

# Genanvendelse af gråt spildevand på campingpladser – Fase 2 og 3

# Genanvendelse af gråt spildevand på campingpladser – Fase 2 og 3

Michael Nielsen og Tore Pettersen

Rambøll

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
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	7
SUMMARY AND CONCLUSIONS	11
1 DEMONSTRATIONSANLÆG PÅ GALS KLINT	15
1.1 INDLEDNING	15
1.2 DIMENSIONERINGSGRUNDLAG	15
1.3 ANLÆGSDIMENSIONERING	16
<b>1.3.1 Forklaringstank</b>	<b>16</b>
<b>1.3.2 Indløbs- og genbrugsbuffertank</b>	<b>16</b>
<b>1.3.3 Biologisk sandfilter</b>	<b>17</b>
2 DETAILPROJEKT	18
2.1 ANLÆGSARBEJDER	19
<b>2.1.1 Forklaringstank</b>	<b>19</b>
<b>2.1.2 Indløbsbuffertank</b>	<b>19</b>
<b>2.1.3 Ventilbrønd</b>	<b>19</b>
<b>2.1.4 Biologisk sandfilter</b>	<b>19</b>
<b>2.1.5 Samlebrønd</b>	<b>22</b>
<b>2.1.6 Genbrugsbuffertank</b>	<b>22</b>
2.2 VVS ARBEJDER	24
<b>2.2.1 Montage af jetpumpe og tilslutning af spildevandspumpe</b>	<b>24</b>
<b>2.2.2 Tilslutninger</b>	<b>25</b>
<b>2.2.3 Kemikaliedoseringsanlæg</b>	<b>26</b>
3 ETABLERING AF GRÅVANDSANLÆG	28
3.1 LICITATION	28
3.2 PROJEKTTILPASNINGER	28
3.3 UDFØRELSE	29
3.4 OVERORDNET FUNKTIONSBESKRIVELSE	33
3.5 OPSTART OG INDKØRING AF ANLÆG	34
4 FUNKTIONSAFPRØVNING AF GRÅVANDSANLÆG	36
4.1 INDLEDNING	36
4.2 MÅLEPROGRAM	36
4.3 BIOLOGISK RENSNING	39
<b>4.3.1 Gråt spildevand</b>	<b>39</b>
<b>4.3.2 Biologisk rensset gråt spildevand</b>	<b>41</b>
4.4 DESINFEKTION	46
4.5 DRIFTSERFARINGER	50
<b>4.5.1 Lugt- og støjgener</b>	<b>50</b>
<b>4.5.2 Visuelle gener</b>	<b>51</b>
<b>4.5.3 Arbejdsmiljø og adfærdsregulering</b>	<b>52</b>
<b>4.5.4 Øvrige driftsforhold</b>	<b>53</b>
<b>4.5.5 Forslag til anlægsforbedringer</b>	<b>53</b>
4.6 ØKONOMI	54

<b>5</b>	<b>KONKLUSION</b>	<b>58</b>
<b>6</b>	<b>LITTERATUR</b>	<b>61</b>
	<b>BILAG A - ANALYSERESULTATER URENSSET GRÅVAND</b>	<b>63</b>
	<b>BILAG B - ANALYSERESULTATER BIOLOGISK RENSET GRÅVAND</b>	<b>67</b>

# Forord

Rapporten er et resultat af et projekt under aktionsplanen for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning – Tema 4: Håndtering af regnvand og gråt spildevand.

Projektet er gennemført i et samarbejde mellem RAMBØLL, Campingrådet og Gals Klint.

Projektet er inddelt i tre faser:

- Fase 1. Gennemgang og vurdering af alternative muligheder for genbrug af gråt spildevand til sekundaformål på campingpladser.
- Fase 2. Udvalgelse af endelig løsning til behandling af gråt spildevand og genanvendelse, projektering af anlægget samt etablering af demonstrationsprojekt.
- Fase 3. Drift af demonstrationsprojekt og afrapportering af resultater.

Nærværende rapport omfatter projektets fase 2 og 3.

Formålet med faserne 2 og 3 har således været at etablere og drive et demonstrationsprojekt på basis af det udvalgte anlægskoncept fra fase 1, for herigennem at indhente erfaringer om effektiviteten og driften af gråvandsanlæg.

Projektet er udført for Miljøstyrelsen af RAMBØLL med Chefkonsulent Tore Pettersen, RAMBØLL som projektleder og Civilingeniør Michael Nielsen, RAMBØLL som øvrig deltager.



# Sammenfatning og konklusioner

Udgangspunktet for etableringen af et demonstrationsanlæg til rensning af det grå spildevand fra baderumsbygningen på Gals Klint, er den valgte anlægsopbygning fra projektets fase 1.

Der blev således etableret et demonstrationsanlæg med nedenstående overordnede opbygning:

- Forklaringstank
- Indløbsbuffertank (pumpestation m. buffervolumen)
- Biologisk sandfilter
- Genbrugsbuffertank (lagertank for biologisk rensset gråvand)
- Desinfektionsanlæg (doseringsanlæg)

På baggrund af den valgte anlægsopbygning fra projektets fase 1 blev udarbejdet et detailprojekt for etablering af et demonstrationsanlæg på Gals Klint udarbejdet. Projektet blev udbudt i begrænset licitation.

Grundet resultatet af licitationen, samt ekstraudgifter til grundvandssænkning som følge af høj grundvandsstand og opblødt jordbund på Gals Klint, var det nødvendigt at foretage reduktioner i anlægsarbejderne, for herigennem at reducere den samlede anlægssum.

Projektilpasningerne søgtes gennemført, således anlæggets funktionalitet ikke ændres. Det blev derfor bl.a. besluttet at reducere størrelsen på det biologiske sandfilter med 50 %, herved bibeholdes muligheden for en evt. senere tilpasning til behandling af den dimensionsgivende anlægskapacitet.

Selve etableringsarbejdet startede primo april 2002 mens opstart/indkøring påbegyndtes ultimo maj 2002. Indkøringsfasen forventedes at vare 4 – 6 uger af hensyn til opbygning af en funktionel biofilm i det biologiske sandfilter. I hele indkøringsperioden blev gråt spildevand tilledt og recirkuleret over anlægget.

Efter endt indkøring af anlægget blev der foretaget en kontrolanalyse af effekten af den biologiske rensning i sandfiltret. Resultatet af kontrolanalysen viste at det biologiske sandfilter var indkørt og fuldt funktionsdygtigt efter ca. 7 uger.

Umiddelbart efter indkøringsfasens afslutning, blev den egentlige afprøvning af anlægget iværksat.



Funktionsafprøvningen af grävandsanlægget havde til formål, at dokumentere renseseffekten af hhv. den biologiske rensning og desinfektionen. Afprøvningen havde endvidere til formål, at indsamle praktiske erfaringer med driften af grävandsanlægget, herunder bl.a.:

- Lugt- og støjgener
- Visuelle gener
- Arbejdsmiljø og adfærdsregulering
- Praktiske forhold

Som udgangspunkt for måleprogrammet anvendes Miljøstyrelsens standardmåleprogram. Måleprogrammet er opdelt i to grupper, en bestående af fysiske-/kemiske parametre samt en gruppe bestående af mikrobiologiske parametre.

Der blev under funktionsafprøvningen udtaget prøver tre steder i anlægget:

1. I tilløb til forklaringstank (urenset grävand)
2. I Genbrugsbuffertanken (mekanisk-/biologisk rensset grävand)
3. I toiletciysterne i baderumsbygningen (renset og desinficeret grävand).

Valget af prøveudtagningssteder blev valgt således, effekten af hhv. den mekanisk-/biologiske rensning og desinfektionen kan dokumenteres.

Der blev under funktionsafprøvningen udtaget i alt tolv prøver, hvoraf én er udtaget i tilløbet til forklaringstanken, tre i genbrugsbuffertanken og otte i toiletciysterne.

Den afsluttende behandling af det rensede grävand var en desinfektion med hydrogenperoxid (35 %). Formålet med desinfektionen var, at reducere antallet af mikroorganismer i det biologisk rensede grävand til et så lavt niveau som muligt, og herigennem fastlægge den nødvendige dosering af hydrogenperoxid, set ud fra både et hygiejnisk og driftøkonomisk synspunkt. Herudover havde desinfektionen til formål at forbrugsvandet tilføres et ekstra iltpotentiale, således risikoen for lugtgener ved henstand af genbrugsvand i toiletciysterne reduceres.

Under funktionsafprøvningen er der som nævnt overfor i alt udtaget otte prøver på det rensede og desinficerede grävand samt en prøve fra referencetoilet forsynet med drikkevand. To af de udtagne prøver blev opbevaret ved stuetemperatur af det akkrediterede laboratorium i tre uger forinden analyse. Formålet med opbevaringen var at kontrollere hvorvidt der i prøverne sker eftervækst ved henstand. I nedenstående tabel er samtlige analyseresultater for det rensede og desinficerede grävand angivet.

Vand der renses og genanvendes i husholdninger, som i dette tilfælde til toiletskyl, skal have en renhedsgrad svarende til drikkevandskvalitet som angivet i Bekendtgørelse nr. 871 af 21/09-2001: "Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg".

Da grävandet udelukkende skal benyttes til toiletskyl er det primært indholdet af mikroorganismer der er af interesse, men samtlige kvalitetskrav skal principielt overholdes. Sammenholdes analyseresultaterne med kravværdierne, ses at det rensede desinficerede grävand fra Gals Klint er af en kvalitet modsvarende drikkevand mht. de mikrobiologiske parametre. Det skal dog

bemærkes, at indholdet af mikroorganismer i det biologisk rensede grävand har ligget på et meget lavt niveau, hvilket følgelig skal tages i betragtning ved vurderingen af effektiviteten.

Udover de rent hygiejniske aspekter, er der omkring genanvendelsen af gråt spildevand til toiletskyl en række æstetiske og driftsmæssige forhold, der kan medføre gener for brugere af baderumsbygningens faciliteter samt for anlægspasseren. Ved tidligere grävandsanlæg har specielt lugtgener været årsag til nedlukning af anlæg.

Af resultaterne fra det gennemførte projekt på Gals Klint vedr. genanvendelse af grävand til toiletskyl kan følgende konklusioner drages.

Det må på baggrund af det etablerede demonstrationsprojekt på Gals Klint konkluderes, at udgifterne til etablering af et grävandsanlæg med en behandlingskapacitet på 12 m<sup>3</sup>/d vil beløbe sig til ca. kr. 275.000,-, ekskl. moms. De årlige driftsudgifter må forventes at udgøre ca. kr. 7.750,- eller forventeligt ca. kr. 7,-/m<sup>3</sup> rensat og genbrugt gråt spildevand.

Den direkte afskrivningsperiode for grävandsanlægget på Gals Klint vil udgøre ca. 13 – 14 år. Betragtes samtlige danske kommuner, vil afskrivningsperioden i stort set alle kommuner være længere end 10 år.

Overordnet set må det konkluderes, at der p.t. kun er begrænset økonomisk potentiale i at etablere grävandsanlæg i kommuner hvor vandprisen ligger under ca. 40 – 50 kr./m<sup>3</sup>. Alternativt kræves, at besparelspotentialet ved genanvendelse af grävand ligger over ca. 1500 m<sup>3</sup>/sæson.

Evt. fremtidige stigninger i den samlede vandpris, kan dog forrykke dette billede på sigt, således det på sigt generelt bliver mere attraktivt at rense og genanvende gråt spildevand.

På baggrund af resultaterne fra funktionsafprøvningen, må det konkluderes at grävandsanlægget på Gals Klint biologisk renser det grå spildevand målt på de traditionelle spildevandsparametre til et meget lavt niveau. Organisk- og suspenderet stof og ammonium reduceres endda til et niveau under detektionsgrænsen. Ammonium, total fosfor, sulfid og olie/fedt reduceres tilsvarende til et niveau tæt på nul.

De miljøfremmede organiske stoffer, herunder bl.a. Phthalater, Phenoler mv., reduceres ligeledes til et niveau tæt på nul eller under detektionsgrænsen. Det skal dog bemærkes, at en del af disse parametre har et meget lavt koncentrationsniveau i det urensede grävand, hvorfor fjernelsesgraderne skal tages med et vist forbehold.

For en del af tungmetallerne sker en entydig reduktion fra et relativt højt koncentrationsniveau til et konsekvent noget lavere niveau. Dette gør sig gældende for Al, Ba, Cu og Zn, og delvist for K. For de øvrige metaller kan det konkluderes, at der for As, Ca, Mg, Na og Ni er en stor sandsynlighed for der ikke sker en fjernelse over sandfiltret. For de øvrige metaller kan det ikke konkluderes entydigt om der sker en ændring i koncentrationsniveauet over det biologiske sandfilter.

For samtlige mikrobiologiske parametre sker der over sandfiltret en reduktion på 97 – 99,9 %.

På baggrund af de gennemførte analyser på desinfektionen må det konkluderes, at der ved desinfektion med hydrogenperoxid opnås en renseseffekt, hvor samtlige parametre reduceres til et niveau modsvarende det mikrobielle krav til drikkevand. På baggrund af funktionsafprøvningen kan ikke fastsættes en generel anbefaling for doseringsniveauet for hydrogenperoxid, men for anlægget på Gals Klint skønnes et doseringsniveau på ca. 0,05 – 0,1 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/l gråvand at sikre en tilfredsstillende mikrobiel kvalitet på gråvandet, dvs. en mikrobiel kvalitet modsvarende kravene i drikkevandsbekendtgørelsen.

Der har under funktionsafprøvningen ikke været konstateret gener i forbindelse med anlægget, herunder bl.a. lugt- og støjgener. Endvidere har genbrugsvandet i hele perioden været klart og lugtfrit med undtagelse af en kortere periode hvor vandet blev gulligt grundet henstand i genbrugsbuffertank pga. fejl på spildevandspumpen. Såfremt anlægstypen i fremtiden evt. skal finde anvendelse bør de i afsnit 4.5.5 angivne anlægsforbedringer implementeres, således dette kan betjenes uden arbejdsmiljømæssige gener.

Med udgangspunkt i funktionsafprøvningen må det konkluderes, at gråvandsanlægget på Gals Klint har været velfungerende og rensset vandet til et, set fra et sundhedsmæssigt og spildevandsteknisk perspektiv, fornuftigt niveau.

På baggrund af ovennævnte vurderes det, at der generelt ikke vil være gener forbundet med genanvendelse af gråt spildevand til toiletskyl på Gals Klint. Det skal dog bemærkes, at gråvandets karakteristik og anlæggets udformning og drift er altafgørende for rensresultatet, hvorfor erfaringerne fra projektet ikke direkte og ukritiske kan anvendes til tilsvarende anlæg.

# Summary and conclusions

To further elaborate on the unit from Phase 1 of the project, the demonstration unit for the cleaning of grey water from douche rooms on camping sites was placed on Gals Klint Camping.

The demonstration unit has the following superior structure:

- Settling tank
- Inlet buffer tank (pumping station with buffer volume)
- Biological sandfilter
- Recycling buffer tank (storage tank for biologically treated grey water)
- Installation for disinfection (installation for dosing)

Detailed design for a demonstration unit on Gals Klint has been elaborated with basis in the design and experience from Phase 1 of the project. Invitation to tender was sent to selective contractors.

Due to the outcome of the tender and extra costs for groundwater lowering, as a result of a high groundwater level and sodden soil on Gals Klint, it was necessary to reduce the construction works and thus the total construction cost.

It was important that the functionality would not be altered by the adjustment of the project. Therefore it was decided to reduce the size of the biological sandfilter by 50%, thus maintaining the possibility of a later adjustment to treating dimension and capacity.

Construction works began primo April 2002 whilst the start/running-in was initiated ultimo May 2002. Running-in was expected to last 4 – 6 weeks due to the forming of a functional biofilm in the biological sandfilter. Grey water was led to and recycled in the plant throughout the entire running-in period.

After running-in a control analysis of the effect of biological treatment in the sandfilter was carried out. The result of this analysis showed that the sandfilter was fully operational after approx. 7 weeks.

Immediately upon termination of running-in, the test period started.

