmæssig risiko ved anvendelse af behandlet gråt spildevand til toiletskyl.

Beboerundersøgelse

Ejendomsinspektøren eller bestyrelsen for Nordhavnsgården har ikke modtaget klager omkring lugt eller andre forhold der kunne relateres til gråvandsanlægget. Der har været gennemført to spørgeskemaundersøgelser, hvor de 84 lejemaal er blevet spurgt om lugt, misfarvning og mangel på vand. Beboerne har naturligvis observeret de enkelte gange, der har været mangel på vand. Derudover rapporterer flere af beboerne, at der er misfarvning af kummen. Der er i undersøgelsen ikke belæg for at vurdere, om misfarvning af kummen er værre i de toiletter der bruger behandlet gråt spildevand frem for toiletter der anvender vandværksvand.

Generelt vurderes anlægget at fungere godt set fra beboernes og ejendomsinspektørens side.

Generel konklusion

Der blev ved en række gentagne målinger ikke påvist smitsomme mavetarmbakterier og *Legionella* bakterier, ligesom det opbevarede, behandlede vand ikke indeholdt fækale indikatorbakterier og generelt havde et meget lavt kimtal. På baggrund af disse fund og embedslægens generelle betragtninger vurderes det, at sundhedsrisici for beboere i Nordhavnsgården der anvender toiletter tilført behandlet gråt spildevand indsamlet fra flere husstande er overordentlig lave. Det skal dog understreges, at der ikke blev undersøgt for parasitter og virus p.g.a manglende standardiserede metoder. Eventuel risici ved forekomst af disse smitstoffer er langt overvejende relateret til oral smitte. Risici forbundet med anvendelse af gråt spildevand til toiletskyl er i dette projekt primært vurderet til at være forbundet med luftbåren smitte. UV-lysbehandling vil som for bakterier og virke inaktiverende og dræbende på parasitter og virus. Derfor vurderes eventuelle smitterisici med parasitter og virus som minimale.

Ved gentagne sammenlignelige analyser er det påvist, at kvaliteten af det behandlede grå spildevand er af meget høj kvalitet tæt på kravene til drikkevand. Målt i forhold til kimtal ved 22°C lå niveauerne i 8 gentagne målinger mellem 3 – 25 cfu/m for prøver udtaget umiddelbart efter UV-lysbehandling. Enkelte målinger viste niveauer omkring 300 cfu/ml. Drikkevandskravene er maksimalt 200 cfu/ml for kimtal ved 22°C . Målt i forholdt til kimtal ved 37°C lå niveauerne i 8 gentagne målinger mellem 1-37 cfu/m for prøver udtaget umiddelbart efter UV-lysbehandling. I fem udad de otte prøver lå niveauet under eller på 20 cfu/ml som er drikkevandskravene.

Den valgte teknologi er baseret på en biologisk behandling i åbne kar, der sikrer tilstrækkelige iltrige forhold for den biologiske proces. Anlægget er fuldautomatisk og selvrensende. Anlægget kræver kun et minimum af vedligeholdelse og pasning , mindre end 2 timer om måneden. Anlægget er installeret med forskellige alarmer, gives ved fejl på anlægget. Derfor er det vigtigt, at der er dagligt tilsyn med anlægget af kvalificerede driftspersonale i ejendommen.

Det er påvist, at den valgte teknologi er driftssikker og uden lugtgener. Endvidere har projektet vist, at den valgte teknologi giver en relativ konstant vandkvalitet.

Samlet vurderes det, at den valgte teknologi er særdeles velegnet til behandling af gråt spildevand.

Med projektets resultater er der tilvejebragt et omfattende datagrundlag for vurdering af udvalgte mikrobiologiske og kemiske parametre for anvendelse af gråt spildevand.

Det vurderes, at projektet giver et væsentligt bidrag til, at Miljøstyrelsen sammen med andre relevante myndigheder kan vurdere, om der skal udarbejdes retningslinier for anvendelse af gråt spildevand på tilsvarende vis som gælder for anvendelse af regnvand i boliger.

