

Membranfiltrering til rensning af gråvand for vandgenbrug i ejendomme

Membranfiltrering til rensning af gråvand for vandgenbrug i ejendomme

Michael Hjorteberg
Carl Bro Gruppen

Anders Dalsgaard
DanVet Consult

Jens Møller
Uniq Enviro A/S

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

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

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

Indhold

| | |
|---|-----------|
| FORORD | 5 |
| BAGGRUND OG FORMÅL | 7 |
| UNDERSØGELSEN | 7 |
| PROJEKTRESULTATER | 8 |
| ANBEFALING | 9 |
| SUMMARY AND CONCLUSIONS | 11 |
| BACKGROUND AND OBJECTIVE | 11 |
| THE TEST | 11 |
| PROJECT RESULTS | 12 |
| RECOMMENDATION | 13 |
| 1 INDLEDNING | 15 |
| 1.1 PROJEKTETS FORMÅL | 15 |
| 1.2 PROJEKTETS BAGGRUND | 15 |
| 1.3 IDENTIFIKATION AF EJENDOMME TIL FORSØG | 15 |
| 1.4 OPRINDELSE OG TYPE AF GRÅVAND TIL FORSØG | 16 |
| 1.5 FORSØGSANLÆG | 16 |
| 2 AFGRÆNSNING AF PROJEKTET | 18 |
| 3 GENERELLE ANALYSE PARAMETRE FOR GRÅVAND | 19 |
| 3.1 MÅLEPROGRAM FOR KARAKTERISERING AF GRÅT SPILDEVAND | 19 |
| 3.1.1 Fysiske parametre | 19 |
| 3.1.2 Kemiske forureninger | 20 |
| 3.2 MIKROORGANISMER | 20 |
| 3.2.1 Indikatorbakterier | 20 |
| 3.2.2 Enterokokker | 21 |
| 3.2.3 Coliforme bakterier | 21 |
| 3.2.4 Termotolerante coliforme og E. coli | 21 |
| 3.2.5 Antal udskilte indikatorbakterier fra mennesker | 22 |
| 3.2.6 Kimtal v/37C° og 22C°, samt antal hæmolytiske kim ved 37°C | 22 |
| 3.2.7 Bevægelige Aeromonas spp. og Pseudomonas aeruginosa | 23 |
| 3.2.8 Clostridium perfringens | 23 |
| 3.2.9 Koagulase-positive stafylokokker | 23 |
| 3.3 SYGDOMSFREMKALDENDE BAKTERIER | 24 |
| 3.3.1 Salmonella og Campylobacter | 24 |
| 3.3.2 Legionella | 24 |
| 3.4 ANDRE SMITSTOFFER | 24 |
| 3.4.1 Virus og parasitter | 24 |
| 4 MÅLEPROGRAM, TRIN 1: INDLEDENDE SCREENING | 25 |
| 4.1 INDLEDENDE TESTUNDERSØGELSE AF FORSKELLIGE TYPER NANO- OG ULTRAFILTRE | 25 |
| 4.2 PILOTFORSØG MED NANOFILTRERING - KEMISKE OG MIKROBIOLOGISKE ANALYSE PARAMETRE OG RESULTATER | 27 |
| 4.2.1 Analyseparametre og analyser | 28 |
| 5 MÅLEPROGRAM, TRIN 2: RENSNINGSEFFEKT AF ANLÆG | 31 |

| | | |
|-------|--|-----------|
| 5.1 | PRØVEUDTAGNINGSTEDER OG PRØVETYPEN | 31 |
| 5.2 | VALG AF PARAMETRE TIL UNDERSØGELSE AF ANLÆGGETS BEHANDLINGSEFFEKT | 31 |
| 5.3 | RESULTATER AF MIKROBIOLOGISKE ANALYSER | 32 |
| 5.4 | FORSØGSANLÆG – OPBYGNING OG DRIFTSPARAMETRE UNDER FORSØG | 35 |
| 5.4.1 | <i>Membrananlæg</i> | 35 |
| 5.4.2 | <i>UV-lys anlæg</i> | 35 |
| 5.4.3 | <i>Membranens tæthed</i> | 36 |
| 5.4.4 | <i>Membranfilteranlæggets kapacitet</i> | 36 |
| 6 | MEMBRANANLÆG – VURDERING AF TEKNIK OG ØKONOMI | 38 |
| 6.1 | DRIFTSMÆSSIGE FORHOLD | 38 |
| 6.2 | MEMBRANFILTERANLÆG – FUNKTION OG OPBYGNING | 38 |
| 6.2.1 | <i>Funktion</i> | 38 |
| 6.2.2 | <i>Opbygning af standard membrananlæg</i> | 39 |
| 6.3 | BEREGNET BEHANDLINGSPRIS FOR VANDGENBRUG | 40 |
| 7 | KONKLUSION OG ANBEFALINGER | 42 |
| 7.1 | KONKLUSION | 42 |
| 7.2 | ANBEFALING | 43 |
| | REFERENCER | 44 |

Bilag A : Måleprogram for karakterisering af gråt spildevand
 Bilag B : Skema for fjernelse af partikler i membrananlæg

Forord

Denne rapport præsenterer resultaterne af projektet "Forsøg med membranfiltrering til rensning af gråvand for vandgenbrug i ejendomme", som er finansieret af Miljøstyrelsen i forbindelse med projekterne, der er igangsat under Aktionsplanens 4. tema: "Håndtering af regnvand og gråt spildevand".

Formålet med projektet har været at dokumentere renseseffekten for ultra- og nanofiltrering på forsøgsanlæg i kombination med UV-lys behandling til genanvendelse af gråt spildevand (= gråvand) til toiletskyl mv. Renseeffekten vurderes ud fra kemiske- og mikrobiologiske parametre, og for membranlægget beskrives de tekniske muligheder og økonomi.

Projektet er gennemført af Michael Hjorteberg (Projektleder) og Roald Thor Jørgensen fra Carl Bro Gruppen, Ekspertisecenter Spildevand. Anders Dalsgaard, DanVet Consult har været konsulent vedrørende de mikrobiologiske undersøgelser.

Projektet har været fulgt af en styregruppe bestående af følgende personer:

Linda Bagge, Miljøstyrelsen
Anders Dalsgaard, DanVet Consult
Michael Hjorteberg, Carl Bro Gruppen

Der skal rettes en tak til Jens Møller fra UniqEnviro A/S for at deltage og stille pilotanlæg til rådighed for nærværende projekt.

Sammenfatning og konklusioner

Baggrund og formål

Det blev konstateret, at flere ejendomme i forbindelse med genanvendelse af rensset gråvand enten havde nedlagt det etablerede biologiske renseanlæg eller ikke havde fået det biologiske renseanlæg etableret endnu. For at få afprøvet en anden rensemetode, der allerede benyttes i forbindelse med rensning af spildevand i levnedsmiddelindustrien med krav til lav kemisk og mikrobiologisk forurening, blev det aftalt at afprøve et mekanisk membranfilteranlæg på ejendomme med dobbelt rørsystem, hvor der var mulighed for at udtage gråt spildevand.

Undersøgelsen blev iværksat med det overordnede formål at dokumentere den opnåede renseseffekt på gråvand fra ejendomme ved gennemførelse af pilotforsøg med et membranfilteranlæg i kombination med UV-lys behandling, med henblik på genanvendelse af det rensede gråvand til toiletskyl mv. i ejendomme. Renseeffekten for pilotforsøg med membranfilteranlægget vurderes ud fra kemiske og mikrobiologiske parametre, og for anlægget beskrives de tekniske muligheder og behandlingspris.

Undersøgelsen

Membranfilteranlæg

Membrananlægget var af typen M38 og udført i en standardenhed med filterplader (plade- & rammetyper). Hver filterplade har et filterareal på 0,15 m². Kapaciteten (flux'en) på pilotanlægget for rensset vand var typisk 30-50 l/m² x time. I dette pilotforsøg blev anvendt 4 filterplader svarende til et filterareal på 0,6 m².

Fordelen ved at anvende filterplader i pilotforsøget er, at mange forskellige membrantyper er til rådighed for test, og at systemet kan adskilles og membraner inspiceres.

Forsøg

Forsøget blev gennemført med gråt spildevand hentet fra en ejendom i København, og forsøgene blev gennemført på leverandørens fabrik i Nakskov.

Der blev gennemført screeningsforsøg for at vælge membrantypen med størst renseseffektivitet for suspenderet stof og turbiditet. Nanofiltrering blev undersøgt i trykintervallet 5,5-6 bar og ultrafiltrering i trykintervallet 1-1,5 bar.

Nanofiltreringen havde den bedste renseseffekt og blev udvalgt til brug i pilotforsøget, hvor renseseffekten blev undersøgt for alle kemiske og mikrobiologiske parametre inkluderet i Trin 1 af måleprogram for gråt spildevand.

Den opnåede rensesgrad af nanofiltreringen var mellem 95-98%, hvorfor det blev aftalt at gennemføre et forsøg med fjernelse af den mikrobiologisk forurening med nano- og ultrafiltrering i kombination med UV-lys behandling. Undersøgelsen afgrænses til at omfatte rensning af gråt spildevand ved analyser for kimalt dyrket ved 22°C og 37°C.

Projekteresultater

Rensning

Trin 1 – Nanofiltrering:

Rensningsgraden for de kemiske parametre i pilotanlægget var mellem 50–95%, hvorimod der ikke fandtes nogen rensningseffekt for mængden af organisk stof, som var 20 mg/l (BOD). Det rensede vand havde et indhold af suspenderet stof på 1,8 mg SS/l, turbiditeten var 0,63 FTU og COD på 37 mg/l. Reduktionen i antal bakteriekim var 89,8-99,9%. Der fandtes dog højere kimtal i filtreret gråt spildevand end forventet. Dette kan skyldes, at det filtrerede grå spildevand blev opbevaret i en ikke-steril beholder, hvorfra prøver til analyser blev udtaget.

Trin 2 – Nanofiltrering og UV-lys behandling:

I undersøgelsens trin 2 blev reduktionen af kimtal fastlagt efter kombineret nano- og ultrafiltrering og UV-lys behandling. Der kunne ikke påvises bakterier i 12 ud af 16 prøver af UV-lys behandlet gråt spildevand (<1 cfu pr. ml). Øvrige prøver indeholdt 1-2 cfu pr. ml. Det behandlede grå spildevand indeholdt således få eller ingen kim v/ 22°C og 37°C og kan dermed opfylde de mikrobiologiske krav til kimtal i drikkevand.