The purpose of testing the functionality of the grey water unit was to prove the cleaning effect of the biological treatment and the disinfection. Furthermore the purpose of testing was to gather practical experience on the operation of the grey water plant, on amongst others:

- Odour and noise
- Visual nuisances
- Working environment and behaviour
- Practical conditions

The DEPA's standard measure program was used as basis. The measure program is split in two groups, one with physical/chemical parameters and one with microbiological parameters.

Samples were taken three places during the functionality test:

1. In the inlet to the settling tank (untreated grey water)
2. In the recycling buffer tank (mechanically/biologically treated grey water)
3. In the cisterns in the douche room building (treated and disinfected grey water)

The sampling places were chosen to prove the effect of the mechanical/biological treatment and the disinfection.

Twelve samples were drawn in all, one in the inlet to the settling tank, three in the recycling buffer tank and eight in the cisterns.

Finally the grey water was disinfected with hydrogen peroxide (35%). The purpose of this was to reduce the number of micro-organisms in the biologically treated grey water to the lowest possible level and in this way determine the necessary dose of hydrogen peroxide, both from a hygienic and economic point of view. Apart from this, the disinfection served as additional oxygen potential for the water, reducing the risk of odour from water settling in the cisterns.

As mentioned above eight samples on the treated and disinfected grey water and one sample from a reference toilet with drinking water were drawn in the functionality test. Two samples were stored at room temperature by the accredited laboratory for three weeks before being analysed. The purpose was to control whether additional growth would occur over time.

Water, which is treated and reused in the households, in this case for toilet flush, must have a degree of purity corresponding to the drinking water quality as stated in Regulation no. 871 of 21/09-2001: "Regulation on water quality and supervision of water supplies".

As the grey water is solemnly used for toilet flush, it is primarily the content of microorganisms, which is interesting, but in principle all demands for quality must be observed. A comparison of the results of the analyses with the remediation values shows that the treated disinfected grey water from Gals Klint has a quality, which corresponds to drinking water on the microbiological parameters. However, please note that the content of microorganisms in the biologically treated grey water has been on a very low level, which must be taken into consideration when evaluating the efficiency.

Apart from the hygienic aspects, the reuse of grey water for toilet flush involves a number of aesthetic and operational circumstances, which can cause nuisances for the users and the caretaker of the facilities in the douche rooms. Especially odours have been a problem and have resulted in the closing down of earlier installations.

The following conclusions can be drawn from the present grey water project on Gals Klint:

The construction costs for a grey water unit with a treatment capacity of 12 m<sup>3</sup>/d amounts to approx. DKK 275,000.- excl. VAT. Yearly expenses are expected to amount to approx. DKK 7,750.- which equals approx. DKK 7.- /m<sup>3</sup> cleaned and reused grey water.

The direct depreciation is approx. 13 – 14 years. When considering all Danish Local Authorities on a whole, the depreciation period will be more than 10 years in practically all of them.

The overall conclusion is, that at present there is only a limited economic potential in constructing grey water units in Local Authorities where the water price is less than 40 – 50 DKK/m<sup>3</sup>. An alternative demand is, that the saving potential when reusing grey water is above approx. 1,500 m<sup>3</sup>/season.

A future rise in the total price of water may, however, have the effect that it will generally be more attractive to clean and reuse grey water.

Based on the results from the functionality test, the conclusion is that the grey water unit on Gals Klint biologically treats the grey water to a very low level when measured on traditional wastewater parameters. Organic and suspended matter and ammonium is reduced to a very low level, which is below the limit of detection. Ammonium, total phosphorus, sulphide and oil/grease are also reduced to a level close to zero.

The environmentally unacceptable substances, incl. Phthalate, Phenol etc. are reduced equally to a level close to zero or below the limit of detection. However, please note that a part of these parameters have a very low concentration level in the untreated grey water, why the degree of removal is with certain reservations.

A part of the heavy metals is reduced from a relatively high concentration level to a consequently lower level. This applies to Al, Ba, Cu and Zn, and partly to K. The conclusion for the other metals is that As, Ca, Mg, Na and Ni are very likely to remain unchanged in the sandfilter. No unambiguous conclusion can be drawn on changes in the concentration level for other metals in the biological sandfilter.

The sandfilter reduces the microbiological parameters by 97 – 99,9%.

The conclusion of the disinfection analyses is that disinfection with hydrogen peroxide has the effect of reducing all parameters to a level corresponding to the microbial demand for drinking water. A general recommendation for the dosing level of hydrogen peroxide cannot be established with basis in the functionality test, but for the unit on Gals Klint a level of approx. 0.05 – 0.1 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/l grey water, is estimated to secure a satisfactorily microbial quality of grey water, that is a quality corresponding to the demands in the Regulation on Drinking Water.

The functionality test has not shown any nuisances in connection with the installation including odour and noise. Furthermore in entire period, the recycled water has appeared clear and odourless, with the exception of a shorter period, where the water turned yellowish due to settling in the recycling buffer tank caused by damage on the wastewater pump. If this type of installation shall be used in the future, the conditions stated in section **4.5.5**

shall be implemented to operate the installation without annoyances in the working environment.

Based on the result from the functionality test it is concluded that the grey water unit on Gals Klint has been operating very satisfactorily and has cleaned the water to a acceptable level with regards to health factors and wastewater techniques.

Based on the above we estimate that generally no nuisances are connected with the reuse of grey water for toilet flush on Gals Klint. However, please note that the characteristics of the grey water and the design of the plant is essential for the result of the treatment, for which reason the experience drawn from the project cannot be used directly and uncritically in other similar units.

# 1 Demonstrationsanlæg på Gals Klint

## 1.1 Indledning

Udgangspunktet for etablering af et demonstrationsanlæg til rensning af det grå spildevand fra baderumsbygningen på Gals Klint, er den valgte anlægsopbygning fra projektets fase 1 /1/.

Der tages således udgangspunkt i et anlæg med nedenstående overordnede opbygning:

- Forklaringstank
- Indløbsbuffertank (pumpestation m. buffervolumen)
- Biologisk sandfilter
- Genbrugsbuffertank (lagertank for biologisk rensset gråvand)
- Desinfektionsanlæg (doseringsanlæg),

## 1.2 Dimensioneringsgrundlag

I projektets fase 1 er dimensioneringsgrundlaget fastlagt på baggrund af hhv. registreringer af vandforbruget på Gals Klint, litteraturstudie samt udførte spildevandsanalyser på gråvand fra Gals Klint.

I tabel 1 og 2 er de dimensionsgivende parametre fra /1/ gengivet.

Parameter	Dimensionsgivende
Maksimalt vandforbrug til toiletskyl	12 m <sup>3</sup> /d
Maksimalt timevandforbrug til toiletskyl	3 m <sup>3</sup> /h
Maksimalt vandforbrug til brus og håndvaske	20 m <sup>3</sup> /d
Maksimalt timevandforbrug til brus og håndvaske	4 m <sup>3</sup> /h

Tabel 1. Hydrauliske dimensioneringsparametre.

Parameter	Enhed	Dimensionsgivende
pH	-	7 – 8
COD (Cr)	mg O <sub>2</sub> /l	300
BOD <sub>5</sub>	mg O <sub>2</sub> /l	150
SS	mg SS/l	50
PO <sub>4</sub> -P	mg PO <sub>4</sub> -P/l	0,5
Total-P	mg TP/l	1,0
Total-N	mg TN/l	7,0

Tabel 2. Dimensionsgivende spildevandsparametre.

Udover de ovennævnte dimensionsgivende værdier, skal endvidere tages hensyn til døgn- og sæsonvariationer, samt en række øvrige parametre såsom lugt, hygiejne mv. /1/.



### 1.3 Anlægsdimensionering

I projektets fase 1 /1/ blev der, på baggrund af de dimensionsgivende parametre angivet i afsnit 1.2, gennemført en dimensionering af anlæggets enkelte komponenter, dvs. forklaringstanken, det biologiske sandfilter, indløbsbuffertank og genbrugsbuffertank.

I afsnittene 1.3.1 - 1.3.2 gennemgås dimensioneringen af disse delkomponenter overordnet. For en detaljebeskrivelse af dimensioneringen henvises til /1/.

#### 1.3.1 Forklaringstank

Forklaringstanken har overordnet til formål at sikre, at slam, suspenderet stof, fedtstoffer mv. i størst muligt omfang udskilles fra det grå spildevand, således disse ikke aflejres andre steder i anlægget med efterfølgende tilstopninger og lugtgener til følge.

For et demonstrationsprojekt på Gals Klint Camping er der valgt en bundfældningstank med et volumen på 3,5 m<sup>3</sup>, baseret på en tømningfrekvens på ca. to tømninger pr. sæson.

#### 1.3.2 Indløbs- og genbrugsbuffertank

Af hensyn forsyningsikkerheden mht. det rensede gråvand, samt for at udnytte det biologiske sandfilters kapacitet bedst muligt, er der i anlægskonceptet indbygget to buffertanke. Årsagen til, at der er behov for to buffertanke er, at produktionen af gråt spildevand og forbruget af rensed gråvand til toiletskyl varierer over døgnet, således der i perioder er en overproduktion af gråvand (i forbindelse med bad morgen/aften), og i andre perioder et behov for en større vandmængde til toiletskyl end der produceres.

Indløbsbuffertanken fungerer således som buffertank for det urensede grå spildevand, således variationerne i gråvandsproduktionen udlignes over døgnet. Indløbsbuffertanken fungerer endvidere som pumpestation for indpumpning af gråvand til det biologiske sandfilter.

Genbrugsbuffertanken er opsamlings- og lagertank for det biologisk rensede gråvand. Herfra pumpes vandet via desinfektion til toiletterne.

For at optimere både tankvolumenernes størrelse samt det biologiske sandfilter, er der på baggrund af de dimensionsgivende parametre (afsnit 1.2), i projektets fase 1 blevet gennemført en række simuleringer af variationerne i de to buffertanke.

På basis af undersøgelserne, er der valgt buffervolumener som angivet i tabel 3.

-	Buffervolumen (m <sup>3</sup> )
Indløbsbuffertank	3,0
Genbrugsbuffertank	1,5

Tabel 3. Beregnede buffervolumener.

### 1.3.3 Biologisk sandfilter

Det biologiske sandfilters daglige behandlingskapacitet er som angivet i afsnit **1.2** sat til  $12 \text{ m}^3/\text{d}$ .

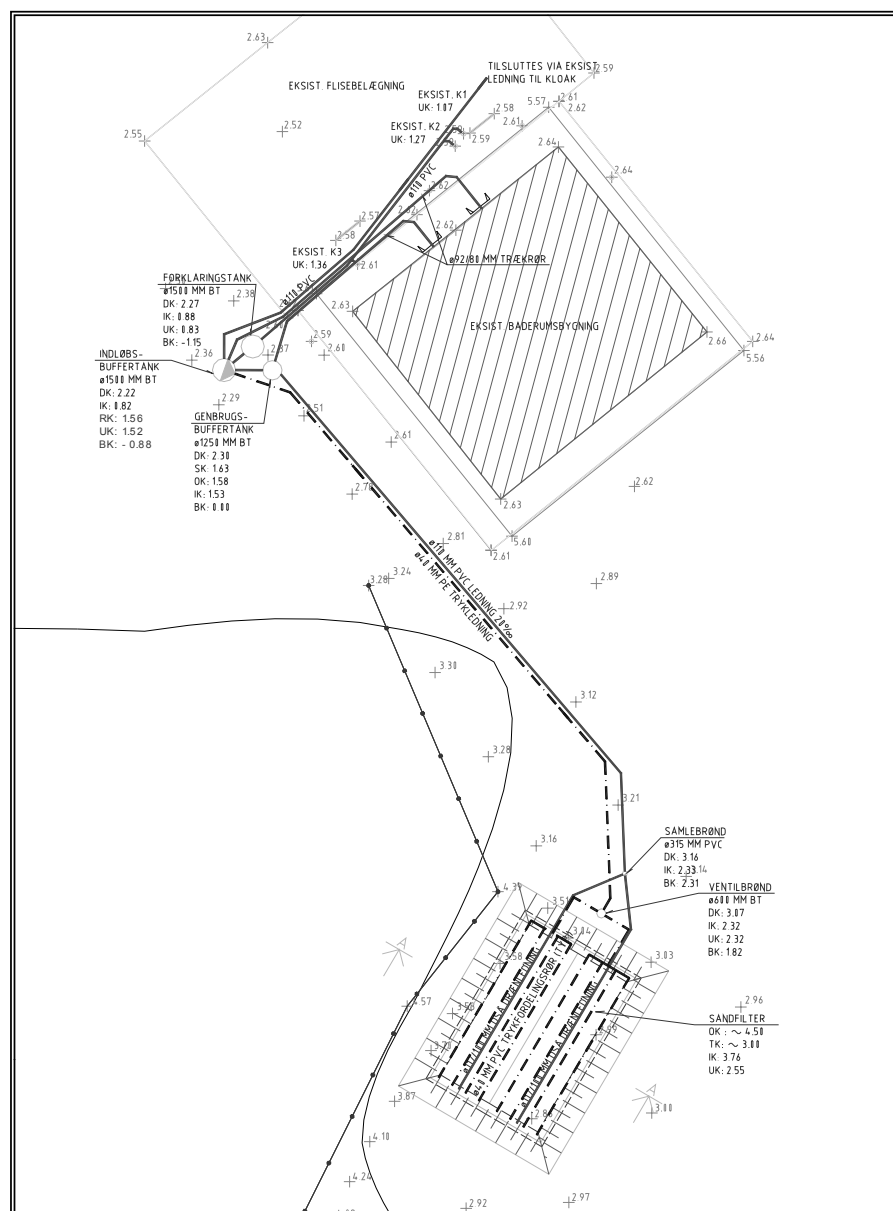
Da der er tale om et mindre sandfilteranlæg, valgtes med udgangspunkt i **/2/** og **/10/**, en dimensionsgivende belastning på  $20 \text{ g BOD}_5/\text{m}^2 \cdot \text{d}$ , hvilket giver et areal af det biologiske sandfilter på ca.  $90 \text{ m}^2$  baseret på en behandlingskapacitet på  $12 \text{ m}^3/\text{d}$ .

## 2 Detailprojekt

På baggrund af anlægsdimensioneringen fra projektets fase 1, gengivet i afsnit 1.3, blev et detailprojekt for etablering af et demonstrationsanlæg på Gals Klint udarbejdet.

Detailprojektet for etablering af grävandsanlægget dannede grundlag for entreprenørernes tilbudspriser. I afsnit 2.1 hhv. 2.2, er dele af detailprojektet gengivet for anlæggets hovedkomponenter, herunder bl.a. anlægsarbejder og VVS installationer.

Anlæggets placering er gengivet på oversigtsplanen, figur 3.



Figur 3. Oversigtsplan for grävandsanlæg

## 2.1 Anlægsarbejder

### 2.1.1 Forklaringstank

Forklaringstanken etableres som en Ø1500 mm betonbrønd, der afsluttes med betondæk, topring og Ø600 mm betondæksel. Betondæk afsluttes ca. 100 mm under færdigafrettet terræn.

Indløb til brønden forsynes med standard Ø110 mm pvc T-stykke. På udløb monteres Ø315 x 2700 mm pvc indsatsbrønd forsynet med T-stykke. Indsatsbrønd kan evt. være en standard indsatsbrønd der efterfølgende forhøjes.

Mandehul i betondæk centrerer, således evt. spuling af både ind- og udløbsarrangement kan foretages.

### 2.1.2 Indløbsbuffertank

Indløbsbuffertank etableres som en Ø1500 mm betonbrønd, der afsluttes med betondæk, topring og Ø600 mm betondæksel. Betondæk afsluttes ca. 100 mm under færdigafrettet terræn.

Tanken forsynes med spildevandspumpe med en pumpeydelse på min. 5 l/s ved 14 m geometrisk løftehøjde. Pumpe monteres med rustfrit guiderør og guidefæste.

Mandehul i betondæk skal placeres således pumpe kan hejses op.

Kabler mv. fra pumpe i indløbsbuffertank føres via trækrør til teknikrum i baderumsbygning.