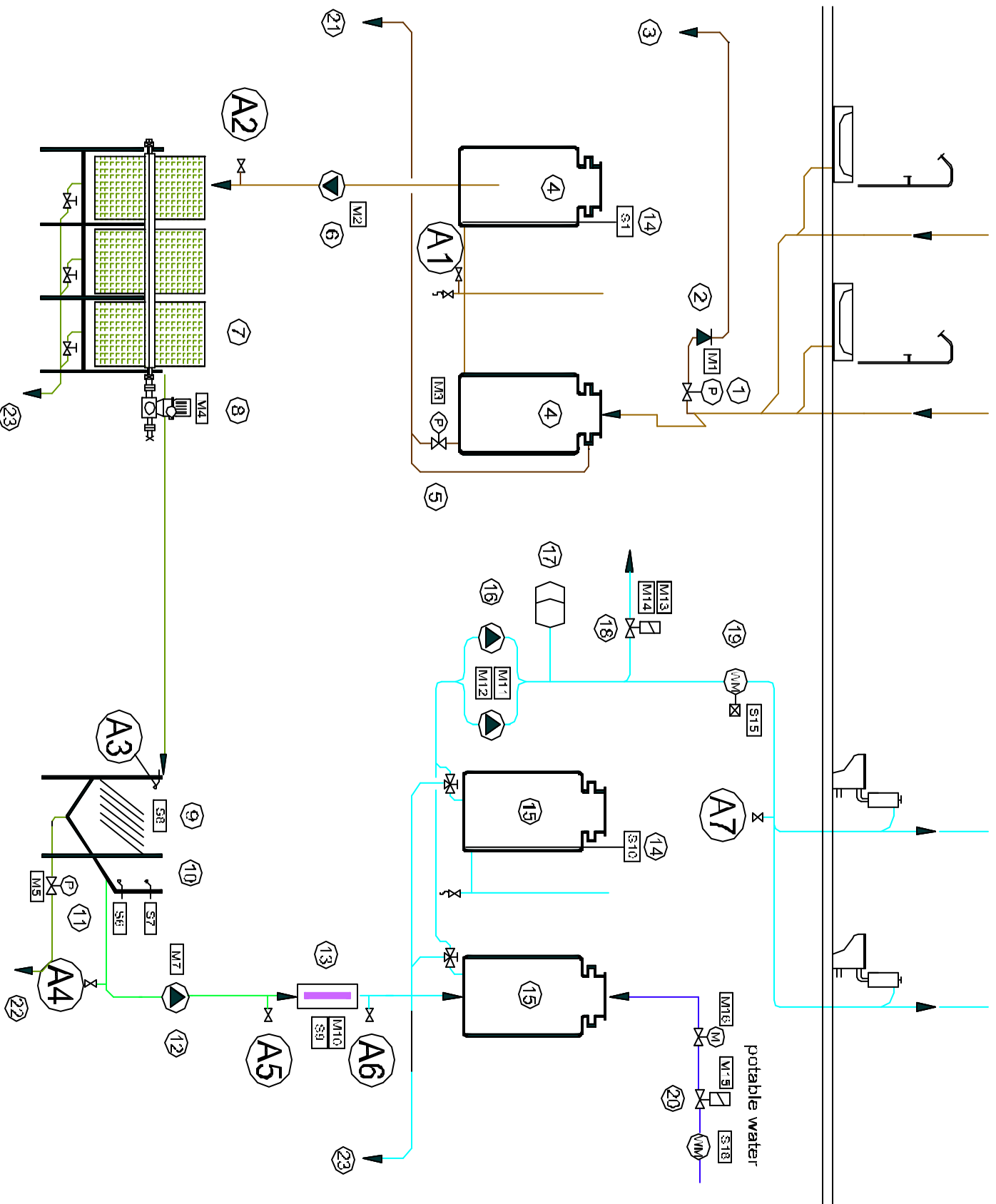
9 Referencer

- /1/ "Brug af regnvand til wc-skyl og vaskemaskiner i boliger" RC-anvisning 003, Rørcentret juli 2000. Udarbejdet for By- og boligministeriet og Miljøstyrelsen.
- /2/ Oplyst af Ralf Grehl, LOKUS GMBH, baseret på erfaringer og målinger på tyske anlæg
- /3/ Udvikling af metode til karakterisering af gråt spildevand. 1. udkast , december 2002, Anna Ledin et. a. (Bo90 Rapport).
- /4/ Krævede dosering af UV-stråling for hel deaktivering af bakterier, vira og skimmelsvamp (oversat fra: *Vereiste dosering UV straling voor het deactiveren bacteriën, virussen en schimmels*), www.lenntech.com/UV-dosering.htm
- /5/ Telefon samtale med Overlæge Ole Bent Jeppesen, Afdelingschef i Centralafdelingen for Sygehushygiejne ved Statens Serum Institut, december 2001.
- /6/ Bekendtgørelse nr. 871 af 21. september om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.

Bilag A: Flowdiagram for gråvand- sanlægget ved Nordhavnsgården

Flow Chart Graywater Plant

Foreningen Socialt Boligbyggerie
Nordhavnsgrøden



- AX) aftapningssteder
- 1) pneumatic valve
- 2) check valve
- 3) overflow into waste
- 4) primary settling tanks
- 5) pneumatic-valve, sludge removal
- 6) feed pump biol. cleansing
- 7) biological contactor
- 8) worm gear drive

- 9) lamella separator
- 10) hold-tank for ultraviolet desinfection
- 11) pneumatic-valve, sludge removal
- 12) feed-pump ultraviolet desinfection
- 13) ultraviolet desinfection
- 14) level control
- 15) treated water tanks
- 16) booster pumps

- 17) expansion vessel
- 18) solenoid valve automatic cleansing
- 19) water meter with reed-contact
- 20) solenoid valve additional potable water
- 21) sewage pump to public waste
- 22) waste water through check valve to primary settling
- 23)

made by **Lokus**

Lokus GmbH
graywater-recycling
Sihbers einstraße 97
1205 Berlin Germany

tel ++49+30+625 31 87
fax ++49+30+626 71 55
e-mail lokus%0164-dnfr.de
http://www.graywater.com

Bilag B: Beredskabsplan ved fejl på anlægget

Fejl eller uregelmæssigheder ved bioreaktor

Der kan forekomme perioder, hvor biofilmen på møllehjulene reduceres eller helt forsvinder. Det må forventes, at renseeffekten i anlægget reduceres væsentligt i perioder hvor biofilmen er helt eller delvist forsvundet. I perioder hvor biofilmen er helt eller ca. 80% reduceret bør det behandlede gråvand ikke anvendes til toiletskyl i lejlighederne.

Fejlfinding sker ved visuel inspektion af møllehjulene. Hvis det konstateres, at biofilmen er helt eller ca. 80% reduceret foretages følgende:

- Årsagen til biofilmens forsvinden undersøges:
- Undersøg om der er en pludselig stigning i tilførsel af drikkevand til anlægget
- Kraftig lugt af svovlbrinte (råddent æg) ved oppumpning af gråvand til bioreaktoren (ved normaldrift vil der være en svag lugt af svovlbrinte). Tjek om udslamning af gråvandstank er i orden, f.eks. om ventiler er stoppet eller ude af funktion. Reparere evt. driftsfejl.
- Lugt af kemikalier (informere beboere om konsekvenserne af, at kemikalier hældes i afløb til bruser eller håndvask.
- Tjek om gråvandstilførselen er stoppet eller væsentligt reduceret (afprøv gråvandspumpen manuelt)
- Kontakt leverandør

- Ventilen til slamfjernelse i lammeltanken (M5 på flowdiagram) sættes på åben.