Gråt spildevand behandlet med nanofiltrering eller ultrafiltrering uden efterfølgende UV-lys behandling indeholdt få kim v/ 22°C og 37°C (<100 cfu pr. ml).

Forsøgene viste en markant reduktion i kimtal, hvorfor begge membrantyper (nano- og ultrafiltrering) må anses for velegnet til brug i forbindelse med rensning af gråvand til vandgenbrug.

Dimensionering

For nanofiltermembran HL 51 er der på gråt spildevand målt en lille stigning i flux og et konstant flux/bar-forhold i intervallet 2-6 bar. Dette betyder, at tilstopningen af denne membran ikke ændrer sig i dette trykinterval. Det forventes, at dimensioneringen af kapaciteten (flux'en) vil ligge i intervallet 15-30 l/m² x h.

For ultrafiltermembran JW 30 er der på gråt spildevand målt et stigende og et faldende flux/bar-forhold i intervallet 1-3,5 bar. Dette betyder, at tilstopningen af denne membran er stigende i dette trykinterval. Det forventes, at dimensioneringen af kapaciteten (flux'en) vil ligge i intervallet 30-40 l/m² x h.

På baggrund af pilotforsøgene med gråvand vurderes det, at membranfilteroverfladen skal renses med rengøringsmiddel hver 14. dag.

Ved UV-lys behandlingsanlæg skal der benyttes en lyskilde med bølgelængde på 254 nm og en effekt på 40 mW/cm².

Prisforhold

Behandlingsprisen for den opnåede rensning af gråvand i det mindste standard membranlæg med en kapacitet (flux) på 1 m³/time er beregnet til 12 kr./m³ ved 100% udnyttelse. Økonomisk vurderet kan det mindste membranlæg umiddelbart være interessant at udnytte i større ejendomskomplekser på 50 - 100 lejligheder, hvorimod der kræves yderligere optimering af de eksisterende membranlæg, før det på nuværende tidspunkt bliver økonomisk interessant for ejendomme med mindre end 50 lejligheder.

Anbefaling

Med de opnåede markante reduktioner i kimal anbefales det at benytte membranteknologien i kombination med UV-lys behandling til rensning af gråvand fra ejendomme med henblik på genanvendelse.

Afhængig af påtænkte genanvendelser kan det anbefales at gennemføre egentlige risikovurderinger. Myndighederne bør også fastsætte kvalitetskrav til rensset gråvand, som ønskes genanvendt.

Det vil være ønskeligt at etablere et egentligt forsøgsanlæg med henblik på at undersøge membranlægget i kontinuerlig drift. Det vil være hensigtsmæssigt, at opstille et membranlæg i en eller flere ejendomme, som har etableret rørføringer til opsamling af gråt spildevand og evt. tidligere har haft genbrug af gråt spildevand.

Hvis der kan opnås lignende resultater ved kontinuerlig anlægsdrift, som opnået i denne undersøgelse anbefales det, at der på dette grundlag udarbejdes en egentlig vejledning for dimensionering og drift af membranlæg.

Med den effektive rensning og lave behandlingspris for eksisterende membranlæg i forhold til gældende vand- og afledningspris vil der være gode udviklingsperspektiver for danske leverandører ved at gå ind i at udvikle/optimere membranlæg til større og mindre ejendomme. Membrananlæggene vil være konkurrencedygtige i forhold den forventede stigende vandpris pga. den knappe vandressource i både Europa og den øvrige verden.

Summary and conclusions

Background and objective

In connection with reuse of treated grey wastewater, it had been established that several properties had either stopped using the biological treatment plant already installed or had not had the treatment plant installed yet. In order to test another treatment method already used in connection with treatment of process water within the agri-food industry which requires low chemical and microbiological pollution, it was arranged to test a mechanical membrane filtration plant at properties with double piping system where it was possible to take samples of grey wastewater.

The general objective of the test was to document the achieved treatment reduction on grey wastewater from properties by means of a pilot test with a membrane filtration plant combined with UV light treatment with a view to reuse of the treated grey wastewater for toilet flushing etc. in properties. The treatment reduction of the pilot test with the membrane filtration plant is evaluated on the basis of chemical and microbiological parameters, and the technical possibilities and the treatment price of the plant are described.

The test

Membrane filtration plant

The membrane filtration plant was of the M38 type in a standard unit with filter plates (plate & frame type). Each filter plate has a filter area of 0.15 m². The capacity (flux) of the pilot plant for purified water was typically 30-50 l/m² x hour. In this pilot test, four filter plates were used, corresponding to a filter area of 0.6 m².

The advantage of using filter plates in the pilot test is that many different membrane types are available and that the system can be dismantled and membranes examined.

Pilot test

The test was conducted at the supplier's factory in Nakskov with grey wastewater from a property located in Copenhagen.

A screening test was conducted to find the membrane type with the highest treatment reduction for suspended matter and turbidity. Nanofiltration was tested in the pressure interval from 5.5 to 6 bar and ultrafiltration in the interval from 1 to 1.5 bar.

The nanofiltration gave the highest treatment reduction and was then selected for the pilot test in which the treatment reduction was examined for all chemical and microbiological parameters according to Step 1 of the analytical program for grey wastewater.

The achieved treatment reduction of the nanofiltration was between 95 and 98%. It was therefore decided to conduct a test with removal of the

microbiological pollution by means of nanofiltration and ultrafiltration combined with UV light treatment. The test only covers treatment of grey wastewater by analyses for total viable bacteria grown at temperatures of 22° and 37°C.

PROJECT RESULTS

Treatment efficiency

Step 1 - Nanofiltration

The degree of treatment for the chemical parameters in the pilot plant was between 50 and 95% whereas there was no treatment reduction for the amount of organic matter of 20 mg/l (BOD). The treated grey wastewater had a content of suspended matter of 1.8 mg SS/l, the turbidity was 0.63 FTU and the COD 37 mg/l. The reduction in total viable counts was 89.8 to 99.0%. However, the bacterial counts found in filtered grey wastewater were higher than expected. The reason may be that the filtered grey wastewater was kept in a non-sterile container from which the samples for analyses were taken.

Step 2 - Nanofiltration and UV light treatment

In step 2 of the test, the reduction in the bacterial counts was determined after combined nanofiltration, ultrafiltration and UV light treatment. Bacteria was not detected in 12 out of 16 samples of UV light treated grey waste water (<1 cfu per ml). The other samples contained 1-2 cfu per ml. The treated grey wastewater contained few or no bacteria following growth at 22° and 37°C and can consequently comply with the microbiological requirements for bacterial counts in drinking water.

Grey wastewater treated by means of nanofiltration or ultrafiltration without subsequent UV light treatment only contained micro-organismes at 22° and 37°C (<100 cfu per ml).

The tests showed a significant reduction in bacterial counts, and consequently both membrane types (nanofiltration and ultrafiltration) must be considered suitable for use in connection with treatment of grey wastewater for water reuse.

Design parameters

As regards the nanofilter membrane HL 51, a minor increase in the flux and a constant flux/bar ratio in the interval from 2 to 6 bar were measured on grey waste-water. This means that the blockage of the membrane does not change in this interval. It is expected that the capacity (flux) will be in the interval from 15 to 30 l/m² x h.

As regards the ultrafilter membrane JW30, an increasing and a decreasing flux/bar ratio in the interval of 1 to 3.5 bar were measured on the grey wastewater. This means that the blockage of the membrane is increasing within this pressure interval. It is expected that the dimensioning of the capacity (flux) will be in the interval from 30 to 40 l/m² x bar.

Based on the pilot tests with grey wastewater, it is assessed that the membrane filter surfaces must be cleaned with cleaning materials once every fortnight.

For UV light treatment plants, a light source must be used with a wavelength of 254 nm and a power of 40 mW/cm².

Treatment cost

The treatment cost for the achieved treatment of grey wastewater in the smallest size standard membrane plant with a capacity (flux) of 1 m³/hour is calculated to be 12 DKK/m³ at 100% utilization. From a financial point of view, the use of the smallest size membrane plant can be interesting in large housing complexes with 50-100 flats whereas further optimisation of the existing membrane plants will be necessary to make it financially cost effective, at present, for housing complexes with less than 50 flats.

Recommendation

Based on the significant reductions in bacterial counts, it is recommended that the membrane technology should be used in combination with UV light treatment for treatment of grey water from properties with a view to reuse.

Depending on the reuse contemplated, risk assessments are recommended. The authorities should also establish quality requirements for treated grey wastewater to be reused.

It would be advisable to establish a pilot plant in order to investigate the membrane plant in continuous service. It would be expedient to install a membrane plant in one or more properties, which have installed separate piping systems for collection of grey wastewater and have experiences with treatment and reuse of grey wastewater.

If it is possible to achieve similar results with the plant in continuous service as achieved in this test, it is recommended that instructions for dimensioning and operation of membrane plants should be prepared based on these results.

With the treatment efficiency and the low treatment price of membrane plant compared with current water and discharge prices, the development perspectives for Danish suppliers of starting developing/optimising membrane plants for housing complexes and single properties will be favourable. The membrane plants will be competitive compared with the expected increases in water prices because of the limited resources both in Europe and the rest of the world.

1 Indledning

1.1 Projektets formål

Denne undersøgelse er iværksat med det overordnede formål, at dokumentere den opnåede renseseffekt på gråvand fra ejendomme ved gennemførelse af pilotforsøg med et membranlæg i kombination med UV-lys behandling, med henblik på genanvendelse af det rensede gråvand til toiletskyl mv. i ejendomme. Renseeffekten vurderes ud fra kemiske- og mikrobiologiske parametre, og for membranlægget beskrives de tekniske behandlingsmuligheder og behandlingspris.