### 2.1.3 Ventilbrønd

Ventilbrønd etableres som Ø600 mm betonbrønd. Brønden føres 50 mm over terræn og afsluttes med Ø600 mm betondæksel.

Centralt i ventilbrønden opdeles trykledningen i to strenge via T-stykke. De to udløb fra ventilbrønden forsynes med Ø40 mm pvc kuglehaneventil, maks. tryk 16 bar (v. 20 °C).

### 2.1.4 Biologisk sandfilter

Opbygningen af det biologiske sandfilter følger i hovedtræk retningslinierne angivet i /10/, er vist på figur 4 og 5.

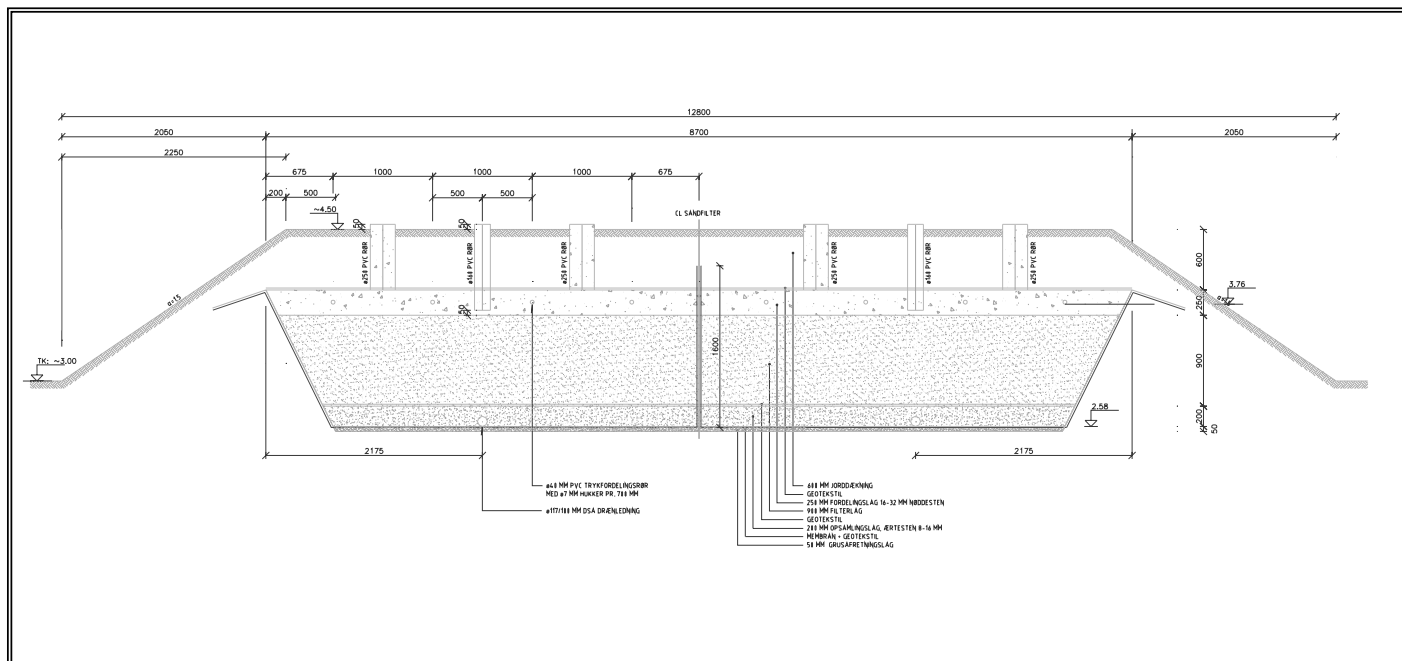
Det skal bemærkes, at sandfiltret opbygges i to separate sektioner, adskilt ved membran.

Til opbygning af fordelerlag, filter og drænlag anvendes vaskede materialer uden indhold af ler eller silt.

Sandfiltrets bund og sider tættes med membran, der placeres på et 50 mm grusafretningslag med  $d_{\max} < 5$  mm. På siderne af anlægget renses jorden af for skarpe sten og lign., der kan skade membranen. Membranen udlægges i ét

stykke, alternativt sammensvejt af flere stykker. Der anvendes en HDPE membran med en tykkelse på 1,0 mm.

Membranen anvendes desuden til adskillelse af de to sandfiltersektioner. Adskillelsen udføres ved, at membranen "foldes", således en skillevæg opstår, se figur 4.



Figur 4. Biologisk sandfilter - Snit

Over membranen placeres en ikke vævet geotekstil med en materialevægt på mindst  $180 \text{ g/m}^2$  og en tykkelse på mere end 1,5 mm (ved 2 kPa overlejringstryk).

Sandfiltrets bund og drænlag etableres med et fald på 2 ‰ fald mod udløb af sandfilter.

Direkte over geotekstilet lægges drænrør Ø117/100 mm DSA. Dræn føres til terræn (top af færdig sandfilteranlæg), og afsluttes med udluftningshætte. Selve drænlaget opbygges af vaskede ærtesten (8 – 16 mm). Drænlaget udlægges løst i et 200 mm tykt lag. Der må ikke køres med maskiner på laget.

Over drænmaterialet udlægges en åben geotekstil med tilstrækkelig styrke til at modstå evt. påvirkninger under installationsarbejdet. Geotekstilet skal være en ikke vævet type, have en vandgennemtrængelighed på tværs af geotekstiles plan på min.  $20.000 \text{ l/m}^2/\text{d}$  og en brudforlængelse på mindst 25%. Geotekstilet udlægges som ét stykke, eller i baner med et overlap på min. 300 mm.

Filterlaget opbygges af filtersand. Filtersandet skal være vasket og have et uensformighedstal ( $U = d_{60}/d_{10}$ ) mindre end 3,5. Kornstørrelsen skal karakteriseres ved, at  $d_{10}$  ligger mellem 0,5 og 1,2 mm og  $d_{60}$  mellem 2 og 4 mm. Der må ikke forefindes ler eller silt i filtersandet, maks. 0,5 % må være mindre end 0,125 mm. Mindre afvigelser i filtersandets karakteristik kan accepteres.

Filtersandet udlægges løst uden komprimering.

Fordelerlaget opbygges af vaskede nøddesten (16 – 32 mm), og udlægges løst i et 250 mm tykt lag.

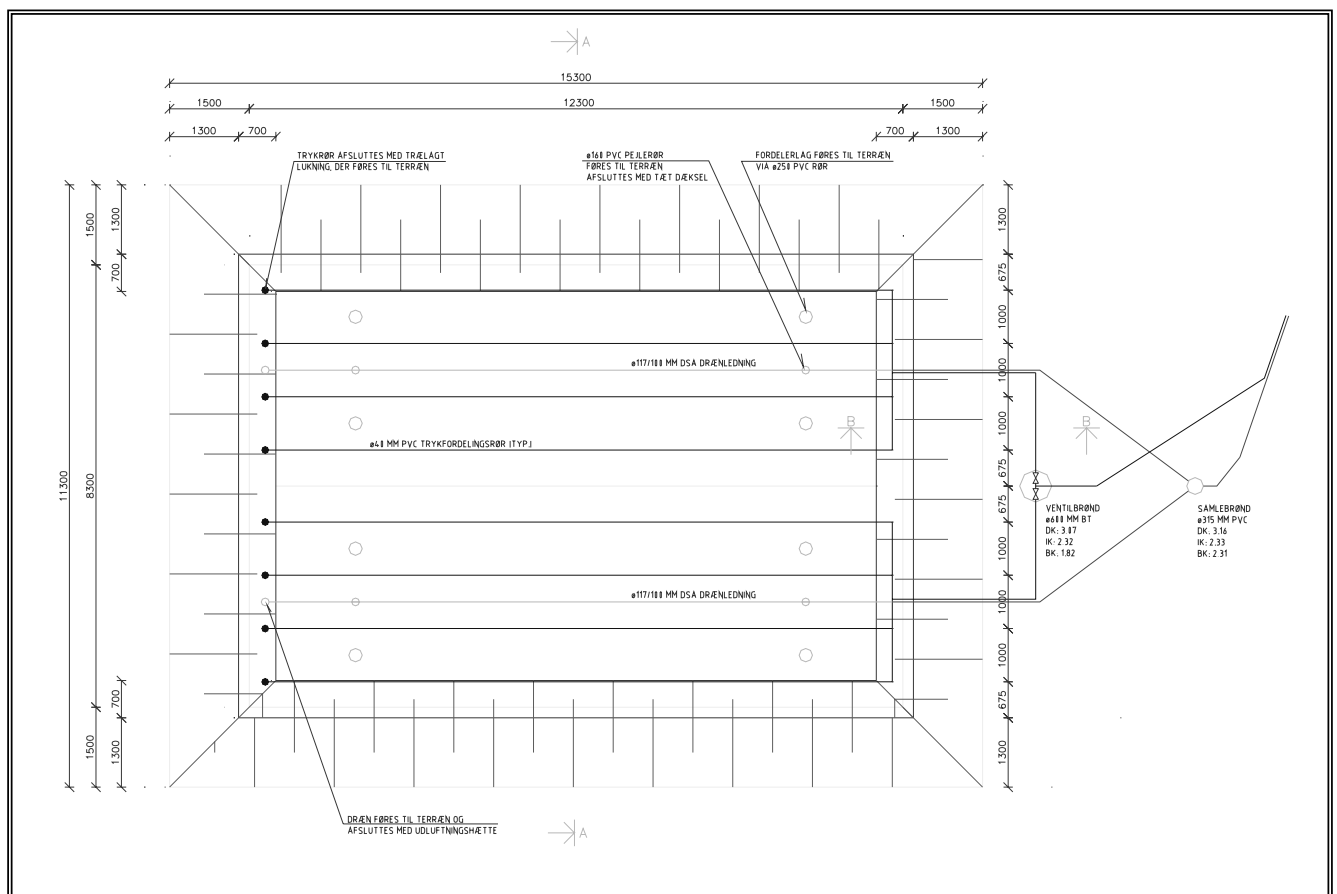
Fordelerrørene placeres 100 mm over bund af fordelerlaget.

Trykfordelerrørene placeres med 1 meters indbyrdes afstand. Alle bøjninger skal forankres og rørene lægges vandret. Manifold placeres i selve drænlaget. Enden af tryksivstrengene føres 50 mm over terræn og afsluttes med trækfast lukning, således sivestrengene kan spules. Der anvendes Ø40 mm tryksivør, med en hulafstand på ca. 700 mm. Der anvendes præfabrikerede tryksivstrengene.

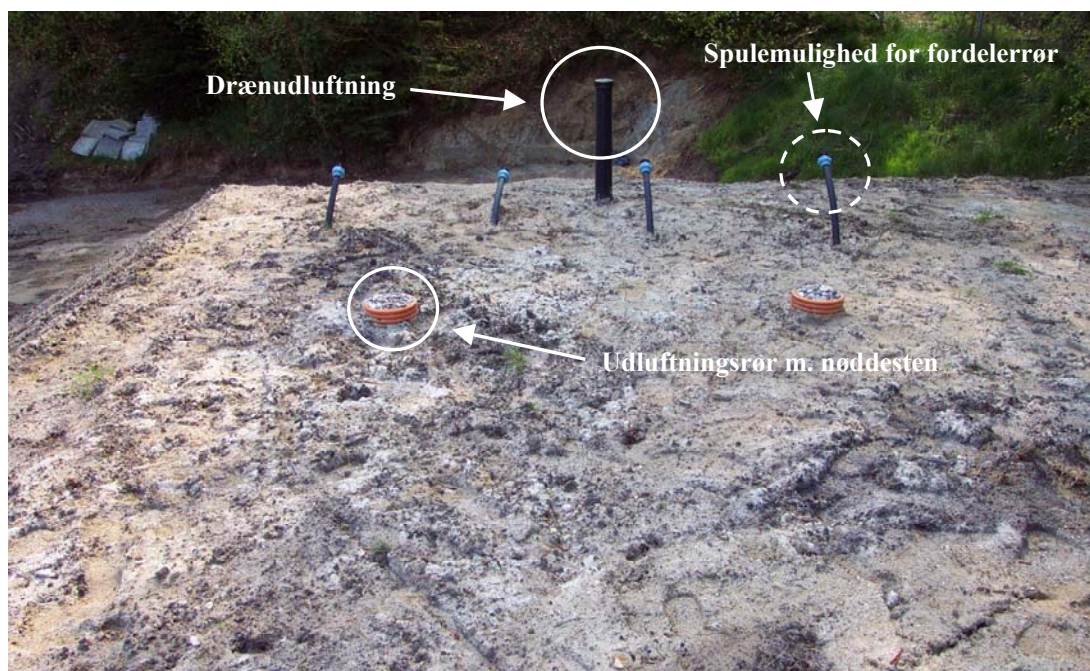
Fordelerlaget udluftes via Ø250 mm pvc rør. Røret placeres 50 mm nede i fordelerlaget, og føres 50 mm over færdigafrettet terræn. Røret fyldes med nøddesten (16 – 32 mm).

Inspektions-/pejlerør, Ø160 mm pvc, placeres 200 mm nede i fordelerlag. Røret føres 50 mm over færdigafrettet terræn. Røret afsluttes med tæt rørprop el. lign.

Placering af trykrør, udluftning og inspektionsrør fremgår af figur 5 og 6.



Figur 5. Biologisk Sandfilter - Plan



Figur 6. Placering af udluftningsrør samt spulemulighed.

Over fordelerslaget udlægges geotekstil af en ikke vævet type. Geotekstilen skal have en vandgennemtrængelighed på min. 20.000 l/m<sup>2</sup>/d og en brudforlængelse på mindst 25%.

Sandfiltret afsluttes med 600 mm jorddækning. Den eksisterende jord kan anvendes til jorddækning.

Da sandfiltret placeres umiddelbart ved siden af en eksisterende skrænt, opfyldes arealet mellem sandfilter og skrænt med jord, således det biologiske sandfilter fremstår som en naturlig del af skrænten.

#### 2.1.5 Samlebrønd

Samlebrønden etableres som en Ø400 mm pvc brønd, der afsluttes med betonkegle og betondæksel.

#### 2.1.6 Genbrugsbuffertank

Genbrugsbuffertanken etableres som en Ø1250 mm betonbrønd, der afsluttes med betondæk, topring og Ø600 mm betondæksel, alternativt Ø1250 mm betonkegle og Ø600 mm betondæksel. Keglen afsluttes ca. 50 mm over terræn.

Indløbsrør føres via T-stykke til bund af tank hvor der afsluttes med 2 x 87,5° rørbøjning.

Via kabelrør føres 2 x 1" armeret plastslange fra baderumsbygning til genbrugsbuffertank. Begge slanger skal have en længde på min. 5 lbm ekstra slange til rådighed i hhv. baderumsbygning og genbrugsbuffertank.

Genbrugsbuffertanken forsynes med 1 stk. niveauiippe. Kabel til niveauiippe føres via kabelrør til baderumsbygning.

Indtaget til jetpumpe påmonteres svømmende sugefilter type SAFF. Det svømmende sugefilter består af et finfilter, en svømmekugle og en kontraventil, se figur 7. Finfilteret består af et fint, stort og stabilt filtervæv af rustfrit stål med en maskestørrelse på 0,23 mm.





Figur 7. Sugefilter.

Formålet med sugefiltret er, at sikre partikler, samt evt. flyde eller bundslam ikke pumpes til cisternerne i baderumsbygningen.

## 2.2 VVS arbejder

### 2.2.1 Montage af jetpumpe og tilslutning af spildevandspumpe

I forbindelse med genbrugsbuffertank monteres en selvansugende centrifugalpumpe, som Grundfos jetpumpe type JP6 med preskontrol samt 24 l membrantank, trykafbryder, manometer samt adapter, eller tilsvarende pumpe af andet fabrikat. Pumpe monteres i teknikrum.