- Sandfiltret der sidder på lammeltanken tømmes for vand ved adskillelse

- UV-lampen slukkes på afbryderen på hovedkontrolltavlen.

- Møllehjulene skal fortsætte med at køre rundt. Beholderne må ikke tømmes.

Vedligehold og reparation på bioreaktoren skal følge beskrivelserne i driftsmmanualen. Bioreaktoren bør kun tømmes efter aftale med leverandøren, LOKUS GmbH.

Genstart af anlæg

Anvendelse af det behandlede gråvand kan genstartes, når biofilmen er helt eller delvist reetableret. Alternativt hvis det kan dokumenteres, at vandkvaliteten overholder evt. myndighedskrav.

- Ventilen til slamfjernelse i lammeltanken (M5 på flowdiagram) sættes på automatisk.
- UV-lampen sættes tilbage på automatisk på hovedkontrolltavlen.

Bilag C: Rapport for 1. års gennemgang af renseanlægget

Lokus GmbH - Silbersteinstraße 97 - 12051 Berlin- Neukölln

Moe & Broedsgard AS
c.o. Morten Anderson

Torringvej 7

DK-2610 Rodovre
Denmark

Date: 2.07.02

by: gw / grehl

Maintenance report on graywater recycling plant in Nordhavnsgården

Date: Maintenance 1.7.2002

Report on maintenance work in Nordhavnsgården, graywater recycling plant (protokoll).

Optical control:

Over all impression: plant room and plant are tidy and seem well maintained
Plant is running normal.

No odour.

No failure indication lamps except the oil change lamp, which comes on after a year

UV-lamp is on, reading, while loading: 138% o.k. but low

The compressed air system is working, no leakage

Primary settling tanks and inflow:

Inflow pipes show no leaks, the valve is working and the backflow preventer shows no sign of blockage.

The sump shows little sludge, the sump pump is working

The pneumatic drain valve is working properly

The tanks show a little sludge thickness between two and a half centimeter

Reading of sensor is 1920, tanks about half filled, o.k.

The cleansing process is functioning normal

The feed pump shows no sign of blockage and is working normal

Bio-rotator-group

Motor and axle o.k.

Oil change after 9872 hours with 3.1 liters gear box oil acc. manufacturers spec.

Bearings o.k., additional greasing with special insoluble grease to prevent corrosion. Speed: 1 rpm, given Jan instructions to increase speed if there is clogging of first rotator.

Aluminium structure o.k.

No leaks or overspill from rotators.

Biologie: First rotator shows a good growth, more threadlike than before, color light, yellowish brown, visibility approx. 20 cm. Sludge on the sides of tank up to 1 cm, threads, o.k. Second rotator shows less growth, color is lighter, visibility is doubled. No growth on the sides. Third rotator shows almost no growth, color tends to light gray, bottom of tank is visible.

From growth structure and increase in visibility it can be deduced that the biological process is working good to very good. The inflow is approx. 5 cbm per day, acc. to Jan.

Lamella separator:

No floats on top of separator, a lot of dark gray sludge on top of overflow pipe, and lamellas, still o.k..

Water marks on the sides show that the backflush is working properly, water level actually at middle of overflow pipe to hold tank o.k.. The increase in backwashing time seems to work.

The hold tank shows about 4 cm of sludge in the right corner, acc. to Jan no cleaning in the last five months, no increase in thickness in the last month.

Color: yellow brown on top, dark brown at the bottom, which means that there is no anaerobic process. The upbuilding of sludge is rather high but tolerable, advice: clean tank if necessary or wanted for estetical reasons, there is no impact of sludge on uv-disinfection detectable and the amount of sludge in the treated water tank is negligible. Details see below.

Changed the fixing of the aluminium structure, to prevent sliding.

No cleaning of filter, so the test for the increase in backwash water is not interrupted

Ultraviolet – disinfection

The device is working, reading about 138 %, rather low. After removing chalk residue from quartz-pipe reading is up to 223 %. After consulting the manufacturers manual, we agreed not to change the lamp until reading is 100 % or below. Manual: at least 40 %. We will be still on the safe side, even considering that the figure given is for fresh water. Cycles: 857, no leaks. Alarm test: o.k.

Feed pump: o.k. 1244,2 hours running time, 10721 cycles

Treated water tank

Sensor: o.k., found another small piece of metal (wire rest) in the plug, reading: o.k.

Additional potable water supply starts/stops automatically.

No sludge in the first tank.

Little sludge in the second tanks back half, thickness up to 2cm approx. normal after 1500 cbm.

Drained and cleaned the separator chamber, no sludge upbuilding at the bottom.

Drained and cleaned the second tank

Booster system:

Pump inspection: o.k.. Pump 1 137 hours-25083 cycles. Pump 2 134,6 hours- 25054 cycles, o.k.

Incut pressure 2,6 bar, o.k., cut off pressure 4 bar, o.k. Pressure sensor: reading o.k.

Meters: treated water: 579 cbm , potable water: 200 cbm, treated water meter at sink: 893 cbm, potable at sink: 7,3 cbm, energy consumption of plant: 3750 kwh equals 2.55 kwh/cbm, rather high due to simulation (sump pump), average in the last month: 2kwh/cbm (31.5-28.6)

Expansion vessel:

Should: 2,5 bar

Is : app. 2,5 bar - ok

Pipework:

o.k., no signs of corrosion, except for the fixing inside of the bio rotator, feed pipe graywater. The pipe from the sump pump is o.k..

Control unit and electrical work:

Control unit: o.k., no signs of corrosion, all SPS- modules work properly, no signs of failure. Compressor is running.

In general:

The consumption of treated water is rather high, compared to buildings in Germany, (40 liters/p/d/dk to 25-30liters/p/d/d) which may be because of the 9 liter cisterns used, we would advice to replace them with 6 liter cisterns when exchanging cisterns.

Protokoll by

Ralf Grehl

Bilag D: Brev fra Embedslægeinstitutionen

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 Nordhavnsgården.