1.2 Projektets baggrund

Det blev konstateret, at flere ejendomme der havde monteret dobbelt rørsystem til genanvendelse af rensede gråvand, enten havde nedlagt det etablerede biologiske renselanlæg, eller ikke havde fået etableret et renselanlæg endnu. Det blev derfor foreslået, at afprøve et mekanisk renselanlæg uden biologisk rensning, der ofte benyttes i forbindelse med rensning af spildevand i levnedsmiddelindustrien med krav til lav kemisk- og mikrobiologisk forurening.

For at dokumentere renseseffektiviteten for kemiske- og mikrobiologiske forureninger uden biologisk rensning, blev det valgt at undersøge et mekanisk anlæg af typen membranfiltreringsanlæg, der i levnedsmiddelindustrien har vist sig velegnet til at fjerne både kemiske- og mikrobiologiske forureninger. Fordelen ved et mekanisk anlæg er, at det kan idriftsættes straks efter tilslutning, og at forurening på filteroverfladen vil blive fjernet jævligt ved automatisk rensning af filteroverfladen, hvilket betyder minimal vækst af mikrobiologisk forurening på filteroverfladen. Yderligere vil der ske et større tilbagehold af partikler på filteroverfladen end filterporestørrelsen angiver, idet der løbende under drift sker en belægning af filteroverfladen der vil mindske filterporestørrelsen.

Renseresultaterne fra forsøget kan efterfølgende eventuel danne basis for udarbejdelse af dimensionerings- og funktionskrav til membranlægget, således at fremtidige anlæg vil kunne opfylde de krav myndighederne måtte stille til vandgenbrug i ejendomme. Ved dokumentation af renseseffekten vil der efterfølgende være mulighed for at afprøve denne type renselanlæg i fuldskala i en ejendom.

1.3 Identifikation af ejendomme til forsøg

Ud fra en liste på ca. 20 ejendomme med dobbelt rørsystem, blev der udvalgt følgende ejendomme:

- Ryesgade 1 , København Ø
- Oven Gade Neden Vande 5 A,B – Christianshavn
- Wildersgade 6 A, B og C - Christianshavn

Af disse ejendomme, blev der udvalgt 2 ejendomme Ryesgade 1 og Oven Gade Neden Vande 5B, som blev besigtiget med henblik på udtagning af grävandsprøve og mulighed for senere fuldskalaforsøg.

I Oven Gade Neden Vande 5B med 10 lejligheder var der endnu ikke etableret renseanlæg, og rørsystemet var ændret, således at gråt og sort spildevand var sammenkoblet før udledning til offentligt kloaksystem. Det var derfor svært at få udtaget en repræsentativ grävandsprøve uden at ændre i afløbssystemet.

I ejendommen Ryesgade 1 med 18 lejligheder, var det biologiske renseanlæg til grävandet taget ud af drift, og ejendommen var interesseret i at få afprøvet et nyt renseanlæg. Der var også mulighed for udtag af grävand til efterfølgende forsøg uden ændringer i eksisterende afløbssystem.

1.4 Oprindelse og type af grävand til forsøg

I samarbejde med anlægsleverandøren UniqEnviro blev det besluttet, at der skulle udtages en grävandsprøve i ejendommen Ryesgade nr. 1. Der blev den 24. juni 2003 udtaget en grävandsprøve på ca. 700 l, som straks blev transporteret til opbevaring i kølerum ved 5°C hos anlægsleverandøren UniqEnviro i Nakskov.

Ejendommen har et vandforbrug på ca. 135 l/person/døgn. Dette svarer til et årligt vandforbrug på ca. 1.700 m³.

1.5 Forsøgsanlæg

I samarbejde med UniqEnviro blev det valgt at bruge et membranlæg af kassette typen, som er velegnet til anvendelse i ejendomme med ikke kontinuert flow af grävand.

Membranlæg var et pilotanlæg af typen , M38 og udført i en standardenhed med filterplader (plade & ramme typen). Hver filterplade har et filterareal på 0,15 m². Arealet med 4 filterplader på pilotanlægget var 0,6 m² og en typisk flux på 20 - 50 l/m²*time svarende til 12-30 l/time.

UV anlæg var af typen PURO 1S med en 40W UV-lys C lampe med et vandflow på 2 m³/time. Med bølgelængde på 254 nm fjernes ved 40 mW/cm² mellem 90- 99,9 % af mikroorganismene /3/. Leverandørens specifikationer angiver en anbefalet maksimal tilløbskoncentration på 10 mg suspenderet stof (SS)/l og en turbiditet på 5 NTU (Nephelometric Turbidity Unit by U.S. EPA).

Forsøgsanlæg blev opstillet i UniqEnviro's fabriksdal, Narvikvej 11, Nakskov. Alle forsøg i denne rapport blev udført i Nakskov.

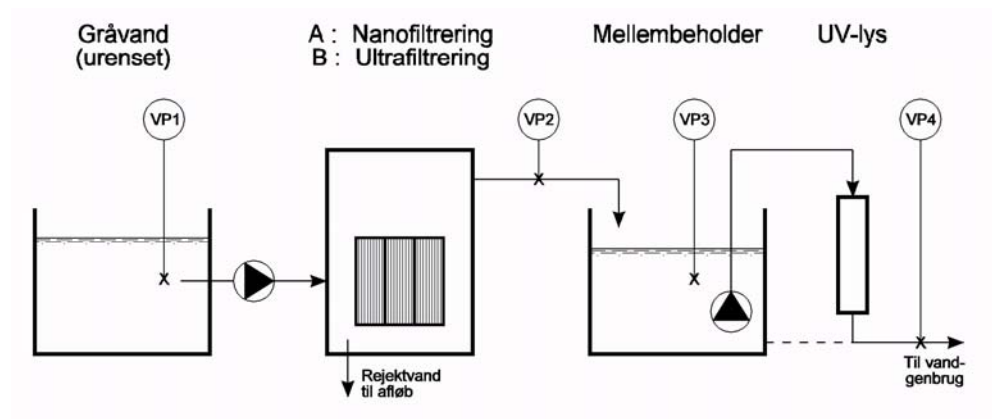
Forsøgsanlæggets opbygning og prøveudtagning var således:

- Beholder til ubehandlet grävand – VP1 i beholder.
- Filteranlæg (A: nanofilter/ B: ultrafilter) - VP2 umiddelbart efter filter.
- Mellembeholder – VP3 blev udtaget i beholder.

- UV-anlæg – VP4 blev udtaget efter UV-lys behandlingsanlæg.

VP = angiver hvor der blev udtaget vandprøver til analyse
A = Forsøg med nanofiltrering
B= Forsøg med ultrafiltrering

Figur 1.1 Principskitse af forsøgsanlæg med angivelse af prøveudtagningssteder



2 Afgrænsning af projektet

Projektets formål var at dokumentere rensningseffekten af nano- og ultrafiltrering i kombination med UV-lys behandling af gråt spildevand ved analyser for kimalt dyrket ved 22°C og 37°C.

De anvendte nano- og ultrafiltermembraner havde en porestørrelse på henholdsvis ca. 0,001-0,003 µm og 0,01-0,03 µm. Størrelsen af bakterier er mellem 0,1-10 µm, eksempelvis er *Legionella* spp. mellem 0,3-5,0 µm. Størrelse af virus er ca. 0,0-0,01 µm. Parasitter er generelt en del større end bakterier og virus. Blandt de mindste parasitter er gruppen af protozoer hvor *Cryptosporidium parvum* er 4-5 µm og *Giardia intestinalis* er 5-15 µm /2/. P.g.a. af de meget små porestørrelser i de benyttede nano- og ultrafiltre vil bakterier, parasitter, og selv virus ikke kunne passere et normalt fungerende filtre. Dette er i fuld overensstemmelse med leverandørens specifikationer på sådanne filtre.

På denne baggrund blev det således vurderet at forsøg med kimaltsbestemmelser ved 22°C og 37°C var tilstrækkelig til fastlæggelse af anlæggets behandlingseffekt. Det blev heller ikke vurderet relevant at lave egentlige podningsforsøg med eksempelvis *Legionella* spp. og protozoer.

Gråt spildevand til undersøgelsen blev indsamlet fra Ryesgade nr. 1 og blev efter transport til anlægsleverandør opbevaret på køl ved 4-5°C. Det har således ikke været undersøgelsens formål at foretage kemiske og mikrobiologiske analyser til en egentlig bredere karakterisering af sammensætningen af det ubehandlede grå spildevand som beskrevet i Miljøstyrelsens udkast til måleprogram "Måleprogram for karakterisering af gråt spildevand" (Bilag A, trin 1). Der er dog indledningsvis i projektet foretaget en række kemiske og mikrobiologiske analyser af en enkelt prøve af det indsamlede og opbevarede grå spildevand (trin 1). En bredere viden om den kemiske og mikrobiologiske sammensætning af gråt spildevand findes i afreporteringen fra en række andre gråvandsprojekter finansieret af Miljøstyrelsen under "Aktionsplanen til fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning, Tema 4: Håndtering af regnvand og gråt spildevand".

Rensningseffekten af anlægget er dokumenteret ved en række gentagne prøveudtagninger og kimaltsanalyser gennemført på en enkelt prøveindsamlingsdag. Det har således ikke været en del af projektets formål at dokumentere rensningseffekt og filtrenes og UV-lys lampens driftssikkerhed over en længere driftsperiode.

Det har heller ikke været projekts formål at foretage en egentlig risikovurdering af hygiejne- og sundhedsmæssige risici ved forskellige former for genanvendelse af det behandlede og opbevarede grå spildevand.

3 Generelle analyse parametre for gråvand

3.1 Måleprogram for karakterisering af gråt spildevand

Et kendskab til sammensætningen af gråt spildevand er en forudsætning for at kunne vurdere hvilke 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 A).

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

- 1) En generel karakterisering af det grå spildevand ved tilledning til gråvandsanlægget, inden vandet behandles i anlægget. Dette trin inkluderer en række kemiske parametre og mikrobiologiske "standardparametre" (se nedenfor og bilag A).
- 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 og projekternes specifikke formål, 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.

3.1.1 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, ligesom disse parametre også vil påvirke effekten af UV-lys behandling. Indholdet af suspenderet stof vil variere meget afhængig af typen af det grå spildevand. Der er analyseret for suspenderet stof og turbiditet i undersøgelsens trin 1 og 2.