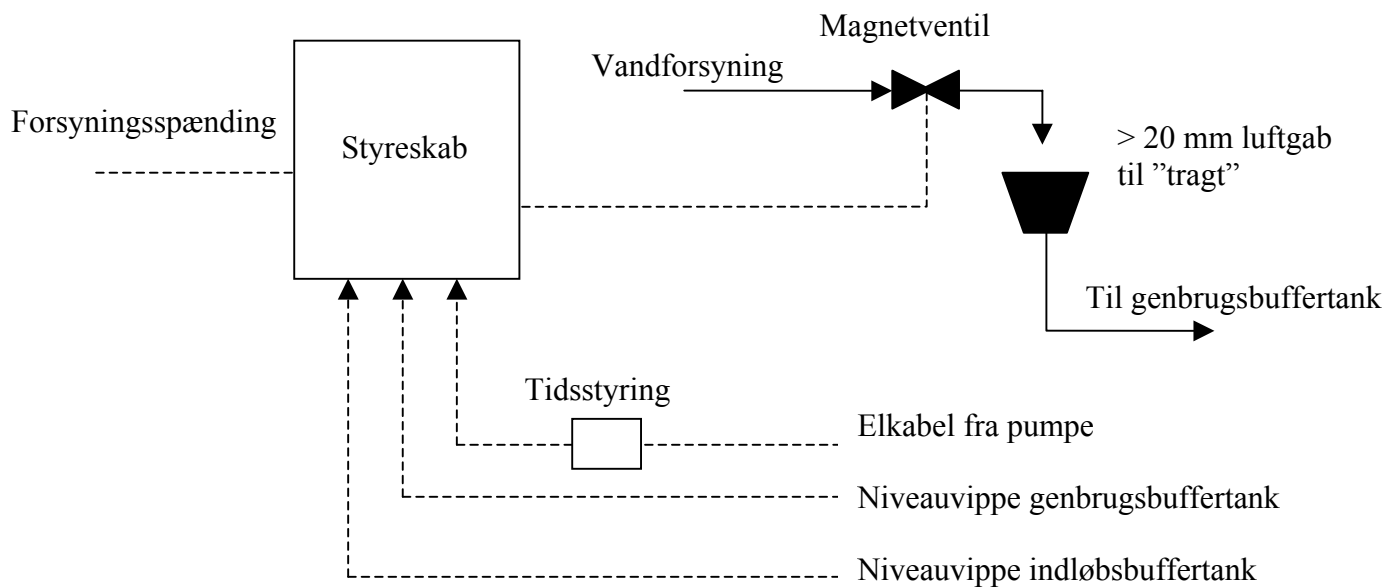
Styreskab for spildevandspumpe placeret i indløbsbuffertank monteres i teknikrum sammen med jetpumpe. Magnetventil beregnet for tilslutning af vandforsyning fra offentligt net, samt arrangement med luftgab, monteres på plade der opsættes på væg i forbindelse med styreskab. Ventilen tilsluttes således denne åbner når niveauvippen i genbrugsbuffertanken giver lav vandstands signal. Forbindelsen fra den offentlige vandforsyning til grävandsanlægget følger beskrivelse i "Brug af regnvand til wc-skyl og vaskemaskiner i boliger, Rørcenter-anvisning 003", se endvidere figur 8.

Efter montage af styreskab tilsluttes spildevandspumpen.

I styreskab er monteret en timerenhed for drift af spildevandspumpen. Timerenheden skal som minimum kunne indstilles som angivet herunder:

- Min. 20 Start/stop cyklusser (pumpen starter og stopper 20 gange i døgnet)
- Indstillingsinterval på minutbasis.

Det skal bemærkes, at magnetventil og niveauvippe for spædevandspåfyldning fungerer uafhængigt af spildevandspumpens drift, og således ikke er tidsstyret.



Figur 8. Principskitse spædevandstilførsel og tidsstyring.

### 2.2.2 Tilslutninger

Fra grävandsanlægget er trukket 2 stk. 1" armeret plastslange. Den ene slange monteres på indtag til jetpumpen, den anden på afløb fra "tragt" (jf. fig. 8). Der etableres 1" rørføring fra tilslutningsstederne hen til slanger i kabelrør, slangerne skal således ikke anvendes som transportledninger inde i selve teknikrummet.

Fra jetpumpe laves en midlertidig tilslutning til to toiletter i herreafdelingen.

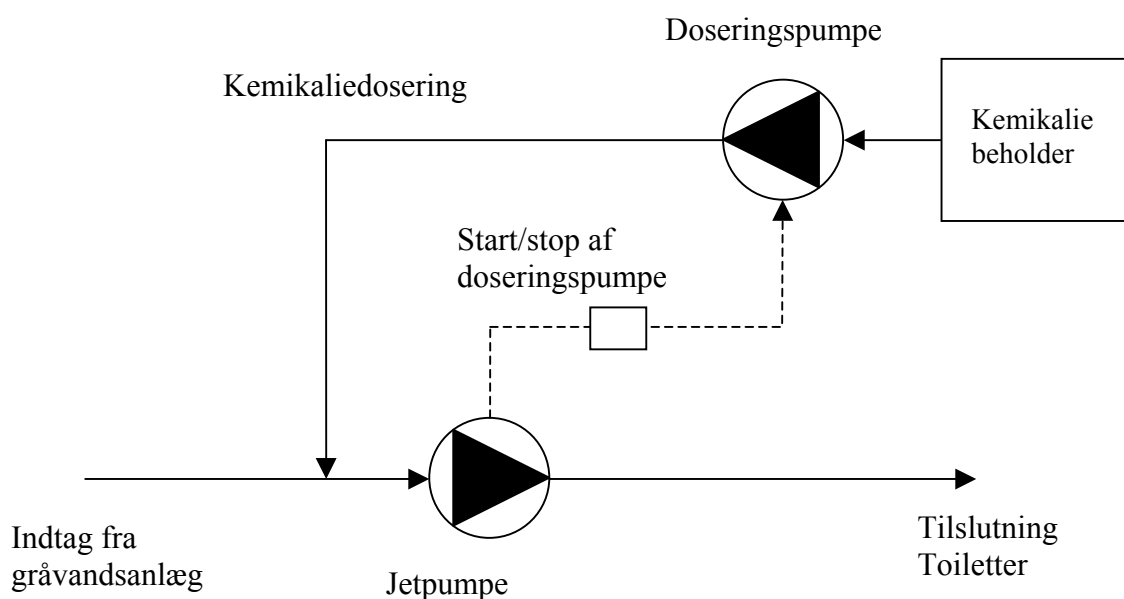


### 2.2.3 Kemikaliedoseringsanlæg

Kemikaliedoseringsanlæg bestående af kemikaliedoseringspumpe, styring og kemikaliebeholder.

Som desinfektionsmiddel anvendes hydrogenperoxid (35 %)

Driften af doseringspumpen følger driften af jetpumpen. Styringen består således af en on/off kobling der automatisk tilkobler strømforsyning til doseringspumpen, når jetpumpen starter, og afbryder denne igen når jetpumpen stopper, jf. fig. 9. Denne driftsform medfører, at hydrogenperoxiden doseres kontinuerligt som pulser ved indpumpning af rensset gråvand til cisternerne.



Figur 9. Principskitse for kemikaliedoseringsanlæg.

Kemikaliedoseringsanlægget monteres i baderumsbygningens teknikrum sammen med jetpumpe, se figur 10.



Figur 10. Kemikaliedoseringsanlæg, jetpumpe og spædevandstilførsel.

## 3 Etablering af gråvandsanlæg

### 3.1 Licitation

Licitationen afholdtes fredag, den 22. februar 2002 hos RAMBØLL i Odense, i overværelse af samtlige de bydende entreprenører.

Udbudsformen var begrænset licitation med laveste bud som tildelingskriterium.

Resultatet af licitationen blev, at Munkholm & Andersen Entreprenørfirma A/S afgav laveste pris på kr. 253.910,-.

Ovennævnte pris var ekskl. uforudsete udgifter og moms. I prisen var indeholdt et mindre tillægsbeløb for anvendelse af PP rør som alternativ til PVC rør.

Hertil skulle lægges omkostningerne til VVS arbejder, herunder el-arbejder, tilslutning og kemikaliedoseringspumpe der udgjorde i alt kr. 14.850,- ekskl. moms.

### 3.2 Projekttilpasninger

Grundet resultatet af licitationen, samt ekstraudgifter til grundvandssænkning som følge af høj grundvandsstand og opblødt jordbund på Gals Klint, var det nødvendigt at foretage reduktioner i anlægsarbejderne, for herigennem at reducere den samlede anlægssum.

Projekttilpasningerne søgtes gennemført, således anlæggets funktionalitet ikke ændres, herunder muligheden for en evt. senere tilpasning til behandling af den dimensionsgivende anlægskapacitet.

På denne baggrund valgtes flg. besparelser:

1. Reduktion af størrelsen på det biologiske sandfilter med 50 %.
  - 1.1. Herved reduceres behandlingskapaciteten tilsvarende med 50 %, dog kan sandfiltret senere evt. udvides med en ekstra sektion. Udover en halvering af filterarealet spares endvidere etablering af sektionsoptagningen i form af skillevæggen.
  - 1.2. Netop af hensyn til en evt. fremtidig udvidelse af anlægget valgtes det der ud over ikke at reducere på størrelsen af tankvolumener. En sådan ændring vil desuden kun give en begrænset prisreduktion.
2. Ventilbrønd for omkobling af sandfiltersektioner bortfalder
  - 2.1. Brønden havde til formål at kunne aflukke begge filtersektioner, samtidig eller separat. Brønden bortfalder, da den med halveringen af sandfiltret ikke længere har et formål.

Ovennævnte projekttilpasninger medførte efter forhandling med entreprenøren en prisreduktion modsvarende i alt kr. 29.250,- ekskl. moms.

De i ovenfor beskrevne tilpasninger af anlægsstørrelsen, blev implementeret i udførelsen. Efter endt udførelse kunne den endelige anlægspris inkl. uforudsete udgifter, herunder grundvandssenkning, spulebrønd mv. derfor opgøres til i alt kr.259.500,- ekskl. moms.

Det etablerede anlæg vil grundet halveringen af størrelsen på det biologiske sandfilter kun have en behandlingskapacitet på ca. 50 % af den oprindelig fastsatte kapacitet på 12 m<sup>3</sup>/d.

### 3.3 Udførelse

Etableringen af grävandsanlægget skulle iflg. den oprindelige tidsplan være påbegyndt 4. marts 2002, og afsluttet senest 22. marts 2002. Den 28. februar kunne det imidlertid konstateres, at de store mængder regnvand i perioden havde medført decideret opblødt bund på Gals Klint, hvorfor det skønnedes, at anlægsarbejdet ikke kunne gennemføres under de daværende forhold. Disse forhold medførte, at etableringen blev gennemført efter campingsæsonens opstart, hvilket følgelig kan medføre gener for pladsens gæster.

Netop af hensyn til pladsens gæster, var arbejdet planlagt således, at anlægsarbejder omkring baderumsbygningen påbegyndes og afsluttes inden de øvrige arbejder iværksættes. Sekundært etableres transportledninger til og fra det biologiske sandfilter samt selve sandfiltret. Sidste del af arbejdet er VVS arbejder mv. indendørs i baderumsbygningens teknikrum, der udføres sidst da disse arbejder ikke påvirker campingpladsens drift.

Selve etableringsarbejdet blev påbegyndt 9. april, hvor der blev iværksat grundvandssenkning for etablering af tankanlægget bestående af forklaringstank, indløbsbuffertank og genbrugsbuffertank, se figur 11.



Figur 11. Tankanlæg.

I forbindelse med etableringen af tankanlægget blev kabelrør og spildevandsledninger ved baderumsbygning nedgravet.

Det blev her nødvendigt at etableres en ekstra spulebrønd med sandfang, da eksisterende vand- og spildevandsledninger ikke gjorde det muligt at tilslutte udløb fra grävandssamlebrønde til tilløbsledningen til anlægget, se figur 12.





Figur 12. Etablering af kabelrør og spildevandsledninger ved baderumsbygning.

Parallelt med etablering af tank- og ledningsanlæg blev anlægsarbejderne omkring det biologiske sandfilter påbegyndt. Anlægget blev etableret som et mileanlæg af hensyn til både den høje grundvandsstand, samt det forhold at det rensede gråvand skal gravitere tilbage til genbrugsbuffertanken. Sandfiltret opbyggedes "lagvist" som angivet i afsnit 2.1.4. De enkelte lag, herunder drænlag, filtergrus og fordelerlag udlægges maskinelt uden kørsel på selve anlægget, se figur 13.





Figur. 13. Etablering af biologisk sandfilter – Udlægning af filtergrus.

Etableringen af de biologiske sandfilter blev afsluttet tre dage efter påbegyndelsen. Det færdige biologiske sandfilter er vist på figur 14.

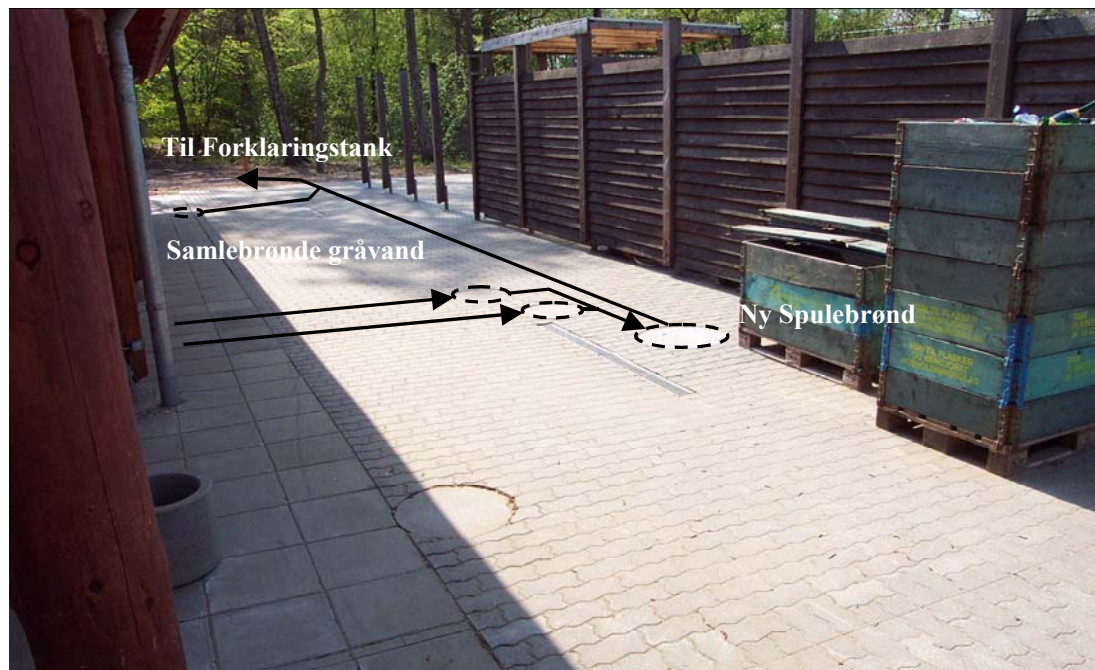


Figur 14. Det biologiske sandfilter

### 3.4 Overordnet funktionsbeskrivelse

I nærværende afsnit gives en overordnet funktionsbeskrivelse af gråvandsanlægget. For en uddybende beskrivelse henvises til /1/.

Det grå spildevand fra baderumsbygningen ledes separat til tre gråvandssamlebrønde der er placeret langs baderumsbygningens ene side, se figur 15.



Figur 15. Opsamling af gråt spildevand.

Det grå spildevand ledes fra de tre samlebrønde via tilløbsledningen til forklaringstanken til den mekaniske rensning.

Fra forklaringstanken løber vandet til indløbsbuffertanken, hvorfra det pumpes videre til det biologiske sandfilter. Efter biologisk rensning i sandfiltret graviteres vandet tilbage til genbrugsbuffertanken, hvor det lagres.