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-rummenes 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 renssetank, 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 bleer 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 opformerer 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. Embedslægeinstitutionen 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 driftsuheld.

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

Med venlig hilsen

Anne Fabricius
Embedslæge

Bilag E: Måleprogram for karakterisering af gråt spildevand

Måleprogram for karakterisering af gråt spildevand

Anna Ledin, Eva Eriksson, Ann Marie Eilersen og
Mogens Henze
Miljø & Ressourcer DTU, Danmarks Tekniske Uni-
versitet.

Anders Dalsgaard
Institut for Veterinær Mikrobiologi, Kongelige Vete-
rinære Landbohøjskole.

maj 2001

1. Formål og baggrund

Formål med dette måleprogram er at komme med et forslag til hvordan man kan gennemføre 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.

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

Måleprogrammet vil blive gennemført i to trin: 1) En generel karakterisering af det grå spildevand fra samtlige gråvandsanlæg, inden vandet behandles i de respektive anlæg. Dette trin vil inkludere en række kemiske parametre og mikrobiologiske "standardparametre" (se nedenfor). I trin 2 skal prøveudtagning ske i såvel indløbet som udløbet fra behandlingsdelen af anlægget. Antallet af måleparametre der vil blive inkluderet i trin 2 vil være reduceret i forhold til trin 1. På baggrund af måleprogrammets trin 1, kan 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. Kun trin 1 er behandlet i detaljer i dette notat.

Resultaterne fra det samlede program til karakterisering (trin 1 + trin 2) vil kunne indgå som en del i en vurdering af de sundheds- og hygiejnemæssige risici ved genbrug eller nedsivning af gråt spildevand.

Dette måleprogram er blevet udviklet som et delprojekt inden for projektet "Undersøgelse af lokal håndtering af gråt spildevand" som blev finansieret af Miljøstyrelsen via "Aktionsplanen til fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning under Tema 4: Håndtering af regnvand og gråt spildevand". Idéen er at dette måleprogram skal gennemføres ved en koordinering af de kemiske og mikrobiologiske analyser, der vil blive foretaget i Tema 4 projekterne om gråt spildevand. Det er Miljøstyrelsens ønske, at samtlige projekter skal indgå i måleprogrammet, fremfor at der udpeges nogle "repræsentative" anlæg. En koordinering af projekterne vil sikre, at de mest relevante parametre bliver inkluderet, og at samtlige genererede analyseresultater fra alle projekter bliver håndteret på en sådan måde, at de kan sammenstilles og sammenlignes.

Måleprogrammets Trin 1 blev i maj 2000 godkendt af Miljøstyrelsen og Sundhedsstyrelsen. I august 2000 er måleprogrammets Trin 1 blevet gennemført på Bo90 anlægget på Nørrebro, København. Der er videre planlagt, som beskrevet i Trin 1, for projektet udført af firmaet TransForm. De andre oprindeligt udvalgte projekter er af forskellige årsager ikke blevet igangsat og der er derfor således ikke udført analyser ved disse projekter.

I forhold til tidligere versioner af måleprogrammet er denne version blevet suppleret med nogle parametre. Desuden er detaljeret information vedrørende specifikke Tema 4 projekter om gråt spildevand og analyseomkostninger fjernet.

2. Valg af analyseparametre

Blandt de udvalgte analyseparametre er inkluderet de traditionelle spildevandsparametre, der måler organiske iltforbrugende forbindelser (BOD og COD) og næringsstoffer (N, P og K), miljøfremmede stoffer (tungmetaller og organiske forureningskomponenter), samt en række mikrobiologiske parametre.

Analyserne foretages i 2 trin. Trin 1's analysepakke, 1a og 1b (a=kemiske og b=mikrobiologiske parametre), er fælles for alle projekter, mens Trin 2's analysepakke 2 a og 2b vil blive designet individuelt for hvert anlæg baseret på resultaterne af Trin 1's måleprogram samt påtænkt behandling af det grå spildevand, samt form for genanvendelse.

2.1. Traditionelle spildevandsparametre m.m.

De traditionelle spildevandsparametre, iltforbrugende organiske forbindelser og næringsstoffer, er blevet inkluderet, fordi de giver information om risici for iltsvind og dermed information om risici for f.eks. sulfiddannelse og/eller jernudfældning ved genbrug af vandet til f.eks. toiletskyl eller ved recirkulering i et vaskeri.

Derudover er målinger af sulfat- og sulfidindholdet inkluderet, for at kunne evaluere risici for lugtgener. Kvantificering af indholdet af suspenderet materiale, samt måling af turbiditet er også inkluderet, ligesom måling af pH og temperatur ved prøveudtagning. Disse data vil ligge til grund for vurdering af risici for driftsproblemer i anlægget, herunder af tilstopning af filtre.

For detaljer omkring hvilke stoffer der vil blive inkluderet i Analysepakke, 1a, henvises til Tabel 1.

2.2. Miljøfremmede stoffer

Et litteraturstudium (Eriksson m fl, 2001) viser, at der udover tungmetaller er ca. 900 forskellige organiske forbindelser eller grupper af forbindelser, der potentielt kan forekomme i det grå spildevand. Disse stoffer indgår i forskellige typer af rengørings-, vaske- og opvaskemidler samt i hygiejneprodukter, der bruges i husholdninger. Det er ikke muligt at måle for alle disse 900 stoffer/stofgrupper, og der er derfor foretaget et udvalg af de mest relevante.

Udvalgskriterierne for dette arbejde har været:

1. Forbindelser, der indgår på Miljøstyrelsens liste over prioriterede stoffer (Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 1 1998. Listen over uønskede stoffer).
2. Miljøfarlige organiske forbindelser der er blevet identificeret som prioriterede stoffer i litteraturstudiet (se Eriksson, m fl 2001).
3. Miljøfarlige stoffer, der kan dannes ved behandling i anlæggene. Disse analyser vil kun indgå i trin 2 af måleprogrammet.