Temperaturen af gråt spildevand vil påvirke overlevelse og vækst af mikroorganismer og dermed eventuelt effekten af behandling, eksempelvis nanofiltrering, ultrafiltrering, og UV-lys behandling.

3.1.2 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. Der er målt for en række af disse kemiske parametre i undersøgelsens trin 1 og 2.

Næringsstoffer er en vigtig forudsætning for en aktiv biofilm til nedbrydning af organisk materiale. For mange næringsstoffer kan dog give anledning til for mange mikroorganismer. pH er også en vigtig faktor for dannelse og vækst af biofilmen, som trives bedst ved pH på 6-9. Ved høje (alkaliske) og lave (sure) pH værdier vil vækst af biofilm hæmmes og der kan forekomme udtalt drab af mikroorganismer i biofilmen.

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. Der er ikke målt for metaller i projektet.

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. Der er ikke målt for miljøfremmede organiske stoffer i projektet.

3.2 Mikroorganismer

Dette kapitel beskriver kort potentielle parametre til vurdering af den mikrobiologiske kvalitet af ubehandlet og behandlet gråt spildevand. Der er for parametrene angivet om disse er indgået i undersøgelsesprogrammets trin 1 og 2.

3.2.1 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.

3.2.2 Enterokokker

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, selvom 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 den indledende undersøgelse i projektet undersøgt for enterokokker (trin 1).

3.2.3 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 i den indledende undersøgelse i projektet analyseret for antal coliforme bakterier (trin 1).

3.2.4 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 i den indledende undersøgelse analyseret for *E. coli* i projektet (trin 1).

3.2.5 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.

3.2.6 Kimtal v/37°C og 22°C, samt antal hæmolytiske kim ved 37°C

Kimtal undersøgt v/ 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 kimalt 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 er i den indledende undersøgelse (trin 1) undersøgt for antal hæmolytiske kim ved 37°C.

Der i projektet analyseret for kimalt ved 22°C og 37°C i den indledende undersøgelse (trin 1), samt i undersøgelseerne til fastlæggelse af anlæggets behandlings effekt (trin 2).

Kravene til kimalt i drikkevand er, at værdien ved indgang til en ejendom maksimalt må være 200 cfu/ml for kimalt ved 22°C og 20 cfu/ml ved kimalt 37°C /1/.

3.2.7 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 især 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 i åer og søer.

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

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

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

Der i projektets indledende undersøgelse (trin 1) analyseret for bevægelige ***Aeromonas*** spp. og ***Pseudomonas aeruginosa***.

3.2.8 *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 sporerens udtalte resistens bruges disse ofte som en indikator på kumulativ (en løbende forurening og tilførsel af sporer over tid) forurening og for effektiviteten af forskellige desinfektions- og behandlingsmetoder. Med henvisning til beskrivelsen af størrelser af filtermembraner og mikroorganismer i kapitel 2, er der i projektet ikke undersøgt for ***Cl. perfringens***.

3.2.9 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 mavetarm- og andre infektioner. Det kan forventes, at der ved personlig hygiejne, eksempelvis badning, tilføres koagulase-positive stafylokokker til gråt spildevand. Der er i projektets indledende undersøgelse (trin 1) analyseret for koagulase-positive stafylokokker.

3.3 Sygdomsfremkaldende bakterier

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

3.3.1 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 mavetarminfektioner. ***Salmonella*** og ***Campylobacter***, især sidstnævnte, kan isoleres fra overfladevand (floder, søer, og havet) som følge af fækal forurening 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 fækal forurening fra brusebadning og anden personlig hygiejne. Med henvisning til beskrivelsen af størrelser af filtermembraner og mikroorganismer i kapitel 2, er der i projektet ikke undersøgt for ***Salmonella*** og ***Campylobacter***.

3.3.2 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. 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. Der er i projektets indledende undersøgelse (trin 1) analyseret for ***Legionella*** i ubehandlet og behandlet gråt spildevand.

3.4 Andre smitstoffer

3.4.1 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. Med henvisning til beskrivelsen af størrelser af filtermembraner og mikroorganismer i kapitel 2, er der i projektet ikke undersøgt for virus og parasitter.

4 MÅLEPROGRAM, TRIN 1: INDLEDENDE SCREENING

Måleprogrammet bestod af to trin. Trin 1's kemiske og mikrobiologiske analyseparametre var baseret på Miljøstyrelsens forslag til analyser af gråt spildevand (bilag A). Trin 2's analysepakke blev designet baseret på resultaterne fra trin 1 med henblik på dokumentation af anlæggets rensningseffekt.

Måleprogrammet for trin 2 blev diskuteret og godkendt af Miljøstyrelsen.

Perioder for prøveudtagning og analyselaboratorier (trin 1)

Prøver af gråt spildevand blev indsamlet, transporteret og analyseret for kemiske og mikrobiologiske parametre af laboratorierne ROVESTA Miljø I/S, Nykøbing Falster og Miljølaboratoriet Storkøbenhavn I/S i Glostrup efter gældende standarder. Prøver blev indsamlet og analyseret d. 8. juli 2003 og 16. juli 2003. Detaljerne vedrørende de anvendte metoder er ikke beskrevet i rapporten. Der henvises til de nævnte relevante standarder og til det udførende laboratorium.

4.1 Indledende testundersøgelse af forskellige typer nano- og ultrafiltrere

Hos Uniq Enviro blev der den 3. juli og 7. juli 2003 udført screeningstest med det formål at fastlægge typen af membran der skulle anvendes i de efterfølgende forsøg i pilotanlæg. Nedenfor ses et foto af testanlæg der blev anvendt til screeningstest af membraner.

Figur 4.1 Testanlæg anvendt til screening af membraner



Følgende membrantyper blev testet til filtrering af gråvand, hvor membranmaterialet er angivet i parentes:

Ultrafiltreringsmembraner:

- ETNA 10 (kompositmembran af PVDF og C)
- ETNA 01 (kompositmembran af PVDF og C)
- JW30 (PVDF)

Nanofiltreringsmembraner:

- DL (PS)
- HL51 (PS)
- NFT (PS)

Generelt er tilbageholdelsen af suspenderet stof større ved nanofiltrering end ved ultrafiltrering, hvilket også fremgår af tabel 4.2.

I ovenstående er anvendt følgende forkortelser for membran materialer:

PVDF (polyvinylidenefluorid)

PS (polysulphone)

C (cellulose)

I screeningstesten blev der for hver membran udført målinger af pH, farve, suspenderet stof og turbiditet i indløb og udløb. Endvidere blev der målt tryk og flux under testen.

Resultater fra screeningstesten er angivet i nedenstående tabeller 4.1. og 4.2.

Tabel 4.1. Fysiske forhold ved screeningstest. Der har været benyttet 2 filterplader pr. membrantype

| Membrantype | Tryk (bar) | Flux (l/m ² /h) | Filterstørrelse (µm) |
|------------------|------------|----------------------------|----------------------|
| Ultrafiltrering: | | | |
| ETNA 10 | 1-1,5 | 46-56 | 0,02 – 0,03 |
| ETNA 01 | 1-1,5 | 26-34 | 0,01 – 0,02 |
| JW30 | 1-1,5 | 55-75 | 0,02 – 0,03 |
| Nanofiltrering: | | | |
| DL | 5,6-6 | 20-39 | 0.002 – 0,003 |
| HL51 | 5,6-6 | 19-55 | 0.002 – 0,003 |
| NFT | 5,6-6 | 3-6 | 0.002 – 0,003 |

Tabel 4.2. Kvalitet af rensed vand fra screeningstests sammenlignet med gråt spildevand fra Ryesgade nr. 1.

| Membrantype | Turbiditet (FTU) 2) | Farvetal (mgPt/l) 1) | pH | Suspenderet stof (mg/l) |
|--|---------------------|----------------------|------|-------------------------|
| Ultrafiltrering: | | | | |
| ETNA 10 | 0,85 | <5 | 8,07 | 2,1 |
| ETNA 01 | 1,0 | <5 | 7,93 | 1,9 |
| JW30 | 0,92 | <5 | 8,04 | 1,5 |
| Nanofiltrering: | | | | |
| DL | 0,20 | <5 | 7,77 | <1,0 |
| HL51 | 0,10 | <5 | 7,81 | <1,0 |
| NFT | 0,70 | <5 | 8,23 | <1,0 |
| Gråt spildevand (udtaget fra Ryesgade 1) | 72 | 6 | 7,93 | 56 |

1) mg Pt / l = Platin/cobolt analyse

2) FTU (Formazine Turbidity Unit , 1 FTU= 1 NTU)

Det ses af resultatet af rensningen, at det ikke med denne type gråvand har den helt store betydning, om der arbejdes med høje eller lave flux'er. Drift ved lave flux'er er forbundet med det mindste energiforbrug.

Ud fra rensningsgrad blev membrantypen HL51 (nanofiltrering) valgt til den videre test, idet det rensede vand fra denne membran havde den laveste koncentration af suspenderet stof og turbiditet. Det må forventes, at den valgte HL51-membran ikke kan arbejde med så høje flux'er som de hydrofile ultrafiltreringsmembraner, men den blev valgt pga. den bedste rensning for suspenderet stof og den laveste turbiditet.

Med den valgte nanofiltrering viser forsøget således kun det bedste rensresultat. Det vurderes dog ud fra resultaterne af screeningsforsøget, at ved samme forsøg med ultrafiltrering, ville rensresultatet kun blive en smule dårligere. Ved større membranlæg med kapacitet på 10 m³/time, kan der være en betydelig mindre anlægsudgift og energiforbrug ved at benytte ultrafiltrering ved lavere tryk og større kapacitet (flux).

4.2 Pilotforsøg med nanofiltrering - Kemiske og mikrobiologiske analyse parametre og resultater

Den 15. juli 2003 blev der udført pilotforsøg med nanofiltrering med den udvalgte membran af typen HL51.

I figur 4.2 ses pilotanlæg under testen af den udvalgte membran.

Figur 4.2. Pilotanlæg under test af udvalgt membran.



Det grå spildevand i palletanken blev opblandet med en stavpumpe. Vandtemperaturen ved forsøget var 8,5°C. Herefter blev der fra palletanken udtaget en gråvandsprøve af indløbsvandet til filtreringsanlægget. Der blev benyttet et vandflow i filtret (crossflow) på 4 m³/time og 4 filterplader.