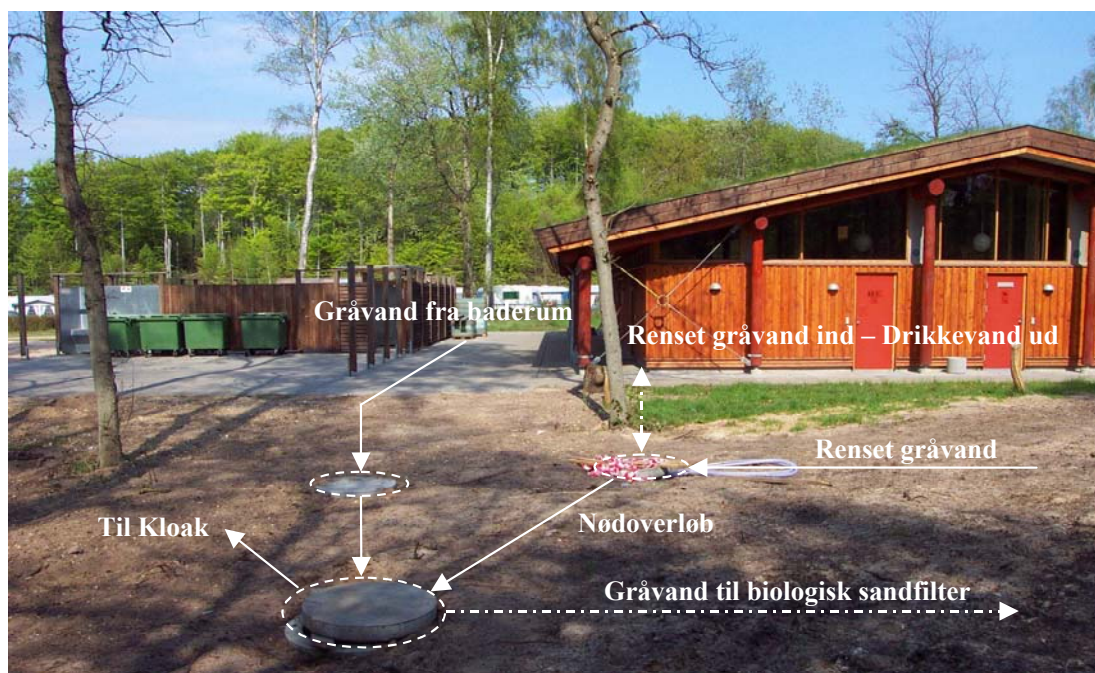
Det biologisk rensede vand pumpes ind i baderumsbygningen for desinfektion og ledes herefter til cisterne.

I perioder hvor der kun anvendes begrænsede mængder genbrugsvand, er genbrugsbuffertanken udført med nødoverløb til indløbsbuffertanken. Herved recirkuleres det rensede gråvand, og det sikres at vandet i genbrugstanken løbende udskiftes. I perioder hvor der forbruges mere genbrugsvand end der produceres, aktiveres spædevandstilførslen via niveauvippe, og spædevand ledes direkte til genbrugsbuffertanken fra baderumsbygningen.

Såfremt der totalt set over døgnet produceres mere gråvand end der forbruges og er lagerkapacitet til i de to buffertanke, træder overløbet fra indløbsbuffertanken i kræft, og gråvandet ledes herefter til offentlig kloak.

På figur 16 er gråvandsanlæggets overordnede flow illustreret.





Figur 16. Princip af gråvandsanlæggets funktioner og flow.

### 3.5 Opstart og indkøring af anlæg

Opstart og indkøring af gråvandsanlægget blev iværksat 24. maj 2002.

Indkøringsfasen der forventedes at vare ca. 4 – 6 uger, er en nødvendighed for opbygning af en funktionel biofilm i det biologiske sandfilter. I hele perioden blev gråt spildevand tilledt og recirkuleret over anlægget.

På grund af den reducerede størrelse af det biologiske sandfilter, blev belastningen sat til 50 % af den oprindelige dimensionsgivende kapacitet, dvs. ca. 6 m<sup>3</sup>/d. Der blev i forbindelse med opstarten gennemført en kontrol af den faktiske pumpeydelse i indløbsbuffertanken. Pumpeydelsen blev kontrolleret ved niveauekontrol i indløbsbuffertanken, hvor der over tre kontinuerede pumpeperioder af 5 minutters varighed blev foretaget 15 registreringer af det bortpumpede volumen. I forbindelse med kontrollen blev returløbet fra det biologiske sandfilter afproppet, dog var der en mindre tilstrømning af gråvand fra baderumsbygningen, hvorfor det faktiske flow er en anelse højere end det registrerede.

På baggrund af registreringen af pumpeydelsen blev det gennemsnitlige flow bestemt til ca. 0,9 l/s.

Erfaringer omkring driften af biologiske sandfiltre viser, at et trykssystem med stødvis belastning giver den bedste udnyttelse af filterarealet /2/.

På denne baggrund og med udgangspunkt i den tidligere opstillede driftscyklus /1/, opstilledes en revideret driftscyklus som angivet i tabel 8.

Periode	Drift	Belastning
kl. 06.00 – 01.00	5,5 min drift hver hele time	ca. 5,9 m <sup>3</sup> /d
kl. 01.06 – 05.59	Hvileperiode	-

Tabel 8. Driftscyklus grävandsanlæg.

Ovennævnte driftscyklus blev bibeholdt i hele afprøvningsperioden.

Efter endt indkøring af anlægget blev der foretaget en kontrolanalyse af effekten af den biologiske rensning i sandfiltret, se tabel 9.

Parameter	Kontrolværdi
SS	< 5 mg SS/l
BOD <sub>5</sub>	< 2 mg O <sub>2</sub> /l
COD (Cr)	17 mg O <sub>2</sub> /l

Tabel 9. Kontrolanalyse på biologisk rensset grävand.

Som det fremgår af resultatet af kontrolanalysen, må det biologiske sandfilter betragtes som værende indkørt og fuldt funktionsdygtigt efter 7 uger.

# 4 Funktionsafprøvning af gråvandsanlæg

## 4.1 Indledning

Funktionsafprøvningen af gråvandsanlægget har til formål, at dokumentere renseseffekten af hhv. den biologiske rensning og desinfektionen. Afprøvningen har endvidere til formål, at indsamle praktiske erfaringer med driften af gråvandsanlægget, herunder bl.a.:

- Lugt- og støjgener
- Visuelle gener
- Arbejdsmiljø og adfærdsregulering
- Praktiske driftsforhold

## 4.2 Måleprogram

Som udgangspunkt for måleprogrammet anvendes Miljøstyrelsens standardmåleprogram baseret på /6/.

Måleprogrammet er opdelt i to grupper, en bestående af fysisk-/kemiske parametre, tabel 10, samt en gruppe bestående af en række mikrobiologiske parametre, tabel 11.

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

Tabel 10. Fysisk-/kemiske parametre.

Mikrobiologiske parametre
Kimtal 22 °C
Kimtal 37 °C
Coliforme bakterier
Termotolerante coliforme bakterier
Enterokokker
Pseudomonas aeruginosa
Areomonas, bevægelige arter
Salmonella
Campylobacter
Legionella
Koagulase positive Staphylococcus
Clostridium Perfringens
Clostridium Perfringens sporer

Tabel 11. Mikrobiologiske parametre.

Samtlige prøver i forbindelse med funktionsafprøvningen blev udtaget og analyseret af akkrediteret laboratorium.

I forbindelse med måleprogrammet udtages prøver fra tre forskellige steder i grävandsanlægget:

- Indløb til forklaringstank (urenset grävand)
- Genbrugsbuffertank (biologisk renset grävand)
- Toilet cisterne (renset desinficeret grävand)

Prøver udtages i alle tilfælde som stikprøver og i tidsintervallet kl. 10.00 – 14.00.

### 4.3 Biologisk rensning

#### 4.3.1 Gråt spildevand

Sammensætningen af det grå spildevand blev bestemt for en række af de traditionelle spildevandsparametre i forbindelse med projektets fase 1, se tabel 12.

Parameter	Enhed	22/04-01	04/06-01	06/06-01	Middelværdi	Vægtet middelværdi
pH	-	7,5	8,0	7,5	7,67	7,55
BOD <sub>5</sub>	mg/l	140	170	200	170	161
COD	mg/l	240	350	310	300	272
Total-N	mg/l	5,1	8,1	3,8	5,67	5,01
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	0,09	0,56	0,01	0,22	0,11
Total-P	mg/l	0,82	0,11	0,21	0,38	0,57
PO <sub>4</sub> -P	mg/l	0,52	0,012	0,005	0,18	0,31
SS	mg/l	9,2	19	84	37,4	32,6
SO <sub>4</sub> -S	mg/l	-	34	28	31	-

Tabel 12. Analyseresultater, urensset gråt spildevand /1/.

Som supplement til de oprindelige analyser angivet i tabel 12, blev indledningsvis gennemført en analyse omfattende hele måleprogrammet på det urensede gråvand, for herigennem at få fastlagt et koncentrationsniveau for de enkelte stoffer i det urensede gråvand.

Prøven blev udtaget i tilløb til bundfældningstank. Resultatet af analysen på det urensede gråvand forefindes i bilag A, og gengives for hhv. de traditionelle spildevandsparametre og mikrobiologiske parametre i tabellerne 13 og 14.



Dato/parameter	Enhed	16-08-2002	Reference <sup>1</sup>
pH	-	7,2	7 – 8
Temperatur	°C	22,3	15
SS	mg/l	45	190
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	7,3	18
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	0,009	0,5
Total-N	mg/l	13	30
Total-P	mg/l	1,2	10
Chlorid	mg/l	260	280
Sulfat	mg/l	76	-
Turbiditet	FTU	42	-
BOD <sub>5</sub>	mg/l	69	150
COD(Cr)	mg/l	160	320
total-S	mg/l	56	
Sulfid-S	mg/l	10	0,1
Detergenter, Anioniske	mg/l	1,8	6
Detergenter, kationiske	mg/l	0,4	-
Olie	mg/l	6,2	-
Fedt	mg/l	32	40 <sup>2</sup>
LAS	µg/l	<200	-
NVOC	mg/l	54	
AOX	µg/l	30	

Tabel 13. Kemiske parametre – Urenset gråvand

Dato/parameter	Enhed	16-08-2002
Kimtal 22 °C	CFU/ml	3600000
Kimtal 37 °C	CFU/ml	>1000
Coliforme bakterier	CFU/100ml	490000
Termotolerante coliforme bakterier	CFU/100ml	79000
Enterokokker	CFU/g	<10
Pseudomonas aeruginosa	CFU/ml	50
Salmonella	pr. 1000 ml	i.p.
Campylobacter	pr. 1000 ml	<1
Legionella	pr. 1000 ml	<200
Koagulase positive Staphylococcus	CFU/g	<10

Tabel 14. Mikrobiologiske parametre – Urenset gråvand

Som det fremgår af analyseresultaterne for de traditionelle spildevandsparametre, tabel 13, må det urensede grå spildevand betragtes som værende tyndt i forhold til traditionelt spildevand.

Sammenholdes resultaterne med de i projektets fase 1 udførte analyser ses, at indholdet af organisk stof i prøven ligger på en niveau modsvarende 50% af det tidligere registrerede. Indholdet af total kvælstof, total fosfor og specielt ammonium ligger til gengæld noget højere. Årsagen til disse variationer skyldes antageligt, at der er tale om en egentlig stikprøve udtaget over kort tid, hvor prøver i projektets fase 1 blev udtaget over en 2 timers periode, hvorfor variationer i disse udlignes mere.

<sup>1</sup> Referenceværdier for traditionelt tyndt spildevand /11/.

<sup>2</sup> Fedt/olie

Sammenholdes resultatet af analyserne med gråt spildevand generelt /1/ /6/, må koncentrationsniveauet betragtes som værende i den lave ende af spektret, men dog repræsentativt.

Betragtes resultaterne af de mikrobiologiske analyser ligger niveauet for Coliforme bakterier og kimtal på niveau med tidligere observationer på gråt spildevand /1/ /6/. Sammenholdes koncentrationsniveauet med traditionelt urensede spildevand /7/ ligger værdierne for det urensede gråvand følgelig væsentlig lavere, hvilket naturligvis skyldes at toiletspildevand ikke indgår i gråvandsfraktionen.

For de øvrige parametre, herunder bl.a. tungmetaller, Phthalater, Phenoler mv., jf. bilag A, er koncentrationsniveauerne generelt meget lave og i mange tilfælde tæt på eller under detektionsgrænsen. Enkelte parametre ligger dog en anelse højere, herunder kan bl.a. nævnes Aluminium og Barium for metallerne, samt 4-methylphenol for de organiske forbindelser. Betragtes tungmetallerne som helhed, ligger de registrerede niveauer for tungmetaller dog generelt lavere eller på niveau med hvad der tidligere er registreret i alm. husholdningsspildevand /8/. Tilsvarende gør sig gældende for de organiske parametre hvor en sammenligning med traditionelt husspildevand fra boligområder /8/ ligeledes viser, at niveauet generelt ligger relativt lavt.

Overordnet set må den udtagne prøve på det urensede gråvand betragtes som værende repræsentativ for det grå spildevand på Gals Klint, antageligvis dog beliggende i den lave ende af de koncentrationsniveauer der kan optræde.

#### 4.3.2 Biologisk rensede gråt spildevand

Den væsentligste del af renseprocessen i gråvandsanlægget er den biologiske rensning i sandfiltret.

Rensningen af gråvandet foregår som nævnt i afsnit 3.5 ved batchvis indpumpning til sandfiltret jævnt over døgnet, samt en hvileperiode i nattetimerne.

Det biologisk rensede gråvand i genbrugsbuffertanken vil med et nyttevolumen i tanken på ca. 1,5 m<sup>3</sup> være repræsentativt for en driftsperiode på ca. 4 - 6 timer. Dette forhold betyder, at en stikprøve udtaget i genbrugsbuffertanken vil være repræsentativ for det biologisk rensede gråvand i langt højere grad en stikprøve udtaget for det urensede gråvand.

Der blev under funktionsafprøvningen i alt udtaget tre prøver af det biologisk rensede gråvand. Prøverne er udtaget relativt sent på sæsonen, men belægningsgraden på pladsen har i prøveudtagningsperioden ligget på mellem 50 - 90 %, og er bl.a. udtaget i forbindelse med efterårsferien hvor belægningsgraden på Gals Klint var meget høj. Analyseresultaterne af de udtagne prøver forefindes i bilag B, og gengives for hhv. de traditionelle spildevandsparametre og mikrobiologiske parametre i tabellerne 15 og 16.

Dato/parameter	Enhed	02-10-2002	08-10-2002	16-10-2002
pH	-	8	8,1	7,9
Temperatur	°C			11,3
SS	mg/l	< 5	< 5	< 5
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	0,012	0,012	0,005
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	3,8	3,7	3,7
Total-N	mg/l	4,44	4,98	4,74
Total-P	mg/l	0,041	0,038	0,036
Chlorid	mg/l	63	70	65
Sulfat	mg/l	66	99	94
Turbiditet	FTU	7,7	2,2	5
BOD <sub>5</sub>	mg/l	< 2,0	< 2,0	< 2,0
COD(Cr)	mg/l	28	21	22
Total-S	mg/l	< 50	< 50	< 50
Sulfid-S	mg/l	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Detergenter, Anioniske	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Detergenter, kationiske	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Olie	mg/l	< 0,050	< 0,050	< 0,050
Fedt	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
LAS	µg/l	< 100	< 20	< 20
NVOC	mg/l	10	9,4	8,3
AOX	µg/l	48	43	44

Tabel 15. Kemiske parametre – Biologisk rensset gråvand

Dato/parameter		02-10-2002	08-10-2002	16-10-2002
Kimtal 22 °C	CFU/ml	16000	210	8800
Kimtal 37 °C	CFU/ml	62	9	12
Coliforme bakterier	CFU/100 ml	49	49	49
Termotolerante coliforme bakterier	CFU/100 ml	5	2	2
Enterokokker	CFU/g	< 1	< 1	< 1
Pseudomonas aeruginosa	CFU/ml	< 1	< 1	< 1
Areomonas, bevægelige arter	pr. ml	< 10	< 1	< 10
Salmonella	pr. 1000 ml	i.p.	i.p.	i.p.
Campylobacter	pr. 1000 ml	< 1	< 1	< 1
Legionella	pr. 1000 ml	< 10	< 10	< 10
Koagulase positive Staphylococcus	CFU/g	< 10	< 10	< 10
Clostridium Perfringens	CFU/ml	< 10	< 1	< 1
Clostridium Perfringens sporer	CFU/ml	< 10	< 1	< 1

Tabel 16. Mikrobiologiske parametre – Biologisk rensed grävand

Som det fremgår af analyseresultaterne for de traditionelle spildevandsparametre i tabel 15, er den biologiske rensning i sandfiltret yderst effektiv.