Tabel 1. Analysepakke 1a; kemiske analyse parametre.

Stofgruppe	Inkluderede forbindelser	Begrundelse nr.
PH		Se tekst
Temperatur		Se tekst
Turbiditet		Se tekst
BOD		Se tekst
COD		Se tekst
NVOC		Som supplement til COD
NH ₄ ⁺ -N		Se tekst
NO ₃ ⁻ -N		Se tekst
N-tot		Se tekst
P-tot		Se tekst
Sulfat		Se tekst
Sulfid		Se tekst
Klorid		Se tekst
Suspenderet stof		Se tekst
Metaller	Cd, Hg, Pb, Ni, Cr, Cu, Zn, Ca, Mg, Al, Co, Mn, Mo, Sb, Sn, V, As, Ba, Fe,	2
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,	1
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	1
LAS	Sum af C ₁₀ -C ₁₄ -LAS.	1
Anioniske detergenter	Sum parameter	

Stofgruppe	Inkluderede forbindelser	Begrundelse nr.
Kationiske detergenter	Sum parameter	2
NPE'er	Nonylphenol, mono-, di-, tri-, tetra- og penta-nonylphenoletoxylaterne	1
Oktylphenoletoxylater	Oktylphenol, mono-, di-, tri-, tetra- og penta-oktylphenoletoxylaterne	1
Phenoler	Phenol, o-, m- og p- kresol	1
Klorphenoler	17 forskellige inklusiv 2,4-diklorphenol, 2,4,5- og 2,4,6-triklorphenol	2
AOX	Kun trin 2 af måleprogrammet	3
Olie/fedt	Kun i trin 2 af måleprogrammet	

De miljøfremmede stoffer/stofgrupper, der bør indgå i analyseprogrammets Trin 1, er vist i Tabel 1, ligesom begrundelse er givet for deres medtagelse i måleprogrammet.

2.3. Mikrobiologiske parametre

Ved udvælgelse af mikrobiologiske parametre er det vurderet, at det især er de mikrobielle populationer af fækal oprindelse som i gråt spildevand eventuelt kan udgøre sundheds- og hygiejnemæssige risici. Disse mikroorganismer kan bla. tilføres det grå spildevand ved håndvask efter toiletbesøg, afvaskning under badning, afvaskning af babyer og små børn ved bleskift eller ved direkte urinering i badet. Ved en vurdering og udvælgelse af parametrene vil der være et behov for at inddrage analyser af de enkelte organismers overlevelse og eventuelle opformering i rørsystem og opbevaringstanke herunder i biofilm. Sådanne undersøgelser er kun i begrænset omfang medtaget i dette måleprogram, herunder analyser af eventuel mikrobiel opformering i opbevaringstank for behandlet gråt spildevand (trin 2).

Analyser for mikrobiologiske parametre er opdelt i 2 programpakker: A) standardprogrammet (trin 1), der har til hensigt at beskrive gråt spildevand generelt, og B) specialparametre i trin 2, hvor undersøgelserne for disse har til hensigt at evaluere effektiviteten af en given spildevandsbehandling, fx biologisk rensning eller desinfektion. Specialparametre vil også undersøges i særlige situationer, hvor en given bebyggelse rummer særligt følsomme beboere, herunder ældre eller immunsvækkede patienter (eks. HIV-positive og hjertetransplanterede). Forekomst af specialparametre vil også skulle fastlægges i andre tilfælde omfattende bebyggelser eller offentlige bygninger (f. eks. lufthavne) med særlige smitekilder, som f.eks. flygtninge og indvandrere, der ofte rejser til deres hjemland i længere perioder, eller i det hele taget personer, der rejser meget til områder i udlandet med særlige sygdomme (østlande, U-lande).

De mikrobiologiske parametre, der indgår i standardprogrammet, er først og fremmest udvalgt under hensyntagen til traditionelle spildevandsparametre, dvs. total coliforme, *E. coli*, Enterokokker samt kimtal v. 37°C. og kimtal 21° C. Endvidere foretages målinger for *Salmonella* og *Campylobacter* spp. samt de vandrelaterede patogener: *Pseudomonas aeruginosa* og *Aeromonas hydrophila*. Med hensyn til protozoer, er der generelt et ringe kendskab til forekomsten af disse hos mennesker og især i miljøprøver i Danmark. Det bør dog nøje overvejes om måling af protozoer skal inkluderes i trin 2, da protozoer forventes at optræde i yderst lave antal.

Det skal fremhæves, at måleprogrammet ikke omfatter vira. En række vandbårne sygdomme, herunder en række maveinfektioner, kan skyldes vira af f.eks. Norwalk typen, der ofte overføres med fækal forurenet vand. Det er uvist, i hvilket omfang mavetarminfektioner med enterovirus er vandbårne i Danmark. Da der vil forekomme *E. coli* i gråt spildevand, er det af ringe værdi at undersøges for colifager, selv om de ofte benyttes som indikatorer for virus. Colifager vil således blot afspejle forekomsten af *E. coli* og vil muligvis endda blive opformeret i forbindelse med håndtering af gråt spildevand. Endvidere eksisterer der ikke egnede standardiserede metoder til undersøgelse for virus i gråt spildevand.

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

Parameter	Målemetode
Registrering, fortynding mv. <i>E. coli</i>	Ifølge gældende standarder ISO/DIS 9308/1 10/100 ml
Enterokokker (fækale streptokokker)	ISO/DIS7899-2 (membranfiltrering) 10/100
Kimtal ved 37°C, blodagar, incl. antal hæmolytiske bakterier, men ikke identifikation	DS 2217/1 10/100 ml
Kimtal ved 22°C, <i>Total koliforme bakterier</i>	DS /EN 622/1 ISO/DIS 9308/1 10/100 ml
<i>Salmonella</i> spp. (10 ml)	DS 266-1;ret 1 Trin 1 Trin 2-3
<i>Pseudomonas aeruginosa</i>	DS 268/1 10/100 ml Trin 1 Trin 2
<i>Campylobacter</i> (10 ml)	NMKL 119/1
<i>Aeromonas hydrophila</i> (10 ml)	NMKL 150-2
Koagulase-positive stafylokokker	NMKL 66-3
Legionella	DS/F 39737, år 2000.