Gråt spildevand (ca. 55 liter) blev fyldt på filtreringsanlægget, hvorefter det recirkulerede i 5-10 min. med et vandflow på ca. 65 liter/min. Efter filtrering blev ca. 37 liter rent filtervand udtaget og opblandet i beholder der blev rensset med sprit indvendigt. Opholdstiden i beholder var ca. 2 timer. Fra denne beholder blev udtaget prøver til laboratorium til analyse af udløbskvalitet fra filtreringen.

4.2.1 Analyseparametre og analyser

Prøverne blev udtaget fra pilotanlægget og opsamlet i prøvebeholdere, som var udleveret af Miljølaboratoriet i Glostrup.

Prøverne blev opbevaret ved 5°C og kørt til laboratoriet den efterfølgende morgen. Således blev de mikrobiologiske analyser påbegyndt indenfor et døgn efter prøveudtagelse, sådan som standarderne foreskriver.

De analyserede parametre og resultater er vist i tabel 4.3.

Tabel 4.3 Analyseresultater fra ind- og udløb fra forsøgsanlæg med nanofiltrering med menbramtype HL51.

| Parameter | Enhed | Anvendt metode | Indløb (ubehandlet gråt spildevand) | ^a Opsamlingsbeholder efter nanofiltrering | Rensning % |
|--------------------------------------|----------------|-----------------|-------------------------------------|--|---------------|
| <i>Fysiske og kemiske parametre:</i> | | | | | |
| Suspenderet stof | mg/l | DS207 | 52 | 1,8 | 96% |
| Turbiditet | FTU | DS290 | 72 | 0,63 | 99% |
| BOD | mg/l | DS/EN1899-1 | 20 | 21 | 0% |
| COD | mg/l | DS217,1991 mod. | 86 | 37 | 57% |
| Ilt | mg/l | DS2206 | 0,1 | 0,08 | - |
| Ledningsevne | mS/m | DS288 | 91 | 42 | - |
| NVOC | mg/l | DS/EN1484 | 22 | 13 | 40% |
| pH | - | DS287 | 7,32 | 7,23 | - |
| Sulfide | mg/l | DS280 | 1 | < 0,1 | 90% |
| <i>Mikrobiologiske parametre:</i> | | | | | |
| Termotolerante coliforme bakterier | pr. 100 ml | DS2255:2001 | 1,7 x 10 ⁶ | 7 | 99,9% |
| Enterokokker | pr. 100 ml | DS/EN 7899/2 | 22.000 | 19 | 99,9% |
| Kimtal v. 37°C | Pr. ml | DS/EN 6222:2000 | 5,1 x 10 ⁶ | 35.000 | 99% |
| Kimtal v. 22°C | Pr. ml | DS/EN 6222:2000 | 7,9 x 10 ⁶ | 150.000 | 98% |
| Mikroorganismer, hæmolytiske v. 37°C | cfu pr. 100 ml | DS2217 :1999 | > 15.000 | 14.000 | - |
| Coliforme bakterier, v. 37°C | pr. 100 ml | DS2255:2001 | > 16.000 | 1600 – 35.000 | - |
| <i>Pseudomonas</i> spp. | cfu pr. 100 ml | DS268 :1990 | < 1 | < 1 | ingen ændring |
| <i>Aeromonas hydrophila</i> | Pr. 10 ml | NMKL150 :1995 | 440.000 | 4.200 | 99,5% |
| <i>Staphylococcus aureus</i> | Pr. ml | NMKL66:1999 | < 10 | < 10 | ingen ændring |
| <i>Legionella</i> spp. | cfu pr. l | DS3029:2001 | ikke påvist | ikke påvist | - |

^a Sandsynlighed for mikrobiologisk forurening af filtreret vand i beholder.

Kemiske analyseresultater fra trin 1

Rensningsgraden for de kemiske parametre i pilotanlægget var mellem 50 – 95%, hvorimod der ikke fandtes nogen rensningseffekt for mængden af organisk stof som var 20 mg/l (BOD). Det rensede vand havde et indhold af suspenderet stof på 1,8 mg SS/l, turbiditeten var 0,63 FTU og COD på 37 mg/l. Med det lave indhold af SS er det velegnet til vandgenbrug og en efterfølgende UV-lys behandling for at fjerne mere af den mikrobiologiske forurening.

Mikrobiologiske analyse resultater fra trin 1

Det urensede og opbevarede grå spildevand indeholdt omkring 10⁶ per 100 ml af termotolerante coliforme bakterier og kim v/ 22°C og 37°C (tabel 4.3). Der blev endvidere også påvist enterokokker og *Aeromonas hydrophila* i urensset gråt spildevand, hvorimod *Legionella* spp. ikke kunne påvises i urensset eller rensset gråt spildevand.

Efter nanofiltrering og en kort opholdstid i opsamlingsbeholder var der sket en markant reduktion i antallet af især termotolerante coliforme bakterier og enterokokker (99,9% reduktion i kimtallet). Reduktionen i antal kim v/ 22°C og 37°C (herunder antal hæmolytiske kim), antal coliforme bakterier og antal *Aeromonas hydrophila* var noget mindre. Da nanofiltrering normalt vil kunne forventes at medføre en højere reduktion af antallet af disse parametre, så indikerer resultaterne, at opsamlingsbeholderen ikke var steril og det

behandlede vand blev tilført bakterier som var i beholderen. De undersøgte fækale indikatorbakterier forekom derimod tilsyneladende ikke som en del af den naturlige mikroflora i beholderen (se også resultaterne fra trin 2).

De angivne kimaltal ved analyser af urensset gråt spildevand for hæmolytiske kim dyrket v/ 37°C (>15.000 cfu per ml) og coliforme bakterier (>16.000 cfu per ml) skyldes metodemæssige problemer, herunder med korrekt valg af fortyndningsrækker, ved laboratoriets analyser af disse prøver. Dette medførte, at en sammenligning og udregning af rensningsgraden (%) af kimaltal i urensset og rensset gråt spildevand ikke var mulig for disse to parametre.

Foreløbig konklusion

Det vurderes overordnet, at det urensede og opbevarede grå spildevand har en sammensætning og et indhold af partikulære stoffer (repræsenteret ved parameterne suspenderet stof og turbiditet) samt tilstrækkelige høje kimaltal til at det grå spildevand kan anvendes til de videre undersøgelser til fastlæggelse af anlæggets rensningseffekt (trin 2). Høje kimaltal i det urensede grå spildevand er vigtige, så kimaltsreduktioner ved de efterfølgende behandlinger er målbare.

Da prøver af rensset gråvand ikke blev udtaget umiddelbart efter nanofilteret, men fra opsamlingsbeholderen kan den præcise rensningseffekt af nanofiltrering ikke fastlægges. Dette skyldes, at graden af tilførsel af såvel kemiske stoffer og mikroorganismer under opbevaring er ukendt. Dette forhold vil blive ændret i trin 2, hvor vandprøven udtages umiddelbart efter filter.

5 MÅLEPROGRAM, TRIN 2: RENSNINGSEFFEKT AF ANLÆG

Formålet med måleprogrammets trin 2 var at fastlægge nano- og ultrafiltreringsanlæggets og UV-lysbehandlingen for mikrobiologiske behandlingseffekt på det grå spildevand.

Resultaterne af trin 2 af måleprogrammet er beskrevet i dette kapitel.

5.1 Prøveudtagningsteder og prøvetyper

Der gennemføres følgende forsøg til vurdering af renseseffekt:

Forsøg A: nanofiltrering – 4 forsøgsrunder (A1, A2 A3 og A4)

Forsøg B: ultrafiltrering – 4 forsøgsrunder (B1, B2, B3 og B4)

Hver forsøgsrunde består af 4 vandprøver udtaget på prøvested med følgende prøve nummer:

1: ubehandlet spildevand (beholder)

2: umiddelbart efter filter

3: mellembeholder

4: efter UV-lys anlæg

5.2 Valg af parametre til undersøgelse af anlæggets behandlingseffekt

Da det grå spildevand havde været opbevaret i 6 måneder fra den indledende undersøgelse (trin 1) og til gennemførelse af undersøgelsens trin 2 (gennemført 4. december 2003), blev der d. 26. november 2003 udtaget en enkelt prøve af det opbevarede grå spildevand for at fastlægge om gråvandet indeholdt tilstrækkelige høje kimtal til fastlæggelse af anlæggets evne til at reducere kimal (trin 2).

Resultaterne af disse analyser viste, at gråvandet indeholdt:

- Kimtal v/ 37°C: 83.000.000/100 ml
- Coliforme bakterier: 330.000/100 ml
- Termotolerante coliforme bakterier: 33/100 ml

Det konkluderes ud fra resultaterne, at det ubehandlede grå spildevand indeholdt tilstrækkelige antal kim v/ 37°C og endvidere et forventet tilstrækkeligt antal kim v/ 22°C til igangsætning af de egentlige forsøg i Trin 2. Som nævnt tidligere skal der forekomme et relativt højt antal kim som anlægget efterfølgende kan reducerer på.

Med udgangspunkt i oplysningerne vedrørende membrafilteporestørrelser og størrelser af de forskellige typer af mikroorganismer beskrevet i kapitel 2 og de

mikrobiologiske fund i analyserne foretaget d. 26. november 2003, blev det derfor besluttet i samråd med Miljøstyrelsen at antal kim v/ 22°C og 37°C skulle anvendes som måleparametre til fastlæggelse af anlæggets reduktion af mikroorganismer. Disse parametre blev også valgt fordi de er standardparametre ved mikrobiologisk undersøgelse af drikkevandsprøver.

5.3 Resultater af mikrobiologiske analyser

Der blev foretaget i alt 4 gentagne analyser for hver af kombinationerne nanofiltrering og UV-lys behandling og ultrafiltrering og UV-lys behandling (tabel 5.1).

Tabel 5.1 viser resultaterne af de mikrobiologiske analyser og de udvalgte fysisk og kemiske analyser.