Indholdet af letomsætteligt organisk stof ligger for alle tre prøver meget lave, < 2 mg BI<sub>5</sub>/l, hvilket er detektionsgrænsen for BI<sub>5</sub>. Tilsvarende gør sig gældende for suspenderet stof, hvor alle prøver viser et SS indhold under 5 mg/l. COD værdierne ligger ligeledes meget lavt (21 – 28 mg COD/l). Indholdet af NVOC er reduceret fra et niveau på ca. 50 mg/l til 8 – 10 mg/l.

Alle ovennævnte resultater viser, at fjernelsesgraden af organisk stof er meget høj, og for den letomsættelige del tæt på 100 %.

Indholdet af total kvælstof ligger stabilt lavt på 4,4 – 5,0 mg TN/l. Af total kvælstoffet udgøres ca. 75 – 85 % af nitrat kvælstof. Ammoniumniveauet ligger konstant på ca. 0,01 mg NH<sub>4</sub>-N/l. Den resterende del af total kvælstoffet må antages at være organisk bundet kvælstof. Sammenholdes disse værdier med indløbsværdierne i hhv. tabel 12 og 13 er der tale om en fuld nitrifikation af den indkomne ammoniummængde. Ligeledes sker tilsyneladende en begrænset denitrifikation i anlægget. Forskellen imellem niveauerne for prøverne udtaget i projektets fase 1, og indløbsprøven udtaget i forbindelse med funktionsafprøvningen er dog så signifikant, at en egentlig bestemmelse af denitrifikationsgradens størrelse ikke er mulig.

De meget lave ammonium- og BOD<sub>5</sub> niveauer indikerer, at iltingen i det biologiske sandfilter er effektiv, og generelt kan betragtes som værende aerobt, hvorfor denitrifikationsgraden følgelig ikke kan være høj. Dette understøttes af det meget lave sulfid niveau (< 0,010 mg/l), da en del af det tilstedeværende sulfat (66 – 99 mg SO<sub>4</sub>/l) antageligt ville være på sulfid form, såfremt der var tale om egentlig anaerobe forhold i større dele af filtret.

Den reduktion der sker i total kvælstof niveauet over filtret kan skyldes frafiltrering af organisk bundet kvælstof, denitrifikation i anaerobe "lommer" i filtret samt evt. denitrifikation i indløbsbuffertanken hvor anaerobe forhold er dominerende.

Indholdet af total fosfor ligger konstant lavt på et niveau på ca. 0,04 mg P/l. Analyserne på det urensede gråvand viser et tilløbsniveau på 0,1 – 1,2 mg P/l. Fjernelsen af fosfor i sandfiltret kan antageligt tilskrives at fosforen bindes af jernforbindelser i filtermaterialet /9/, samt at fosforen indbygges i biomassen i filtret.

Indholdet af detergenter ligger under detektionsgrænsen og indikerer at detergenterne omsættes fuldt ud i sandfiltret. For Olie/fedt ligger niveauet ligeledes under detektionsgrænsen. Grundet opholdstiderne i tanke og sandfilter kan en biologisk omsætning af disse parametre ikke forventes at ske, hvorfor disse antageligt udskilles i forklaringsstank og/eller adsorberes i det biologiske sandfilter.

For de mikrobiologiske parametre ses, at alle resultater med undtagelse af kimalt 22 °C, kimalt 37 °C, Coliforme bakterier og termotolerante coliforme bakterier reduceres til niveau under detektionsgrænsen eller ikke kan påvises.

Sammenholdes indholdet af de ovennævnte mikrobiologiske parametre i det biologisk rensede gråvand med indholdet i det urensede gråvand, ses at der i det biologiske sandfilter sker en reduktion af disse mikrobiologiske parametre på 97,0 – 99,9 %, jf. tabel 17.

Parameter	Enhed	Urenset gråvand	Gennemsnit rensed gråvand	% fjernelse
Kimalt 22 °C	CFU/ml	3600000	8337	> 99,5 %
Kimalt 37 °C	CFU/ml	>1000	28	> 97,0 %
Coliforme bakterier	CFU/100ml	490000	49	> 99,9 %
Termotolerante coliforme bakterier	CFU/100ml	79000	3	> 99,9 %

Tabel 17. Fjernelsesgrader for mikrobiologiske parametre i det biologiske sandfilter.

Som det fremgår af resultaterne i tabel 17, samt for de øvrige mikrobiologiske parametre, er fjernelsesgraden for stort set alle mikroorganismene meget høj over sandfiltret.

For de øvrige parametre, herunder bl.a. Phthalater, Phenoler mv., jf. bilag B, sker for stort set alle parametre en reduktion til under detektionsgrænsen. For parametre der efter den biologiske rensning stadig forefindes i gråvandet, ligger med en enkelt undtagelse meget tæt på detektionsgrænsen. Den enkelte undtagelse er diethylhexylphthalat (DEHP), hvor der d. 16/10-2002 forefindes 7,7 µg/l, modsvarende en fjernelsesgrad på ca. 45 %. Bortset fra denne enkelte måling der ikke umiddelbart kan forklares, må fjernelsesgraden over sandfiltret for de miljøfremmede organiske stoffer der er registreret i det urensede grå spildevand, betragtes som værende meget høj. Det skal følgelig bemærkes, at koncentrationsniveauet for de fleste parametre i det urensede gråvand er lavt, hvorfor fjernelsesgraden for spildevand med et noget højere koncentrationsniveau formentlig vil være lavere.

For metallerne er billedet delvis det samme som for de øvrige parametre. Her sker for en del af metallerne ligeledes en reduktion af koncentrationsniveauet over sandfiltret.

For en del af metallerne var koncentrationen i det urensede gråvand meget lavt. Dette gælder bl.a. Sb, Pb, Cd, Cr, Co, Fe, Hg, Mn, Mo, Ni, Sn og V, hvoraf en stor del ligger under detektionsgrænsen eller tæt på denne. For enkelte af disse stoffer, herunder Sb og Hg, er der i det biologisk rensede gråvand fundet større koncentrationer end målt i prøven på det urensede gråvand. Dette kan skyldes højere koncentrationer i det urensede vand på det pågældende prøvetagningstidspunkt. For samtlige disse metaller kan der på det forhåndenværende grundlag ikke konkluderes hvorvidt der sker en fjernelse af de enkelte metaller over sandfiltret.

For de resterende metaller, jf. tabel 18, har forskellene i koncentrationsniveauerne været mere entydigt. For en del af de resterende metaller er koncentrationsniveauet det samme eller højere end analyser for det urensede gråvand, hvorfor det for disse metaller må konkluderes at der er en stor sandsynlighed for der ikke sker en fjernelse over sandfiltret. Det drejer sig om metallerne As, Ca, Mg, Na og Ni.

For metallerne Al, Ba, Cu og Zn, og delvist for K sker der til gengæld en entydig reduktion fra et relativt højt koncentrationsniveau til et konsekvent noget lavere niveau.

I tabel 18 er fjernelsesgraderne for ovennævnte metaller listet. Det skal bemærkes, at de angivne fjernelsesniveauer grundet de relativt få analyser ikke skal betragtes som entydige fjernelsesniveauer, men som niveauer der indikerer hvilken fjernelse der kan forventes over et biologisk sandfilter.

Parameter	Enhed	Urenset gråvand	Gennemsnit rensed gråvand	% fjernelse	Bekendtgørelse nr. 871 <sup>3</sup>
Al	µg/l	220	< 28	> 85 %	100/200
As	µg/l	< 1,0	26,9 <sup>4</sup>	Ingen fjernelse	5/10
Ba	µg/l	230	< 30	> 85 %	700/700
Ca	mg/l	130	133	Ingen fjernelse	-
K	mg/l	11	5,0	ca. 50 %	-
Cu	µg/l	130	9,3	> 90 %	100/2000
Mg	mg/l	9,3	9,8	Ingen fjernelse	-
Na	mg/l	35	45	Ingen fjernelse	-
Ni	µg/l	1,3	11	Ingen fjernelse	20/20
Zn	µg/l	69	< 12	> 80 %	100/3000

Tabel 18. Fjernelsesgrader for metaller over det biologiske sandfilter.

#### 4.4 Desinfektion

Den afsluttende behandling af det rensede gråvand er som nævnt i afsnit **2.2.3** en desinfektion med hydrogenperoxid (35 %).

Formålet med desinfektionen er, at reducere antallet af mikroorganismer i det biologisk rensede gråvand til et så lavt niveau som muligt, og herigennem fastlægge den nødvendige dosering af hydrogenperoxid, set ud fra både et hygiejnisk og driftsøkonomisk synspunkt. Herudover har desinfektionen med hydrogenperoxid til formål at forbrugsvandet tilføres et ekstra iltpotentiale, således risikoen for lugtgener ved henstand af genbrugsvand i toilet-cisterne reduceres.

I tabel 19 er doseringen af hydrogenperoxid angivet i doseret mængde pr. l gråt spildevand.

<sup>3</sup> Grænseværdier iht. Bekendtgørelse nr. 871 af 21/09-2001: "Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg". Værdierne angiver hhv. værdi ved indgang til ejendom og værdi ved forbrugers taphane.

<sup>4</sup> Det skal bemærkes, at en ud af tre analyser ligger markant højere end de øvrige to (75 µg/l), hvorfor gennemsnittet uden denne analyse ligger på kun 2,8 µg/l.

Doseringsperiode	Dosering ml H <sub>2</sub> O <sub>2</sub> /l	Behandlet gråvandsmængde m <sup>3</sup> /l H <sub>2</sub> O <sub>2</sub>	Driftsomkostning kr./m <sup>3</sup>
opstart til 25/9-02	ca. 2,5	0,4	18,6
26/9-02 til 02/10-02	ca. 1,0	1	7,4
03/10-02 til 08/10-02	ca. 0,5	2	3,7
09/10-02 til 16/10-02	ca. 0,25	4	1,9
16/10-02	ca. 0,1	10	0,7
16/10-02	ca. 0,05	20	0,4

Tabel 19. Doseringsskema for hydrogenperoxid.

Som det fremgår af tabel 19, blev doseringen af hydrogenperoxid gradvis nedjusteret, og på sidste prøveudtagningsdag nedjusteret efter hver udtaget prøve.

Formålet med reduktionen i doseringen var, at optimere forbruget af hydrogenperoxid for herigennem at bestemme et optimalt doseringsniveau.

Under funktionsafprøvninger er der i alt udtaget 8 prøver på det rensede og desinficerede gråvand samt en prøve fra referencetoilet forsynet med drikkevand. Alle prøver blev udtaget direkte i toilet-cisternerne. To af de udtagne prøver blev opbevaret ved stuetemperatur af det akkrediterede laboratorium i tre uger forinden analyse. Formålet med opbevaringen var at kontrollere hvorvidt der i prøverne sker eftervækst ved henstand.

Prøverne analyseredes for de mikrobiologiske parametre angivet i tabel 11, samt for SS, COD og turbiditet. Endvidere blev pH og temperatur målt i forbindelse med prøveudtagningen.

I tabel 20 er samtlige analyseresultater for det rensede og desinficerede gråvand angivet.



Dato/parameter	Enhed	25/09 <sup>5</sup>	25/09	02/10	08/10	16/10	16/10	16/10	25/09 <sup>6</sup>	02/10
pH	-	-	7,9	7,8	7,9	7,7	7,7	7,7	7,8	8,1
SS	mg/l	-	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5
Turbiditet	FTU	-	7	7,3	3,3	3,8	4,8	5,7	6,7	5
Temperatur	°C	-	-	-	-	14	13	13,4	19,7	-
COD(Cr)	mg/l	-	5000	3400	2800	5200	4400	4100	40	39
Kimtal 22 °C	CFU/ml	29	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Kimtal 37 °C	CFU/ml	< 1	13	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Coliforme bakterier	CFU/100 ml	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Termotolerante coliforme bakterier	CFU/100 ml	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2	< 2
Enterokokker	CFU/g	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Pseudomonas aeruginosa	CFU/ml	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Areomonas, bevægelige arter	pr. ml	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Salmonella	pr. 1000 ml	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.
Campylobacter	pr. 1000 ml	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	i.p.
Legionella	pr. 1000 ml	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Koagulase positive Staphylococcus	CFU/g	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Clostridium Perfringens	CFU/ml	< 10	< 10	< 10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1
Clostridium Perfringens sporer	CFU/ml	< 10	< 10	< 10	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1	< 1

Tabel 20. Analyseresultater for rensat desinficeret gråvand.

Som det fremgår af resultaterne af de mikrobiologiske analyser har desinfektionen været yderst effektiv. Bortset fra prøven udtaget d. 25/9-2002, hvor kimtal 37 °C er 13, ligger samtlige værdier på et niveau under detektionsgrænsen eller som ikke påviselige i prøven (i.p.).

Prøven udtaget fra referencecisterne viser for alle parametre, med undtagelse af kimtal 22 °C, ligeledes niveauer under detektionsgrænsen.

Vand der renses og genanvendes i husholdninger, som i dette tilfælde til toiletskyl, skal have en renhedsgrad svarende til drikkevandskvalitet som angivet i Bekendtgørelse nr. 871 af 21/09-2001: "Bekendtgørelse om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg".

Da gråvandet udelukkende skal benyttes til toiletskyl er det primært indholdet af mikroorganismer der er af interesse, men samtlige kvalitetskrav skal principielt overholdes.

<sup>5</sup> Referenceprøve Gals Klint, udtaget fra cisterne forsynet med drikkevand.

<sup>6</sup> Prøverne blev udtaget 25. september og 2. oktober og opbevaret ved stuetemperatur i 3 uger inden analyse.

I tabel 21 er de mikrobielle krav i bekendtgørelse nr. 871 angivet.

Parameter	Højst tilladelige værdi <sup>7</sup>
Kimtal v. 21 °C pr. ml	200
Kimtal v. 37 °C pr. ml	20
Coliforme bakterier pr. 100 ml	i.m.
Escherichia coli (E. coli) pr. 100 ml	i.m.
Enterokokker pr. 100 ml	i.m.
Clostridium perfringens, herunder sporer pr. 50 ml	i.m.

Tabel 21. Mikrobielle krav til drikkevand.

Sammenholdes analyseresultaterne fra tabel 20 med kravværdierne i tabel 21, ses at det rensede desinficerede gråvand fra Gals Klint er af en kvalitet modsvarende drikkevand mht. de mikrobiologiske parametre.

Det kan altså konstateres, at desinfektionen med hydrogenperoxid har været effektiv. Det skal dog bemærkes, at indholdet af mikroorganismer i det biologisk rensede gråvand, jf. tabel 16, har ligget på et meget lavt niveau, hvilket følgelig skal tages i betragtning ved vurderingen af effektiviteten.

Betragtes analyseresultaterne for SS og turbiditet ses at der er tale om klart vand. Koncentrationen af SS er gennem hele perioden under detektionsgrænsen. Turbiditetsmålingerne ligger mellem 3,3 og 7,3 hvilket ligeledes indikerer at der er tale om klart vand.

Samtlige COD målinger på prøver (uden henstand) ligger meget højt hvilket skyldes, at der har været et overskud af hydrogenperoxid i prøverne. For de to prøver der henstår tre uger forinden analyse ses at COD værdien efter henstand ligger på et lavt niveau omkring 40 mg O<sub>2</sub>/l. Årsagen til de lave værdier efter henstand er, at hydrogenperoxiden reagerer med alt oxiderbart materiale i prøverne. Endvidere sker ved henstand en afgasning af hydrogenperoxiden.