I trin 2 vil der blive analyseret for *Clostridium perfringens*, som er sporedanner og derfor udviser betydelig større resistens overfor miljøpåvirkninger end de fleste andre mikroorganismer. Sporerne fra *C. perfringens* vil således kunne

bruges som en indikator på kumulativ fækal forurening. *C. perfringens* vil desuden kunne benyttes som en konservativ indikator for effektiviteten af forskellige desinfektions- og behandlingsmetoder. I denne sammenhæng skal det nævnes, at protozoerne *Giardia* og især *Cryptosporidium* udviser stor modstandsdygtighed over for kemiske desinfektioner, herunder f.eks. klorering.

I trin 2 af måleprogrammet kan det som tidligere omtalt yderligere overvejes om specielle parametre skal inkluderes, f.eks. i de tilfælde, hvor der i den undersøgte bebyggelse bør tages særlige hensyn enten pga. svage patienter eller pga. øget risiko for specifikke sygdomme. Særlige programmer kan sammensættes med henblik på at undersøge disse forhold. Det kan således komme på tale at undersøge for parasitter: ormeæg (rundorm, børneorm) eller særlige virus som fx. *Hepatitis* (leverbetændelse). *Legionella* er en relevant parameter der generelt bør undersøges for, herunder når gråvandet anvendes på en måde, hvor der kan dannes aerosoler.

I de tilfælde hvor en given behandlingsmetode skal evalueres, kan bakteriofager eventuelt benyttes som model for vira. Et sådant valg er afhængig af at der foreligger en af Miljøstyrelsen godkendt metode.

Med hensyn til andre tarmbakterier end *Salmonella*, *Campylobacter* spp. og *E. coli*, f. eks. *Shigella* eller *Yersinia* forventes det, at disse smitstoffer viser samme overlevelse som de først nævnte parametre. Selv om der i Danmark er påvist 77 tilfælde af tyfus (*Salmonella typhi*) og 54 tilfælde af paratyfus (*Salmonella paratyphi*) fra 1995-1998, er kun et fåtal af disse erhvervet i Danmark, hvilket næppe umiddelbart berettiger til at inkludere disse parametre i et måleprogram. Størstedelen af tilfældene er indvandrere, der har været på besøg i deres hjemlande eller været på turistrejse.

Tabel 3. Forslag til mikrobiologiske parametre i trin 2, der sammen med udvalgte parametre i Tabel 2 kan indgå i analysepakke 2b.

Parameter	
Indikatorbakterier	<i>Clostridium perfringens</i>
Parasitter	Ormeæg (rundorm, børneorm) Protozoer <i>Giardia</i> og <i>Cryptosporidium</i>
Virus	<i>Hepatitis</i> (leverbetændelse) Enterovirus (Norwalk, Adenovirus)
Særlige bakterier	Udvælges på baggrund af undersøgelserne foretaget i trin 1, og ud fra hvad gråvandet skal bruges til

Det forventes at følgende parametre fra trin 1 (tabel 2) vil indgå som vigtige analyseparametre i trin 2: *Legionella* spp., koagulase-positive stafylokokker; enterokokker; og kimtal ved 22°C og 37°C. Disse og eventuel andre parametre (Tabel 2) forventes at skulle analyseres i en række forskellige spildevandstyper i trin 2, herunder prøver af ubehandlet gråtspildevand, behandlet spildevand (eksempelvis efter biologisk filtrering), fra opbevaringstank af behandlet spildevand, samt efter desinfektion (eksempelvis klorinering og UV behandling).

3. Forslag til analyseprogram

For at få mere viden om den kemiske og mikrobiologiske sammensætning af forskellige typer af gråt spildevand foreslås det, at der foretages en indledende undersøgelse for samtlige parametre i Tabel 1 og 2 (Analysepakke 1a og 1b). Målingerne udføres som analyser af prøver af ubehandlet spildevand udtaget fra indløbet til behandlingsanlægget. Antallet af prøver der skal analyseres i de enkelte projekter vil variere og der bør om muligt udtages blandingsprøver opsamlet over en længere tidsperiode ("flow proportional" prøver). Det skønnes, at der med analyserne af ubehandlede spildevandsprøver i Trin 1 vil opnås en bred viden om de kemiske og mikrobiologiske sammensætninger af forskellige typer af gråt spildevand. Trin 2 af måleprogrammet vil derefter primært skulle fastlægge effektiviteten af behandlingen i de forskellige behandlingsanlæg.

Efter vurdering af resultaterne fra måleprogrammets Trin 1 vil der blive foreslået nye individuelle analysepakker (2a og 2b) baseret på den planlagte spildevandsbehandling, opbevaringsteknologi af behandlet spildevand, samt genanvendelse i de forskellige projekter.

4. Prøveudtagning og valg af analysemetode

Prøveudtagning skal ske i flasker der tilvejebringes fra analyselaboratoriet og eventuel konservering skal ske efter deres instruktioner ifølge gældende standarder. Ved prøveudtagningen skal der måles pH, temperatur, ledningsevne, koncentration af ilt og sulfid.

For de fysiske og kemiske analyserne vælges den analysemetode som laboratoriet har akkreditering for.

5. Referenser

Eriksson, E., Auffarth, K. Henze, M. og Ledin, A. (2001). Characteristics of grey wastewater. (Submitted til J Urban Water).

Bilag F: Oversigt over prøveudtagning

OVERSIGT OVER PRØVEUDTAGNING.