Tabel 5.1 Resultater af analyser af gråt spildevand udtaget d. 4. december 2003 – Prøverne for A og B forsøg er udtaget 1: urensset vand, 2: efter filter, 3; mellembeholder og 4: efter UV-lys behandling, jvf. afsnit 5.1.

| Forsøg nr./ vandprøve nr. | Kimtal v/ 22°C cfu/ml | Kimtal v/ 37°C cfu/ml | Tot-N Mg N/L | Tot-P mg P/L | Turbiditet FTU | Suspenderet stof (SS), mg/L |
|---------------------------|-----------------------|-----------------------|--------------|--------------|----------------|-----------------------------|
| A Nanofiltrering | | | | | | |
| A1/1 | 2.400.000 | 610.000 | | | | |
| A1/2 | 50 | 14 | | | | |
| A1/3 | 61 | 23 | | | | |
| A1/4 | <1 | <1 | | | | |
| A2/1 | 1.200.000 | 240.000 | 5,9 | 9,98 | 37 | 52 |
| A2/2 | 20 | 11 | | | <0,04 | <1 |
| A2/3 | 18 | 16 | | | | |
| A2/4 | 1 | 1 | 3,9 | <0.05 | | |
| A3/1 | 1.100.000 | 360.000 | | | | |
| A3/2 | 84 | 37 | | | | |
| A3/3 | 31 | 8 | | | | |
| A3/4 | <1 | <1 | | | | |
| A4/1 | 910.000 | 130.000 | | | | |
| A4/2 | 12 | 12 | | | | |
| A4/3 | 15 | 6 | | | | |
| A4/4 | 2 | <1 | | | | |
| B Ultrafiltrering | | | | | | |
| B1/1 | 640.000 | 250.000 | | | | |
| B1/2 | 7 | 3 | | | | |
| B1/3 | 98 | 16 | | | | |
| B1/4 | <1 | <1 | | | | |
| B2/1 | 860.000 | 300.000 | 5,8 | 1,84 | 126 | 53 |
| B2/2 | 16 | 4 | | | 0,04 | <1 |
| B2/3 | 14 | 5 | | | | |
| B2/4 | <1 | <1 | 3,9 | 1,02 | | |
| B3/1 | 1.600.000 | 370.000 | | | | |
| B3/2 | 1 | 5 | | | | |
| B3/3 | 16 | 3 | | | | |
| B3/4 | 1 | <1 | | | | |
| B4/1 | 860.000 | 170.000 | | | | |
| B4/2 | 6 | 2 | | | | |
| B4/3 | 10 | 3 | | | | |
| B4/4 | <1 | <1 | | | | |

I forsøget med nanofiltrering indeholdt det urensede og opbevarede grå spildevand mellem 910.000-2.400.000 kim v/ 22°C per ml og mellem 130.000-610.000 kim v/37°C per ml. Umiddelbart efter nanofiltreringen var disse kimal reduceret yderst markant til mellem 12-84 kim v/ 22°C per ml og mellem 11-37 kim, v. 37°C/37°C per ml.

Kimtallene i prøver udtaget fra den såkaldte mellembeholder (prøve nr. 3), som fungerede som fødetank til UV-lys enheden, syntes en smule højere end i en del prøver udtaget umiddelbart efter nanofilteret. Dette kunne tyde på en

lavgradig tilførsel af bakterier ved det behandlede vands kontakt med mellembeholderen. Opholdstiden af det filtrerede vand i mellembeholderen var så kort (mindre end 1-2 timer) så en egentlig bakterielvækst ikke var sandsynlig forklaring på de noget højere kimtal.

Den efterfølgende UV-lys behandling medførte en markant yderligere kimtalsreduktion så der ikke kunne påvises bakterier i 12 ud af 16 prøver (<1 cfu per ml). Øvrige prøver indeholdt 1-2 cfu per ml.

Resultaterne for ultrafiltreringen viste meget sammenlignelige resultater med nanofiltreringen. Ultrafiltreringen syntes faktisk at medfører en øget kimtalsreduktion sammenlignet med nanofiltreringen, idet kimtal efter ultrafiltrering generelt var lavere. Der kunne ikke påvises kim i gråt spildevand rensset med ultrafiltrering og behandlet med UV-lys.

Gråvandets kemiske sammensætning i A2 og B2 forsøgene kan betegnes som værende ensartet, dog er fosforkoncentrationen meget højere i A2 forsøget. Resultaterne efter rensning gennem nano- og ultrafiltrene viser, at suspenderet stof fjernes helt og turbiditeten er reduceret under detektionsgrænsen. Dog viser forsøget, at fosfor fjernes bedre i nanofiltreringen. Den konstaterede forskel i fosforkoncentration i de to membranforsøg kan ikke umiddelbart forklares.

Delkonklusioner

- Behandling af gråt spildevand med kombinationerne af nanofiltrering og UV-lys behandling og ultrafiltrering og UV-lys behandling var yderst effektiv. Der kunne ikke påvises bakterier i 12 ud af 16 prøver af UV-lys behandlet gråt spildevand (<1 cfu per ml). Øvrige prøver indeholdt 1-2 cfu per ml. Det behandlede grå spildevand indeholdt således få eller ingen kim v/ 22°C og 37°C og kan dermed opfylde de mikrobiologiske krav til kimtal i drikkevand.
- Gråt spildevand behandlet med nanofiltrering eller ultrafiltrering uden efterfølgende UV-lys behandling indeholdt få kim v/ 22°C og 37°C (<100 cfu per ml)
- Resultaterne fra de gentagne prøveindsamlinger og analyser viste kun lave variationer i sammenlignelige kimtal.

5.4 Forsøgsanlæg – Opbygning og driftsparametre under forsøg

5.4.1 Membrananlæg

Ultra- og nanofiltreringsanlæg er samme type som under trin 1 forsøg.

Tabel 5.2 og 5.3 viser driftsparametre under trin 2 forsøget:

Tabel 5.2 Driftsparametre under forsøg A: Nanofiltrering. Der er benyttet 4 filterplader, et vandflow i filter på 3,63 m³/time, tryk på 5,6 – 6 bar og en flux på 33 l/m²*h. Med 4 filterplader er arealet 0,6 m², og filterkapaciteten for rent vand er ca. 0,6*33= 19,8 l/time.

| Nanofiltrering Membrantype HL51 | Temperatur (°C) | pH | Ledningsevne, ind mS/m | Ledningsevne, ud mS/m |
|---------------------------------------|--------------------|-----|---------------------------|--------------------------|
| Forsøg nr.: | | | | |
| A1 | 11,2 | 7,4 | 75 | 30 |
| A2 | 13,6 | 7,3 | 89 | 30 |
| A3 | 7,9 | 7,3 | 89 | 30 |
| A4 | 25,7 | 7,4 | 89 | 30 |

Tabel 5.3 Driftsparametre under forsøg B: Ultrafiltrering. Der er benyttet 4 filterplader, et vandflow i filter på 3,63 m³/time, tryk på 1 – 1,5 bar og en flux på 51 l/m²*h. Med 4 filterplader er arealet 0,6 m², og filterkapaciteten for rent vand er ca. 0,6 x 51 = 30,6 l/time.

| Ultrafiltrering Membrantype JW30 | Temperatur (°C) | pH | Ledningsevne, ind mS/m | Ledningsevne, ud mS/m |
|--|--------------------|-----|---------------------------|--------------------------|
| Forsøg nr.: | | | | |
| B1 | 8,7 | 7,5 | 81 | 30 |
| B2 | 9,5 | 7,3 | 81 | 30 |
| B3 | 7,9 | 7,4 | 92 | 30 |
| B4 | 7,9 | 7,4 | 92 | 30 |

5.4.2 UV-lys anlæg

UV-lys anlæg består af UV-lys lampe monteret i et glasrør, der er indsat centralt i et 80 mm rustfrit stålør. Det urene vand ledes ind i stålørret hvor det UV bestråles i en spalte på 20 mm mellem glasrør og indervæg på stålør.

Da filteranlægget ikke producerer nok vand til at skabe turbulente forhold omkring UV lampe, blev der monteret en pumpe der kunne recirkulere den behandlede vandmængde over mellembeholderen.

Figur 5.1 UV-anlæg anvendt i trin 2 forsøg



5.4.3 Membranens tæthed

Principielt er både nanofiltrerings- og ultrafiltreringsmembraner så tætte at bakterier ikke kan passere. I teknisk målestok vil der dog normalt være mikrodefekter i membranerne og ved samlinger af membranplader. Membranleverandøren opgiver typiske reduktionsfaktorer for bakterier på 10.000 til 1.000.000.

Urenheder der opsamles på filtret indeholder små mængder af næringsstoffer, som bakterier kan leve af. Nogle få membrandefekter der lader bakterier passere, vil i det lange løb forurene det rensede vand. Derfor skal membranlægget renses med passende tidsintervaller, hvilket i øvrigt er normalt i forbindelse med drift af membranfiltre, jf. f.eks. at på mejerier renses filter typisk een gang i døgnet.

5.4.4 Membranfilteranlæggets kapacitet

Membranfiltrenes kapacitet (flux i $l/m^2 \cdot h$) er halveret fra måling på rent vandværksvand til gråt spildevand.

For nanofiltermembran HL 51 er der på gråt spildevand målt en lille stigning i flux og et konstant flux/bar-forhold i intervallet 2-6 bar. Dette betyder, at tilstopningen af denne membran ikke ændre sig i dette trykinterval. Der forventes at dimensioneringen af kapaciteten (fluxen) på dette anlæg vil ligge i intervallet 15 – 30 $l/m^2 \cdot h$.

For ultrafiltermembran JW 30 er der på gråt spildevand målt en stigende og et faldende flux/bar-forhold i intervallet 1-3,5 bar. Dette betyder, at tilstopningen af denne membran er stigende i dette trykinterval. Der forventes

at dimensioneringen af kapaciteten (flux'en) på dette anlæg vil ligge i intervallet 30-40 l/m²*h.

Spildevandets temperaturen har indflydelse på membranfiltrets kapacitet. Koldt vand vil nedsætte kapaciteten på membrananlægget som følge af vandets viskositet.

For begge membrantyper gælder, at der skal udføres forsøg i praksis for at få fastlagt de endelige dimensioneringsparametre.