På baggrund af COD målingerne kan det konstateres, at der gennem hele perioden har været et overskudsindhold af hydrogenperoxid i det desinficerede gråvand. Som nævnt ovenfor, har indholdet af mikroorganismer og oxiderbare forbindelser generelt været meget lav i det biologisk rensede gråvand. Dette betyder, at mængden af hydrogenperoxid der er nødvendig for at fjerne de tilstedeværende mikroorganismer er markant lavere end det ville være såfremt indholdet af oxiderbare stoffer og mikroorganismer var højere.

På baggrund af ovennævnte kan ikke opstilles generelle retningslinier for det nødvendige koncentrationsniveau for desinfektion med hydrogenperoxid. Ydermere kan det være risikabelt, at fastlægge ét bestemt niveau for koncentrationsniveauet, da perioder med forringet biologisk rensning kan medføre, at den nødvendige dosering med hydrogenperoxid skal forøges af hensyn til indholdet af oxiderbare stoffer, eksempelvis organiske stoffer mv.

På baggrund af de gennemførte analyser vurderes, at et doseringsniveau på ca. 0,05 – 0,1 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub> vil være tilstrækkeligt i de fleste tilfælde hvor der er tale om lave koncentrationsniveauer mht. mikroorganismer og oxiderbart materiale. På Gals Klint må ovennævnte niveau på baggrund af analyseresultaterne endvidere antages at være for højt i forhold til den

<sup>7</sup> i.m. = ikke målelig ved den anviste metode.

nødvendige mængde hydrogenperoxid. Af hensyn til den mikrobiologiske kvalitet, bør der dog generelt være en hvis overdosering, da doseringen skal være effektiv i alle situationer, herunder også i perioder hvor der evt. er forringet rensning, driftsproblemer eller tilsvarende.

Ovennævnte betyder således, at der generelt vil være et overskud af hydrogenperoxid, også i selve toilet-cisternerne hvilket medfører, at der er tale om vand af anden kvalitet end drikkevand.

#### 4.5 Driftserfaringer

Ud over de kemiske- og mikrobiologiske undersøgelser, havde funktionsafprøvningen også til formål at indsamle praktiske erfaringer omkring driften af et grävandsanlæg.

Gennem hele afprøvningsperioden blev der løbende ført tilsyn med anlægget.

Da funktionsafprøvningen som tidligere angivet skete for lukkede døre på to "testtoiletter", blev der af hensyn til udskiftning af vandet i cisternerne dagligt foretaget skyl i forbindelse med rengøring af baderumsbygningen.

Som angivet i /1/ forekommer en række æstetiske og driftsmæssige forhold ved grävandsanlæg, der kan medføre gener for brugere af baderumsbygningens faciliteter samt for anlægspasseren, herunder:

- Lugtgener fra grävandsanlæg
- Lugtgener fra toilet som følge af grävand
- Genbrugsvandets udseende
- Støjgener
- Visuelle gener fra anlæg
- Adfærdsregulerende ulemper for brugere af anlægget, eksempelvis krav om speciel produktanvendelse mv.
- Arbejdsmiljømæssige forhold ved pasning af anlæg

Af ovennævnte problemstillinger har en række af disse ved tidligere grävandsanlæg givet anledning til problemer, specielt har lugtgener medført at anlæg er blevet nedlagt, bl.a. /1/ og /3/.

##### 4.5.1 Lugt- og støjgener

Forinden etablering af anlægget vurderet, at lugt fra bundfældningstank og indløbspumpestation ville være største risiko for lugtgener. Lugt fra disse punkter ville kunne konstateres ved udluftningsledningen fra indløbspumpestationen. Der blev ikke i afprøvningsperioden konstateret lugt fra udluftningsrøret. Tilsvarende var gældende for udluftningsrør fra det biologiske sandfilter.

I gennem hele afprøvningsperioden blev der jævnlige ført tilsyn med anlægget, herunder inspektion af de enkelte brønde. I denne forbindelse blev ikke konstateret generende lugt nede i de enkelte brønde. Eneste brønd hvor der i selve brønden kunne konstateres tendenser til lugt var bundfældningstanken, dog kun i begrænset omfang umiddelbart efter aftagning af brønddæksel.

Fra det biologisk rensende grävand kunne der ikke gennem afprøvningsperioden konstateres nogen lugt. Vandet var generelt klart og lugtfrit, dog blev det ved pumpestop i indløbspumpestationen konstateret, at det biologisk rensede grävand ved henstand antog en svag gullig farve, dog uden lugt (se endvidere afsnit 4.5.2).

Forinden opstart af desinfektionen blev der i en periode på ca. 4 uger tilledt biologisk rensede ikke desinficeret grävand til cisternerne på de to forsøgstoiletter. Formålet med denne undersøgelse var at kontrollere hvorvidt der opstod lugtgener, aflejringer mv. Gennem denne periode blev der ikke konstateret lugtgener fra cisternerne. Efter ca. 4 ugers drift uden desinfektion kunne dog konstateres få aflejringer af suspenderet stof i cisternerne. Aflejringerne kunne konstateres efter ca. 1 uges drift, og vedblev på samme niveau gennem samtlige 4 uger. Når der ikke skete en større opbygning skyldes det formentlig, at det daglige skyl af toiletterne har medført en udvaskning af de begrænsede aflejringer. Generelt vurderes det, at anvendelse af ikke desinficeret biologisk rensede grävand ikke vil give anledning til driftsmæssige problemer på demonstrationsanlægget.

#### 4.5.2 Visuelle gener

Visuelle gener kan som nævnt være relateret til genbrugsvandets udseende, alternativt selve anlægget og det fremtræden i omgivelserne.

Da etableringsfasen forløb i campingsæsonen har det følgelig givet mindre gener i form af gravearbejdet omkring baderumsbygningen. Da de fysiske forhold ikke tillod etablering uden for sæsonen, blev dette derfor en nødvendigt onde. Som nævnt i afsnit 3.3 blev arbejdet dog gennemført tidligt på sæsonen, og generne må betragtes som rimelig begrænset. Dog må det generelt anbefales, at anlægsarbejder af karakter som grävandsanlægget henlægges til perioder uden for sæsonen, såfremt dette er muligt.

Selve grävandsanlægget og dets placering vurderes ikke at have givet anledning til visuelle gener, da tankanlægget er nedgravet og selve det biologiske sandfilter placeret i forlængelse af eksisterende skråningeanlæg, således det efter tilgroning vil fremstå som en naturlig del af området.

Det rensede og desinficerede grävand i toilet-cisternerne var gennem afprøvningsperioden klart (se figur 17) og lugtfrit. Dog antog vandet grundet pumpestop i indløbspumpestationen en svag gullig farve. Pumpestoppet indtrådte som følge af termisk udfald på pumpen.

Aflejringerne der ses i bunden af cisternen er kalkaflejringer, der ligeledes observeredes i cisterner forsynet med drikkevand.



Figur 17. Renset og desinficeret gråt spildevand i toilet cisternerne.

#### 4.5.3 Arbejds miljø og adfærdsregulering

Forholdene omkring arbejdsmiljø ved pasningen af anlægget må overordnet set betragtes at være fornuftigt udformet. Det skal dog nævnes, at håndteringen af hydrogenperoxid i 25 l dunke, ikke er den optimale metode. I forbindelse med en begrænset funktionsafprøvning betyder lagerkapaciteten mindre, men ved daglig drift af et anlæg der forsyner samtlige toiletter, er det mere hensigtsmæssigt med en palletank, der løbende kan udskiftes af kemikalieleverandøren. Herved undgås, at den daglige anlægspasser skal håndtere desinfektionsmidlet, i dette tilfælde hydrogenperoxid.

Der er på alle tanke anvendt betondæksler. Ved inspektion af brønde kræves derfor løftegrej til håndtering af disse. Generelt må det anbefales, at der anvendes lette dæksler der kan betjenes manuelt af en enkelt person.

Anlægget har gennem hele perioden kørt uden der har været stillet specielle krav til rengøring i baderumsbygningen. Ligeledes har der ikke været sat krav til pladsens gæster mht. hvilke produkter de har måtte benytte. Disse forhold har ikke haft indflydelse på anlæggets drift hvorfor det må konstateres, at der ikke har været gener som følge af nødvendige adfærdsregulerende foranstaltninger.

#### 4.5.4 Øvrige driftsforhold

I forbindelse med funktionsafprøvningen er anlægget blevet tilset ca. hver anden uge. Nærværende afsnit opsummerer driftsforhold omkring de mere praktiske drift af anlægget.

Ved tilsyn af anlægget blev de enkelte anlægsdele og komponenter gennemgået. Det må konstateres, at tilgangen i tanke der er afsluttet med betondæksler ikke driftsmæssig er optimal, men i det aktuelle tilfælde en nødvendighed for at holde etableringsomkostningerne nede.

Bortset fra det tidligere omtalte termiske udfald på spildevandspumpen blev der ikke i afprøvningsperioden konstateret driftsmæssige problemer.

Ved besigtigelse af genbrugsbuffertanken blev foretaget kontrol af det svømmende sugefilter. Efter ca. 12 ugers drift blev dette spulet grundet aflejringer. Umiddelbart anbefales det, at sugefiltret optages og spules 2 – 4 gange pr. sæson.

I forklaringstanken blev slamniveauer løbende kontrolleret. Der blev ikke ved besigtigelserne konstateret væsentlige mængder SS i tilløbet til indløbsbuffertanken fra forklaringstanken. ved sæsonens afslutning kunne konstateres, at bundslammet i forklaringstanken maksimalt udgør ca. 0,5 – 1,0 m<sup>3</sup>. Flydeslammet udgøres gennem hele sæsonen af et tynd lag, primært bestående af fedt/olie og sæberester.

På baggrund af observationerne kan det anbefales, at forklaringstanken tømmes én gang pr. sæson, evt. i forbindelse med nedlukning af anlægget ved sæsonens afslutning.

#### 4.5.5 Forslag til anlægsforbedringer

Med udgangspunkt i erfaringerne fra driften af anlægget kan flg. ændringer af anlægsopbygningen anbefales, såfremt der etableres lignende anlæg:

- Anvendelse af lette aflåselige dæksler eller tilsvarende, i stedet for betondæksler, således disse kan betjenes af én person uden hjælpemidler.
- Der bør etableres en alarmfunktion for termisk udfald på pumper o.l.. Herved mindskes risikoen for forringet vandkvalitet grundet manglende rensning eller desinfektion, alternativt risikoen for at toiletter i en periode udelukkende forsynes med spædevand.
- I forbindelse med etablering af en alarmfunktion, bør kemikalietanken forsynes med alarm for lav kemikaliestand i tanken. Herved mindskes risikoen for at anlægget løber tør for desinfektionsmiddel.
- Ved etablering af permanente anlæg bør kemikaliedoseringsanlæg indbygges i skab eller fastmonteres på væg.

#### 4.6 Økonomi

På baggrund af funktionsafprøvningen kan en samlet økonomi for etablering og driften af grävandsanlægget på Gals Klint opstilles.

Den samlede anlægsudgift kan som nævnt i afsnit **3.2** opgøres til i alt kr.259.500,- ekskl. moms.

Såfremt anlægget skulle have haft fuld behandlingskapacitet i forhold til dimensioneringsgrundlaget og forudsætningerne fra projektets fase 1, ville den samlede anlægspris udgøre i alt kr. 275.000,- ekskl. moms. I denne pris er ikke medtaget ventilbrønd samt opdeling af sandfiltret i to sektioner, da disse komponenter kun er relevante i forbindelse med funktionsafprøvningen.

De årlige driftsudgifter kan på basis af erfaringerne fra funktionsafprøvningen opgøres som angivet i tabel 22.

	Antal	å kr.	I alt kr.
El	1400 kWh	1,1	1.550,-
Hydrogenperoxid	80 l	7,5	600,-
Tømning af forklaringstank	1 stk.	1.200,-	1.200,-
Pumpeservice <sup>8</sup>	-	-	1.500,-
Tidsforbrug <sup>9</sup>	15	160	2.400,-
Diverse	-	-	500,-
		I alt :	kr. 7.750,-

Tabel 22. Årlige driftsudgifter for grävandsanlægget.

Samtlige poster i de årlige driftsudgifter er baseret på et anlæg hvor det biologiske sandfilter er etableret så det har fuld behandlingskapacitet, dvs. 12 m<sup>3</sup>/d, således der behandles ca. 1100 m<sup>3</sup>/sæson.

Som det fremgår af tabel 22, udgør de årlige driftsudgifter ca. kr. 7.750,- modsvarende kr. 7,05 pr. m<sup>3</sup>.

Sammenholdes etableringspris<sup>10</sup> med overslagspriserne gennemført i projektets fase 1 hvor overslaget lød på kr. 160.000,-, har den faktiske etableringspris været kr. 115.000,- dyrere.

Prisforskellen udgøres primært af to større poster der tilsammen udgør ca. kr. 75.000,- af merprisen. Disse to poster var hhv. etableringen af det biologiske sandfilter samt grundvandssænkningen. Den resterende difference udgøres primært af udgifter til lednings- og jordarbejder. Årsagen til denne merpris skyldes bl.a., at antallet af meter ledning i det færdige detailprojekt var ca. to gange så stort som i overslaget.

På baggrund af erfaringerne på Gals Klit vurderes det, at et tilsvarende anlæg ikke umiddelbart vil kunne etableres meget billigere på tilsvarende

<sup>8</sup> Årlig udgift til pumpeservice er en gennemsnitlig udgift der dækker vedligeholdelse og reparation mv. af anlæggets pumper.

<sup>9</sup> På baggrund af driftserfaringerne skønnes et tidsforbrug på gennemsnitligt 0,5 timer pr. uge. I praksis vil en stor del af tiden ligge ved sæson start og afslutning.

<sup>10</sup> Modsvarende et anlæg med fuld kapacitet, dvs. kr. 275.000,-.

campingpladser. Der ligger dog et mindre besparelspotentiale i form af den gennemført grundvandssenkning, der skønnes at kunne spares mange steder. Endvidere blev det biologiske sandfilter etableret som mileanlæg hvilket erfaringsmæssigt er dyrere end et nedgravet sandfilter. Umiddelbart vurderes det dog, at en besparelse ved etablering af et tilsvarende grävandsanlæg maksimalt vil udgøre kr. 30.000 – 40.000,- under ideelle forhold.

De faktiske etableringsomkostninger og driftsudgifter skal sammenholdes med de i tabel 23 angivne bruttobesparelspotentiale baseret på vandforbruget til toiletskyl på Gals Klint Camping år 2004 (ca. 1100 m<sup>3</sup>), for herigennem at give et billede på det årlige økonomiske besparelspotentiale afhængig hvor i landet et grävandsanlæg placeres.

Beregningsgrundlag	Vandpris <sup>11</sup> ekskl. moms	Bruttobesparelspotentiale ekskl. moms/år
Middelfart Kommune 2001	kr. 21,75	kr. 24.097,-
Lands gennemsnit 2001	kr. 26,73	kr. 29.614,-
75 % fraktil 2001	kr. 29,48	kr. 32.661,-
90 % fraktil 2001	kr. 33,48	kr. 37.092,-

Tabel 23. Bruttobesparelspotentiale fra /1/.