Prøver udtaget af Rovesta Miljø I/S								
	02.10.01	09.10.01	11.03.02	19.03.02	30.05.02	10.10.02	16.10.02	21.10.02
A2	• Screeningsparametre for kemi og mikrobiologi	• Screeningsparametre for kemi og mikrobiologi	• Screeningsparametre for mikrobiologi • Fase 2 parametre for kemi	Temp. Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer	• Screeningsparametre for mikrobiologi • Fase 2 parametre for kemi			
A3			Kimtal 22 og 37°C Hæm. Bakt. Enterococcer Ps. aeuruginosa		Kimtal 22 og 37°C Hæm. Bakt. Enterococcer			
A4								
A5			Kimtal 22 og 37°C Hæm. Bakt. Enterococcer Ps. aeuruginosa		Kimtal 22 og 37°C Hæm. Bakt. Enterococcer	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer
A6			Kimtal 22 og 37°C Hæm. Bakt. Enterococcer Ps. aeuruginosa		Kimtal 22 og 37°C Hæm. Bakt. Enterococcer	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer
A7	<i>Orienterende analyse:</i> Kimtal 22 og 37°C Hæm. Bakt. Enterococcer Ps. aeuruginosa	<i>Orienterende analyse:</i> Kimtal 22 og 37°C Hæm. Bakt. Enterococcer Ps. aeuruginosa	• Screeningsparametre for mikrobiologi • Fase 2 parametre for kemi	Temp. Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer	• Screeningsparametre for mikrobiologi • Fase 2 parametre for kemi	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer
Cisterner Drikkevand					Kimtal 22 og 37°C Hæm. Bakt.	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer
Cisterner Renset gråvand					Kimtal 22 og 37°C Hæm. Bakt. (2 stk.)	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer	Kimtal 22 og 37°C Coliforme bakt. Termotol. Colif. bakt. Enterococcer

Bilag G: Resultater af den kemiske screening

Parameter	Enhed	Dato og prøveindsamlingssted	
		02-10-2001	09-10-2001
		A2	A2
Temperatur, målt i felt	°C	23	-
Turbiditet	FTU	18	36
PH		7,83	7,94
Biokemisk iltforb. B15 mod.	mg O2/l	70	60
Kemisk iltforbrug COD (Cr)	mg O2/l	150	100
Ammonium-nitrogen	mg N/L	6,65	6,16
Nitrat-nitrogen	mg N/L	<0,1	<0,1
Nitrogen, total	mg N/L	13	12
Suspenderet stof	mg/L	290	39
NVOC(ikke flygt.org.kulstof)	mg C/L	19	18
Olie + fedt	mg /L	19	12
Chlorid	mg CL/L	85	82
Sulfat	mg SO4/L	76	87
Sulfid	mg/L	6,2	11
METALLER:			
Metalanalyse, forbeh., ICP+HGA	+		
Calcium	mg Ca/L	110	110
Cadmium	µg/L	0,056	0,116
Magnesium	mg /Mg/L	22	19
Aluminium	µg/L	117	104
Natrium	mg Na/L	58	55
Arsen	µg/L	2,64	2,55
Kalium	mg K/L	6,0	6,1
Kobber	µg/L	9,17	9,69
Jern, total	mg Fe/L	21	27
Cobolt	µg/L	0,329	0,242
Chrom, total	µg/L	2,22	2,87
Bly	µg/L	0,614	0,817
Vanadium	µg/L	0,543	0,35
Zink	µg/L	190	210
Mangan	mg /Mn/L	1,56	1,73

Nordhavnsgrården
Gravandsanlæg – Kemiske Screeningsparametre

Parameter	Enhed	Dato og prøveindsamlingssted	
		02-10-2001	09-10-2001
		A2	A2
Nikkel	µg Ni/L	2,04	2,23
Kviksølv	µg Hg/L	0,125	0,257
Svovl, total	mg/L	29	32
Phosphor	mg/L	852	1016
Barium	µg/L	36,2	39,2
Molybdæn	µg/L	8,28	7,23
Tin	µg/L	3,37	2,61
CHLOREREDE KUL- BRINTER:			
Dichlormethan	µg/L	<1	<1
trans-1, 2-dichlorethylen	µg/L	<0,1	<0,1
1,1-Dichlorethan	µg/L	<0,1	<0,1
cis 1,2-dichlorethylen	µg/L	<0,1	<0,1
1,2-dichlorethan	µg/L	<1	<1
Thichlormethan (chloroform)	µg/L	<0,1	<0,03
1,1,1-trichlorethan	µg/L	<0,1	<0,02
1,1,2-thrichlorethan	µg/L	<1	<1
Tetrachlormethan	µg/L	<0,1	<0,02
Trichlorethylen	µg/L	<0,02	<0,02
Tetrachlorethylen	µg/L	<0,02	<0,02
1,2-diklorpropan	µg/L	<1	<1
DETERGENTER:			
Anioniske detergenter	µg/L	1400	1300
Kationiske detergenter	µg/L	<0,10	0,10
AOX (adsorberbar org. Halogen)	µg/L	15	21
LAS (sum af C10-C14-LAS)	µg/L	400	240
NONYPHENOLER:			
Nonyphenol	µg/L	0,6	0,5
Nonylphenolmonoethoxylater	µg/L	<0,10	<0,10
Nonylphenoldiethoxylater	µg/L	<0,10	<0,10
Sum af nonylphenoler	µg/L	0,6	0,5