6 Membrananlæg – Vurdering af Teknik og Økonomi

6.1 Driftsmæssige forhold

Der har ikke været problemer med tilstopning, beskadigelse mv. (vækst af biofilm) af membran under pilotforsøget med de valgte membrantyper. Nanofiltrere med type HL 51 membran er normalt mere modtagelig for tilstopning end ultrafiltrerings membraner. Det vurderes således, at ved små membrananlæg med en kapacitet på 1 m³/time (små membranarealer), vil tilstopning slet ikke eller yderst sjældent kunne forekomme. På større anlæg > 10 m³/time vil der være mindst driftsudgift ved at vælge ultrafiltreringsanlæg.

Der må forventes en rensning af membraner pr. 14 dag med det pågældende gråvand. Dette kan foregå automatisk under drift af membrananlægget. Behov, herunder hyppighed, for returskylning og rensning kan dog først endeligt fastlægges efter fuldskalaforsøg i en ejendom.

Der er ikke konstateret større partikler og større fedtforekomster i det grå spildevand fra ejendommen. Det skal dog bemærkes, at anlægsleverandøren har oplyst, at større forekomster af fedt, olie, kartoffelskrøller, hår etc. bør fjernes før rensning i et membranfilter for at få en optimal rensning uden tilstopningsproblemer. Det er således nødvendigt, at membrananlægget ved fuldskalaforsøg forsynes med en forrensning i f.eks. en lamelseparator eller lign., hvor bundfald og flydestoffer kan fjernes automatisk direkte til kloak.

6.2 Membranfilteranlæg – Funktion og opbygning

6.2.1 Funktion

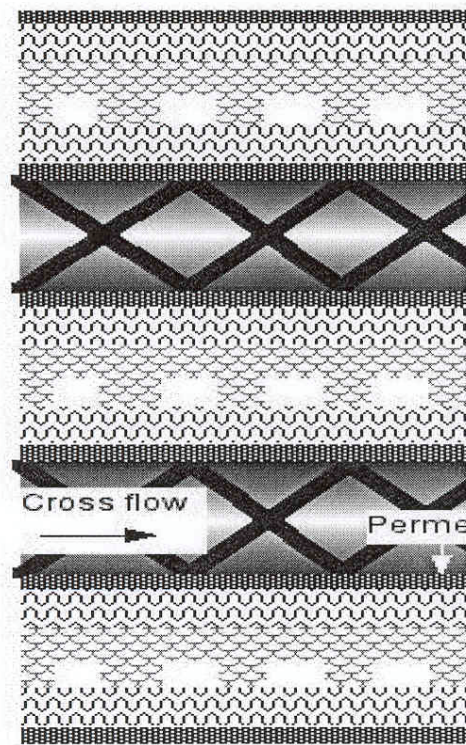
Membranfilteranlæg er af typen, M38, som en standardunit med filterplader (plate & frame typen) hver med 8 enkeltmembraner. Hver filterplade har en overflade på 0,15 m². Et membranfilteranlæg med 4 filterplader har således 0,6 m² filteroverflade.

Pilotforsøgene er kørt med M38 som er en standardunit med filterplader (plade & ramme typen) . I fuldskalaforsøg tænkes anvendt et kassettemodul. Fordelen ved kasette typen i forhold til f. eks. spiralfilter typen og plade & ramme typen er, at filteroverfladen løbende kan renses ved hydraulisk returskylning. Spiralfilter typen og plade & ramme typen kan kun renses ved separat rengøring ved gennemskylning med rengøringsmiddel.

Forsøgsanlægget, M38 er et crossflow anlæg hvor vandet ved pumpetryk på 1-6 bar ledes gennem filtret, og forureningen i gråvandet tilbageholdes på membranoverfladen, og det rene vand trænger igennem filtermaterialet til filtrets udløbskanaler.

Membrantyper er vist på følgende figur. 6.1

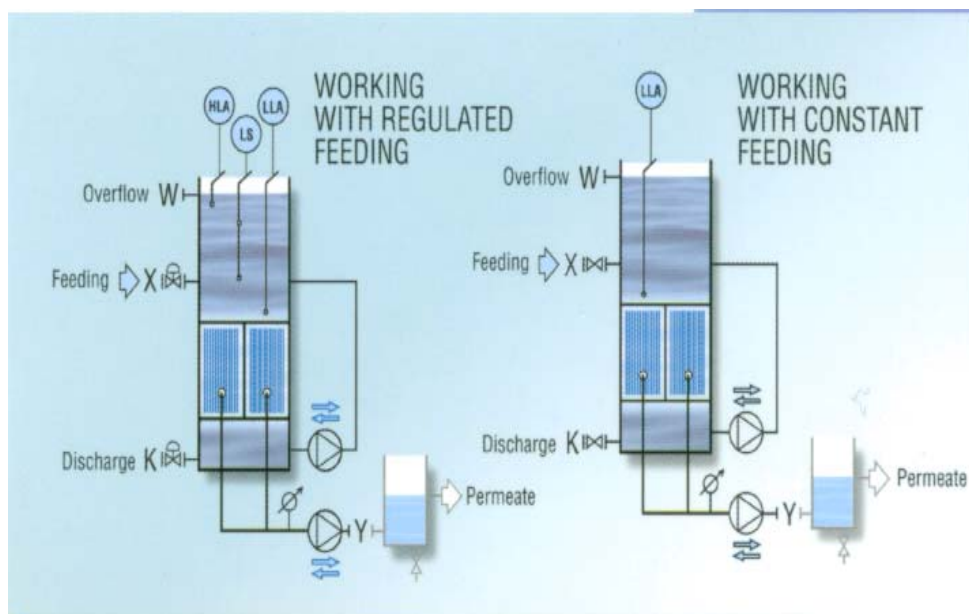
Figur 6.1 Membranens opbygning for forsøgsanlæg. Det urene spildevand løber i filterkanal (cross flow), og urenheder opsamles på membranoverfladen (perme). Det rene vand fortsætter gennem filteroverfladen til de mange kanaler i membranmaterialet.



6.2.2 Opbygning af standard membranlæg

Figur 6.2 viser et diagram for opbygning af driftsformer i et standard membranlæg. Det ene er til kontinuer drift, og det andet er til batchvis drift. I begge anlæg er der mulighed for at recirkulere det rensede vand igennem filtret.

Figur 6.2 Diagram for opbygning af et membranlæg af kassette typen



6.3 Beregnet behandlingspris for vandgenbrug

På baggrund af det gennemførte forsøg, kan der beregnes anlægs- og driftsøkonomi for et standard filteranlæg som er i handlen i dag og to modeller, som ved produktudvikling kan udvikles til dette marked for genbrug af grävand.

Der opstilles følgende beregning af behandlingspris for disse 3 anlægsmodeller:

Model 1 – Standard filteranlæg med kapacitet på 1 m³/time som er i handlen i dag

Model 2 - Som Model 1 udviklet med membraner med længere levetid, lavenergi pumper og større automatiseringsgrad som nedsætter tilsyn og vedligehold

Model 3 - Som Model 2 med større kapacitet på 1,5 m³/time

Tabel 6.1 – Økonomi for membran anlæg ved fuld udnyttelse (100% drift). Prisniveau oktober 2003.

| Parameter | Enhed | Model 1 | Model 2 | Model 3 |
|---------------------------|----------------------|-------------|-------------|-------------|
| Kapacitet | m ³ /time | 1 | 1 | 1,5 |
| <i>Anlæg:</i> | | | | |
| Filteranlæg, tot | kr. | 270.000 | 270.000 | 200.000 |
| <i>Drift:</i> | | | | |
| Membranudskift | kr. | 46.000 | 46.000 | 32.000 |
| Levetid, membr. | År | 3 | 5 | 7 |
| Elforbrug | kr./m ³ | 0,8 | 0,5 | 0,15 |
| Tilsyn | timer/uge | 3 | 1 | 0,3 |
| <i>Beregnet vandpris:</i> | | | | |
| Kapitaludgift | kr./m ³ | 1,4 | 1,4 | 0,71 |
| Membranudskift | kr./m ³ | 1,93 | 1,16 | 0,39 |
| EL-forbrug | kr./m ³ | 1,0 | 0,62 | 0,19 |
| Vedligehold | kr./m ³ | 5,36 | 1,79 | 0,36 |
| <i>I alt:</i> | kr./m ³ | <i>9,69</i> | <i>4,97</i> | <i>1,65</i> |

Beregningsforudsætninger i tabel 6.1:

Driftstid: 8000 timer /år
Levetid: 20 år, 6 % p.a.
El: 1,25 kr./kWh
Tilsyn og vedligehold: 300 kr./time

For at få et totalt renseanlæg, skal der yderligere afsættes anlægspris til:
Forrensning: Udligningstank og forrensningsanlæg. Det vurderes til en samlet
behandlingspris på ca. 1 kr./m³.

UV anlæg med den aktuelle kapacitet anslås til en behandlingspris på ca. 0,50
kr./m³.

Den forventede behandlingspris for model 1 vil således være ca. 12 kr./m³ ved
anvendelse af et standard membranlæg som udnyttes 100% (ca. 50-100
lejligheder).

Det vil dog være muligt at halvere prisen ved at optimere udstyret. Dette
kræver dog en efterspørgsel fra kunder til disse mindre membranlæg til en
enkelt ejendom, før det vil være interessant for leverandører at udvikle på de
eksisterende store membranlæg.

I ejendommen i Ryesgade 1 vil det mindste membranlæg model 1 kun blive
udnyttet ca. 30%, og behandlingsprisen vil være på ca. 40 kr./m³.
Membranlæg med kun 30% udnyttelse er således kun økonomisk
interessante, når vandprisen overstiger denne behandlingspris.

Hvis det skal være økonomisk interessant her og nu for enkelt ejendomme som
Ryesgade, skal der ske en videreudvikling af det nuværende membranlæg til
model-2, og behandlingsprisen vil således kunne falde til 24 kr./m³, som
svarer til den nuværende gennemsnitlige omkostning til køb og afledning af
spildevand.

I prisberegningerne er forudsat, at dobbelt rørsystem til gråt og sort
spildevand samt pumpeanlæg til genbrugsvand er etableret i ejendommen.

7 Konklusion og anbefalinger

7.1 Konklusion

Det gråvand som er brugt til forsøget, blev opsamlet i en ejendom med 18 lejligheder i Ryesgade nr. 1 på Østerbro i København. Kvaliteten af det grå spildevand må betegnes som normalt i forhold til de rapporterede karakteriseringer af gråvand i sammenlignelige undersøgelser /4/.