Parameter	Enhed	Dato og prøveindsamlingssted	
		02-10-2001	09-10-2001
		A2	A2
Octylphenol	µg/L	<0,50	<0,50
Nonylphenoethoxylater	µg/L	<20	<20
Octylphenoethoxylater	µg/L	<20	<20
PHENOL OG CHLORPHENOLER:			
Phenol	µg/L	18	6,4
2-methylphenol	µg/L	<0,05	0,08
2-methylphenol	µg/L	<0,05	<0,05
4-methylphenol	µg/L	55	30
2,6-dimethylphenol	µg/L	<0,05	<0,05
2,5-dimethylphenol	µg/L	<0,05	<0,05
2,4-dimethylphenol	µg/L	<0,05	<0,05
3,5-dimethylphenol	µg/L	<0,05	<0,05
2,3-dimethylphenol	µg/L	<0,05	<0,05
3,4-dimethylphenol	µg/L	<0,05	<0,05
4-chlor-2-methylphenol	µg/L	<0,05	<0,05
2,6-dichlorphenol	µg/L	<0,05	<0,05
2,4-dichlorphenol	µg/L	<0,05	<0,05
2,4,5-Trichlorphenol	µg/L	<0,05	<0,05
2,4,6-trichlorphenol	µg/L	<0,05	<0,05
2,3,4,6-tetrachlorphenol	µg/L	<0,05	<0,05
Pentachlorphenol	µg/L	<0,05	<0,05
BLØDGØRERE:			
Di-cycloxyphthalat	µg/L	<0,10	<0,10
Diethylphthalat	µg/L	17	12
Di-isobutylphthalat	µg/L	1,5	0,79
Dimethylphthalat	µg/L	0,96	0,35
Di-n-butylphthalat	µg/L	<0,50	<0,50
Di-n-propylphthalat	µg/L	<0,10	<0,10
Benzylbutylphthalat	µg/L	<0,10	<0,10
Di (2-ethylhexyl)-phthalat	µg/L	15	16
Di-pentylphthalat	µg/L	<0,3	<0,5

Nordhavnsgrården
Grāvandsanlæg – Kemiske Screeningsparametre

Parameter	Enhed	Dato og prøveindsamlingssted	
		02-10-2001	09-10-2001
		A2	A2
Kimtal v/22°C (TGA)	pr. ml.	6300000	1900000
Kimtal v/37°C Blodagar)	pr. ml.	1100000	450000
Hæmolytiske bakt. antal	pr. ml.	<10	<10
Aeromonas, bev.arten (tr.1-2)	pr. ml.	210000	210000
Coliforme bakterier	pr. ml.	17000	2700
E.coli (tr.1-2)	pr. ml.	120	<100
Enterococcer (biomasse)	pr. ml. (gram)	<100	<100
Campylobact.jej./coli (trin 1)	pr. 100 ml.	<1	<1
Clostridium perfr.-sporer	pr. ml.	<10	<10
Legionella	pr. liter	<100	<1000
Legionella serogruppe	pr. liter	-	-
Pseud.aeruginosa, biomas (tr 1-2)	pr. ml.	7	190
Salmonella-bakt. (trin 1)	pr. 100 ml.	<10	<10
Staph.,koag.pos,biomas (tr 1-2)	pr.ml.	<100	4200

Bilag H: Mikrobiologiske resultater af anlæggets behandlingseffekt

Lokalitet	Dato	Coliforme Bakterier (pr. 100 ml)	Termotolerante coliforme bakterier (pr. 100 ml)	Enterokokker (pr. 100 ml)	Kimtal ved 22°C (pr. ml)	Kimtal ved 37°C (pr. ml)
Ubehandlet gråt spildevand (A2)						
A2	07-05-2002	1418000	272700	172700	1500000	3090000
A2	10-05-2002	681800	290000	70000	4000000	3818000
A2	13-05-2002	581800	481800	1100000	3700000	6600000
A2	15-05-2002	672700	636300	72700	1100000	820000
A2	17-05-2002	354500	281800	54500	3600000	1280000
A2	21-05-2002	209000	100000	127000	2450000	3000000
Biologisk behandlet vand (A3)						
A3	07-05-2002	2000	2000	1000	16000	14540
A3	10-05-2002	4818	727	200	11800	2000
A3	13-05-2002	3909	1636	3500	18180	16360
A3	15-05-2002	9000	5727	500	28000	90000
A3	17-05-2002	<100000	3600	270	84000	88000
A3	21-05-2002	909	1900	400	26360	18000
Efter sekundær sedimentering og sandfilter (A5)						
A5	07-05-2002	1900	1666	550	530	4900
A5	10-05-2002	2047	500	<100	3445	5900
A5	13-05-2002	1636	1300	500	11900	21800
A5	15-05-2002	2000	3520	300	23600	8000
A5	17-05-2002	1860	2000	100	34500	36360
A5	21-05-2002	250	190	100	7900	6100
A5	22-05-2002	n.a	n.a	n.a	5500	7700
A5	23-05-2002	n.a	n.a	n.a	10700	8200
Efter UV-behandling (A6)						
A6	07-05-2002	<100	<100	<100	15	20
A6	10-05-2002	<100	<100	<100	3	1
A6	13-05-2002	<100	<100	<100	15	4
A6	15-05-2002	<100	<100	<100	15	7
A6	17-05-2002	<100	<100	<100	22	27
A6	21-05-2002	<100	<100	<100	25	34
A6	22-05-2002	n.a	n.a	n.a	11	15
A6	23-05-2002	n.a	n.a	n.a	20	23
Behandlet vand fremført til toiletter (A7)						

Lokalitet	Dato	Coliforme Bakterier (pr. 100 ml)	Termotolerante coliforme bakterier (pr. 100 ml)	Enterokokker (pr. 100 ml)	Kimtal ved 22°C (pr. ml)	Kimtal ved 37°C (pr. ml)
A7	07-05-2002	<100	<100	<100	200	50
A7	10-05-2002	<100	<100	<100	1100	282
A7	13-05-2002	<100	<100	<100	2636	1990
A7	15-05-2002	<100	<100	<100	7454	130
A7	17-05-2002	<100	<100	<100	1090	754
A7	21-05-2002	<100	<100	<100	870	372
A7	22-05-2002	n.a	n.a	n.a	300	330
A7	23-05-2002	n.a	n.a	n.a	277	200

n.d Not
detected
n.a Not
analysed