Det første screeningsforsøg (trin 1) med ultra- og nanofiltrering af gråvand fra ejendom i Ryesgade nr. 1 viser, at det er muligt at opnå en effektiv rensning for suspenderet stof med de afprøvede membrantyper.

Det efterfølgende pilotforsøg blev gennemført med en nanofiltrering med membrantype HL51, idet gråt spildevand efter filtrering gennem denne membran havde den bedste rensning for suspenderet stof og den største reduktion af turbiditet. Rensningsgraden for de kemiske parametre i pilotanlægget var mellem 50 – 95%, hvorimod der ikke fandtes nogen rensningseffekt for mængden af organisk stof som var 20 mg/l (BOD). Det rensede vand havde et indhold af suspenderet stof på 1,8 mg SS/l, turbiditeten var 0,63 FTU og COD på 37 mg/l. Reduktionen i antal bakterielle måleparametre var 89,8-99,9%. Der fandtes dog højere kimtal i filtreret gråt spildevand end forventet. Dette kan skyldes, at det filtrerede grå spildevand blev opbevaret i en ikke-steril beholder hvorfra prøver til analyser blev udtaget.

I undersøgelsens trin 2 blev reduktionen af kimtal fastlagt efter kombineret nano- og ultrafiltrering og UV-lys behandling. Der kunne ikke påvises bakterier i 12 ud af 16 prøver af UV-lys behandlet gråt spildevand (<1 cfu per ml). Øvrige prøver indeholdt 1-2 cfu per ml. Det behandlede grå spildevand indeholdt således få eller ingen kim v/ 22°C og 37°C og kan dermed opfylde de mikrobiologiske krav til kimtal i drikkevand.

Forsøgene viste en markant reduktion i kimtal, hvorfor begge membrantyper (nano- og ultrafiltrering) må anses for velegnet til brug i forbindelse rensning af gråvand til vandgenbrug.

Behandlingsprisen for den opnåede rensning af gråvand i det mindste standard membranlæg på 1 m³/time er beregnet til 12 kr./m³ ved 100% udnyttelse. Økonomisk vurderet, kan det mindste membranlæg umiddelbart være interessante at udnytte i større ejendomskomplekser på 50-100 lejligheder, hvorimod der kræves yderligere optimering af de eksisterende membranlæg, før det på nuværende tidspunkt bliver økonomisk interessant for ejendomme mindre end 50 lejligheder.

Med den effektive rensning og lave behandlingspris for det eksisterende membranlæg i forhold til gældende vand- og afledningspris, vil der være gode udviklingsperspektiver for danske leverandører, at gå ind i at udvikle/optimere membranlæg til enkelt ejendomme. Membranlæggene

vil være konkurrencedygtige i forhold de forventede stigende vandpris pga. den knappe vandressource i både Europa og den øvrige verden.

Det skal dog bemærkes, at vandgenbrug forudsætter, at man fra myndighedernes side kan godkende membranlæggets opnåede kemiske- og mikrobiologiske vandkvalitet for vandgenbrug til toiletskyl, vaskemaskine og eventuelt andre formål. Det vurderes, at det nok er her, der er en barriere for udvikling af anlæg til vandgenbrug, idet der på grund af forsigtighedsprincippet, vil være yderligere stoffer som myndighederne skal have dokumenteret for at begrænse risiko for dårlig hygiejne, allergi mv.

7.2 Anbefaling

Med de opnåede markante reduktioner i kimtal anbefales det at benytte membranteknologien i kombination med UV-lys behandling til rensning af gråvand fra ejendomme med henblik på genanvendelse.

Afhængig af påtænkte genanvendelser kan det anbefales at gennemføre egentlige risikovurderinger. Myndighederne bør også fastsætte kvalitetskrav til rensset gråvand som ønskes genanvendt.

Det vil være ønskeligt at etablere et egentligt forsøgsanlæg med henblik på at undersøge membranlægget i kontinuerlig drift. Det vil være hensigtsmæssigt, at opstille et membranlæg i ejendommen Ryesgade nr. 1, idet ejendommen tidligere har haft vandgenbrug fra et biologisk renseanlæg. Det anbefales dog først, at undersøge forholdene nærmere i Ryesgade, især muligheder og begrænsninger for installering af et egentligt anlæg. Hvis en sådan installering ikke er mulig i Ryesgade, kan der være mulighed for at installere et membranlæg i en af de øvrige ejendomme, som tidligere er undersøgt i dette projekt eller i andre ejendomme som har muligheder for opsamling af gråvand.

Hvis der kan opnåes lignende resultater ved kontinuerlig anlægsdrift som opnået i denne undersøgelse anbefales det, at der på dette grundlag udarbejdes en egentlig vejledning for dimensionering og drift af membranlæg.

Referencer

- /1/ Bekendtgørelse nr. 871 af 21. september om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.
- /2/ Murray, P.R. 1995. Manual of Clinical Microbiology. American Society for Microbiology, ASM Press, Washington, D.C.
- /3/ Brochuremateriale fra Puro Equipment udgivet af Fagerberg A/S
- /4/ Miljøstyrelsens hjemmeside (www.mst.dk) - Aktionsplan for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning , jf. rapporter og artikler for Tema 4 – Genbrug af sekundavand.

Bilag A: Måleprogram for karakterisering af gråt spildevand

Måleprogram for karakterisering af gråt spildevand

Anna Ledin, Eva Eriksson, Ann Marie Eilersen og Mogens Henze
Miljø & Ressourser DTU, Danmarks Tekniske Universitet.

Anders Dalsgaard
Institut for Veterinær Mikrobiologi, Kongelige Veterinære
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 | |
| 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 |

| Stofgruppe | Inkluderede forbindelser | Begrundelse nr. |
|--------------|---|-----------------|
| 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 forurenset 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, Total koliforme bakterier | DS /EN 622/1 ISO/DIS 9308/1 10/100 ml |
| Salmonella spp. (10 ml) | DS 266-1;ret 1 Trin 1 Trin 2-3 |
| Pseudomonas aeruginosa | DS 268/1 10/100 ml Trin 1 Trin 2 |
| Campylobacter (10 ml) | NMKL 119/1 |
| Aeromonas hydrophila (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 grävandet 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 Giardia og Cryptosporidium |
| Virus | <i>Hepatitis</i> (leverbetændelse) Enterovirus (Norwalk, Adenovirus) |
| Særlige bakterier | Udvælges på baggrund af undersøgelserne foretaget i trin 1, og ud fra hvad grävandet 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 undersøgelser 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

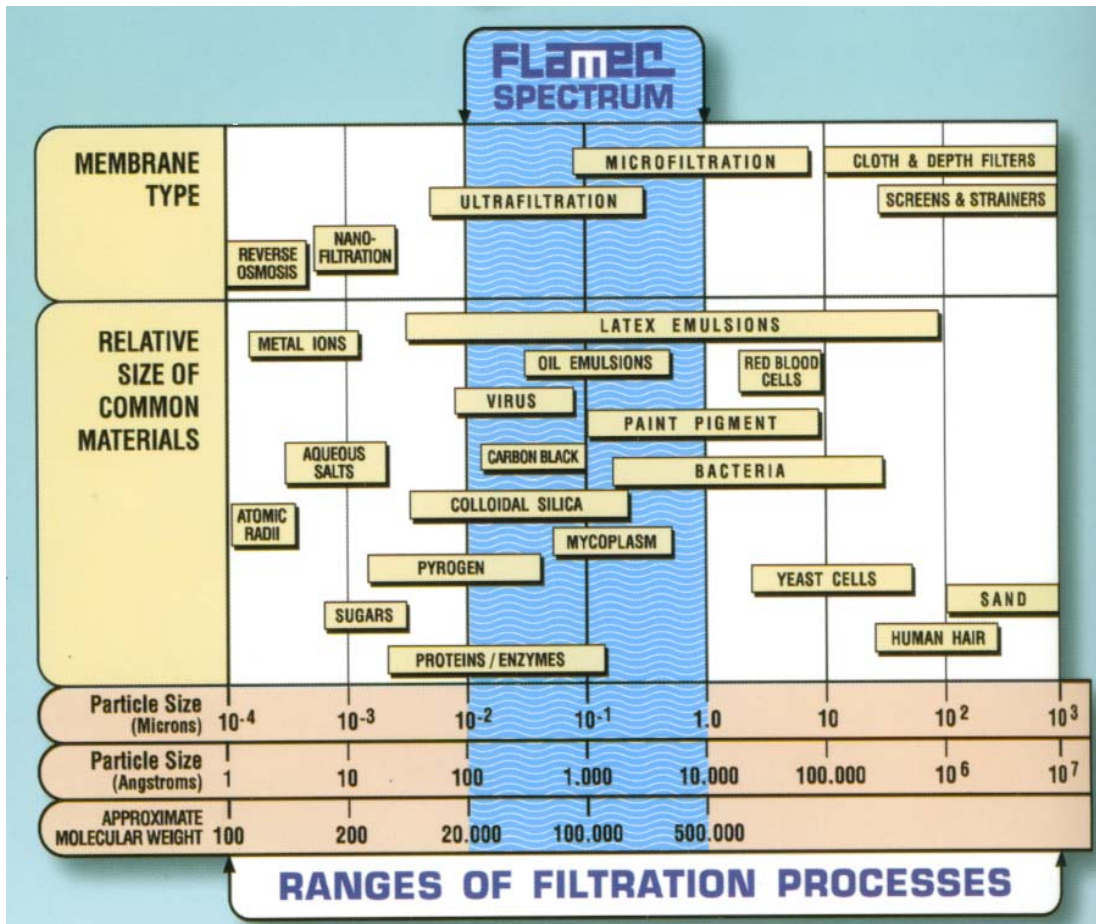
Prøveudtagning skal ske i flasker der tilvejebringes fra analyselaboratoriet og eventuel konservering skal ske efter deres instruktioner ifølge gældende standarder. Ved prøveudtagningen skal der måles pH, temperatur, ledningsevne, koncentration af ilt og sulfid.

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 B: Skema for rensning af partikler i Flamec membranfilter



1 micron = 10⁻⁶ m