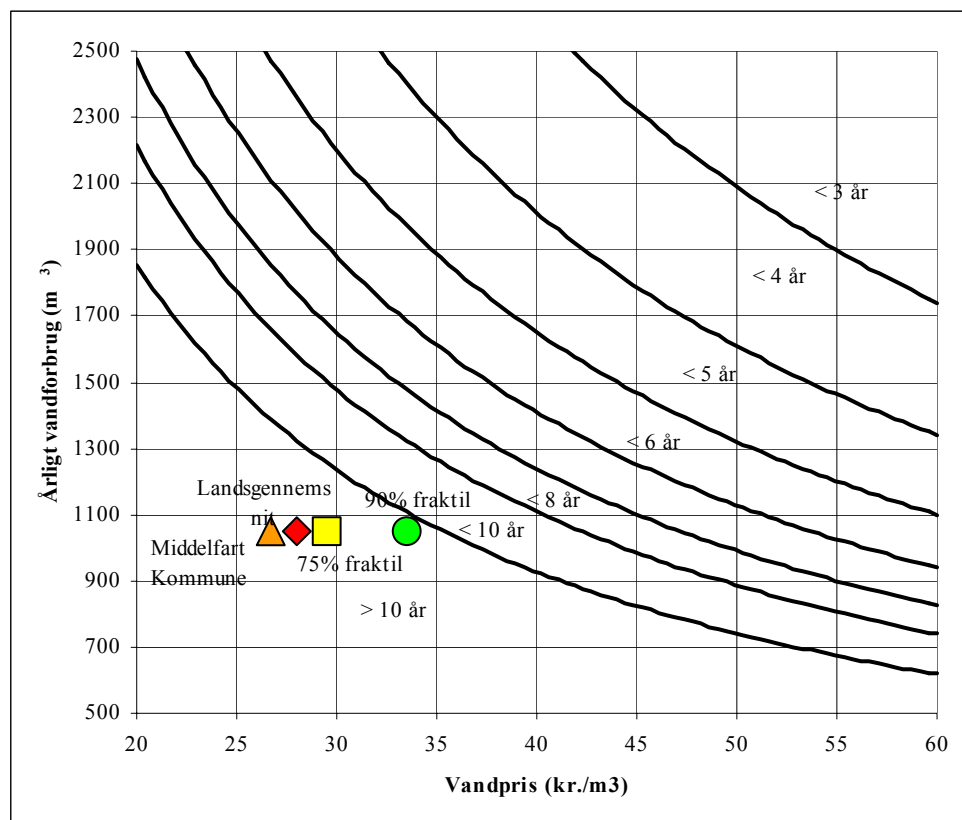
Ved en 95% reduktion i vandforbrug til toiletskyl vil der være et årligt besparelspotentiale på ca. kr. 28.100,-/år, med udgangspunkt i den gennemsnitlige vandpris i Danmark.

Sammenholdes besparelspotentialet med etablerings og driftsudgifter vil dette give en direkte afskrivningsperiode for demonstrationsprojektet på Gals Klint Camping på ca. 13 – 14 år.

På figur 18 er afskrivningsperioden for demonstrationsanlægget sammenstillet med vandprisen anno 2001 og besparelspotentialet.

<sup>11</sup> 75 og 90 % fraktilværdierne er baseret på vandafledningsbidragene fra tabel 6, samt vandafgiften for lands gennemsnittet fra samme tabel.





Figur 18. Afskrivningsperioden for demonstrationsanlægget, 2001 prisniveau.

Som det fremgår af figur 18, ligger afskrivningsperioden på over 10 år for stort set alle danske kommuner.

I /1/ angives det primære incitament for recirkulering af grävand på campingpladser være den mulige økonomiske gevinst i form af vandbesparelser.

Fra Campingrådet blev det i forbindelse med projektets fase 1 oplyst, at den direkte tilbagebetalingstid på investeringen i et grävandsanlæg, normalt ikke bør overskride ca. 6 år, da længere tilbagebetalingstider vil gøre investeringen i et sådant anlæg mindre attraktivt for pladsejerne.

I projektets fase 1 var der, grundet det daværende anlægsoverslag, en afskrivningsperiode på < 6 år i ca. 15 % af landets kommuner. For at opnå en direkte afskrivningsperiode på < 6 år, skal den samlede vandpris være større end 50 kr./m<sup>3</sup>, hvilket kun er tilfældet i ganske få kommuner. Alternativt skal det årlige vandforbrug være højere end tilfældet er på Gals Klint. Alternativt vil der med udgangspunkt i landsgennemsnittet skulle være et besparelspotentiale på ca. 2000 m<sup>3</sup>/år, førend anlægget på Gals Klint vil have en afskrivningsperiode på < 6 år.

Det skal dog påpeges, at evt. fremtidige prisstigninger på vand formentlig vil medvirke til, at konceptet i flere tilfælde vil være rentabelt med en kortere afskrivningsperiode, hvilket vil gøre genanvendelse af gråt spildevand på campingpladser mere attraktivt end det er med det nuværende prisniveau.

Overordnet set må det dog konstateres, at der p.t. kun er begrænset økonomisk potentiale i at etablere grävandsanlæg i kommuner hvor

vandprisen ligget under ca. 40 – 50 kr./m<sup>3</sup>. Alternativt kræves, at besparelspotentialet ved genanvendelse af gråvand ligger over ca. 1500 m<sup>3</sup>/sæson.

## 5 Konklusion

Det må på baggrund af det etablerede demonstrationsprojekt på Gals Klint konkluderes, at udgifterne til etablering af et grävandsanlæg med en behandlingskapacitet på 12 m<sup>3</sup>/d vil beløbe sig til ca. kr. 275.000,-, ekskl. moms. De årlige driftsudgifter må forventes at udgøre ca. kr. 7.750,- eller forventeligt ca. kr. 7,-/m<sup>3</sup> rensat og genbrugt gråt spildevand.

Den direkte afskrivningsperiode for grävandsanlægget på Gals Klint vil udgøre ca. 13 – 14 år. Betragtes samtlige danske kommuner, vil afskrivningsperioden i stort set alle kommuner være længere end 10 år.

Overordnet set må det konkluderes, at der p.t. kun er begrænset økonomisk potentiale i at etablere grävandsanlæg i kommuner hvor vandprisen ligger under ca. 40 – 50 kr./m<sup>3</sup>. Alternativt kræves, at besparelspotentialet ved genanvendelse af grävand ligger over ca. 1500 m<sup>3</sup>/sæson.

Evt. fremtidige stigninger i den samlede vandpris, kan dog forrykke dette billede på sigt, således det på sigt generelt bliver mere attraktivt at rense og genanvende gråt spildevand.

På baggrund af resultaterne fra funktionsafprøvningen, må det konkluderes at grävandsanlægget på Gals Klint biologisk renser det grå spildevand målt på traditionelle spildevandsparametre til et meget lavt niveau. Organisk- og suspenderet stof reduceres endda til et niveau under detektionsgrænsen. Ammonium, total fosfor, sulfid og olie/fedt reduceres tilsvarende til et niveau tæt på nul.

De miljøfremmede organiske stoffer, herunder bl.a. Phthalater, Phenoler mv., reduceres ligeledes til et niveau tæt på nul eller under detektionsgrænsen. Det skal dog bemærkes, at en del af disse parametre har et meget lavt koncentrationsniveau i det urensede grävand, hvorfor fjernelsesgraderne skal tages med et vist forbehold.

For en del af tungmetallerne sker en entydig reduktion fra et relativt højt koncentrationsniveau til et konsekvent noget lavere niveau. Dette gør sig gældende for Al, Ba, Cu og Zn, og delvist for K. For de øvrige metaller kan det konkluderes, at der for As, Ca, Mg, Na og Ni er en stor sandsynlighed for der ikke sker en fjernelse over sandfiltret. For de øvrige metaller kan det ikke konkluderes entydigt om der sker en ændring i koncentrationsniveauet over det biologiske sandfilter.

For samtlige mikrobiologiske parametre sker der over sandfiltret en reduktion på 97 – 99,9 %.

På baggrund af de gennemførte analyser på desinfektionen må det konkluderes, at der ved desinfektion med hydrogenperoxid opnås en renseseffekt, hvor samtlige parametre reduceres til et niveau modsvarende det mikrobielle krav til drikkevand. På baggrund af funktionsafprøvningen kan ikke fastsættes en generel anbefaling for doseringsniveauet for hydrogenperoxid, men for anlægget på Gals Klint skønnes et doseringsniveau

på ca. 0,05 – 0,1 ml H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>/l gråvand at sikre en tilfredsstillende mikrobiel kvalitet på gråvandet, dvs. en mikrobiel kvalitet modsvarende kravene i drikkevandsbekendtgørelsen.

Der har under funktionsafprøvningen ikke været konstateret gener i forbindelse med anlægget, herunder bl.a. lugt- og støjgener. Endvidere har genbrugsvandet i hele perioden været klart og lugtfrit med undtagelse af en kortere periode hvor vandet blev gulligt grundet henstand i genbrugsbuffertank pga. fejl på spildevandspumpen. Såfremt anlægstypen i fremtiden evt. skal finde anvendelse bør de i afsnit 4.5.5 angivne anlægsforbedringer implementeres, således dette kan betjenes uden arbejdsmiljømæssige gener.

Med udgangspunkt i funktionsafprøvningen må det konkluderes, at gråvandsanlægget på Gals Klint har været velfungerende og rensset vandet til et, set fra et sundhedsmæssigt og spildevandsteknisk perspektiv, fornuftigt niveau.

På baggrund af ovennævnte vurderes det, at der generelt ikke vil være gener forbundet med genanvendelse af gråt spildevand på toiletter med offentlig adgang på Gals Klint. Det skal dog bemærkes, at gråvandets karakteristika og anlæggets udformning og drift er altafgørende for rensresultatet, hvorfor erfaringerne fra projektet ikke direkte og ukritiske kan anvendes til tilsvarende anlæg.



## 6 Litteratur

- /1/ Nielsen, M. et al.: "Genanvendelse af gråt spildevand på campingpladser", Miljøstyrelsen, Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning Nr. 16, 2001.
- /2/ Lynggaard-Jensen, A. et al.: "Biologiske sandfiltre", Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen Nr. 29, 1992.
- /3/ Albrechtsen, H.-J. et al.: "Boligernes vandforbrug. Mikrobiologiske undersøgelser af regn- og grävandsanlæg", Boligministeriet og Miljøstyrelsen, 1998.
- /4/ Albrechtsen, H.-J. et al.: "Boligernes vandforbrug. Mikrobiologiske undersøgelser af regn- og grävandsanlæg", Boligministeriet og Miljøstyrelsen, 1998.
- /5/ Adeler, O. F.: "Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse", Miljøstyrelsen, Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning Nr. 3, 2000.
- /6/ Ledin, A. et al.: "Måleprogram for karakterisering af gråt spildevand", DTU, 2001.
- /7/ Mølgaard, K. et al.: "Hygiejnisk kvalitet af spildevand fra offentlige renseanlæg", Miljøstyrelsen 2002.
- /8/ Jepsen, S.-E. et al.: "Miljøfremmede stoffer i husholdningsspildevand", Miljøprojekt nr. 357, Miljøstyrelsen, 1997.
- /9/ Løw & Hallberg: "Fosforfjernelse i biologisk sandfilter", Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, Nr. 35, 1991.
- /10/ Miljø- og Energiministeriet: "Biologiske sandfiltre op til 30 PE", Vejledning fra Miljøstyrelsen Nr. 3, 1999.,
- /11/ Henze, M. et al.: "Spildevandsrensning – Biologisk og kemisk", Polyteknisk forlag, 2. udg., 1992.



# Bilag A – Analyseresultater urensset gråvand

Dato/parameter	Enhed	16-08-2002
pH	-	7,2
Temperatur	°C	22,3
SS	mg/l	45
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	7,3
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	0,009
Total-N	mg/l	13
Total-P	mg/l	1,2
Chlorid	mg/l	260
Sulfat	mg/l	76
Turbiditet	FTU	42
BOD <sub>5</sub>	mg/l	69
COD(Cr)	mg/l	160
total-S	mg/l	56
Sulfid-S	mg/l	10
Detergenter, Anioniske	mg/l	1,8
Detergenter, kationiske	mg/l	0,4
Olie	mg/l	6,2
Fedt	mg/l	32
LAS	µg/l	<200
NVOC	mg/l	54
AOX	µg/l	30

Tabel 24. Kemiske parametre – Urenset gråvand



Dato/parameter	Enhed	16-08-2002
Al	µg/l	220
Sb	µg/l	<1,0
As	µg/l	2,3
Ba	µg/l	230
Pb	µg/l	1,8
Cd	µg/l	<0,1
Ca	mg/l	130
Cr	µg/l	2,5
Co	µg/l	<1,0
Fe	mg/l	1,1
K	mg/l	11
Cu	µg/l	130
Hg	µg/l	<0,05
Mg	mg/l	9,3
Mn	mg/l	0,12
Mo	µg/l	<30
Na	mg/l	35
Ni	µg/l	1,3
Sn	µg/l	<25
V	µg/l	<10
Zn	µg/l	69

Tabel 25. Metaller – Urenset gråvand

Dato/parameter	Enhed	16-08-2002
Kimtal 22 °C	CFU/ml	3600000
Kimtal 37 °C	CFU/ml	>1000
Coliforme bakterier	CFU/100ml	490000
Termotolerante coliforme bakterier	CFU/100ml	79000
Enterokokker	CFU/g	<10
Pseudomonas aeruginosa	CFU/ml	50
Salmonella	pr. 1000 ml	i.p.
Campylobacter	pr. 1000 ml	<1
Legionella	pr. 1000 ml	<200
Koagulase positive Staphylococcus	CFU/g	<10

Tabel 26. Mikrobiologiske parametre – Urenset gråvand

Dato/parameter	Enhed	16-08-2002
Phenol	µg/l	21
2-methylphenol	µg/l	0,24
3-methylphenol	µg/l	5,9
4-methylphenol	µg/l	170
2,3-dimethylphenol, 2,4-dimethylphenol, 2,5-dimethylphenol, 2,6-dimethylphenol	µg/l	<0,050
3,4-dimethylphenol	µg/l	0,05
3,5-dimethylphenol	µg/l	<0,050
2,4+2,5-dichlorphenol	µg/l	0,16
2,6-dichlorphenol	µg/l	<0,050
2,4,6-trichlorphenol	µg/l	0,066
2,3,4,6-tetrachlorphenol	µg/l	<0,050
Pentachlorphenol	µg/l	<0,050
4-chlor-2-methylphenol	µg/l	<0,050
Nonylphenoler	µg/l	<0,7
Nonylphenolmonoethoxylater	µg/l	0,76
Nonylphenoldiethoxylater	µg/l	<0,2
Sum af Nonylphenoler	µg/l	0,76
Octylphenol	µg/l	<0,1
Octylphenol-polyethoxylat	µg/l	<20
Nonylphenol-polyethoxylat	µg/l	<20
Di-n-buthylphthalat (DBP)	µg/l	1,8
Butylbenzylphthalat (BBP)	µg/l	0,22
Diethylhexylphthalat (DEHP)	µg/l	14
Dimethylphthalat	µg/l	0,98
Diethylphthalat (DEP)	µg/l	29
Di-iso-buthylphthalat	µg/l	1,8
Di-n-propylphthalat	µg/l	<0,10
Di-pentylphthalat	µg/l	<0,10
Di-cyclohexylphthalat	µg/l	<0,10
Trichlormethan	µg/l	<0,050
1,1,1-trichlorethan	µg/l	<0,050
Tetrachlormethan	µg/l	<0,050
Trichlorethylen	µg/l	<0,050
Tetrachlorethylen	µg/l	<0,050
1,1,2-trichlorethan	µg/l	<0,2
1,2-dichlorethan	µg/l	<0,2
1,2-dichlorpropan	µg/l	<0,10
Dichlormethan	µg/l	<2
trans-1,2-dichlorethylen	µg/l	<0,10
cis-1,2-dichlorethylen	µg/l	<0,10
1,1-dichlorethan	µg/l	<0,10

Tabel 27. Miljøfremmede organiske stoffer – Urenset gråvand



## Bilag B – Analyseresultater biologisk rensset grävand

Dato/parameter	Enhed	02-10-2002	08-10-2002	16-10-2002
pH	-	8	8,1	7,9
Temperatur	°C			11,3
SS	mg/l	< 5	< 5	< 5
NH <sub>4</sub> -N	mg/l	0,012	0,012	0,005
NO <sub>3</sub> -N	mg/l	3,8	3,7	3,7
Total-N	mg/l	4,44	4,98	4,74
Total-P	mg/l	0,041	0,038	0,036
Chlorid	mg/l	63	70	65
Sulfat	mg/l	66	99	94
Turbiditet	FTU	7,7	2,2	5
BOD <sub>5</sub>	mg/l	< 2,0	< 2,0	< 2,0
COD(Cr)	mg/l	28	21	22
total-S	mg/l	< 50	< 50	< 50
Sulfid-S	mg/l	< 0,010	< 0,010	< 0,010
Detergenter, Anioniske	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Detergenter, kationiske	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Olie	mg/l	< 0,050	< 0,050	< 0,050
Fedt	mg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
LAS	µg/l	< 100	< 20	< 20
NVOC	mg/l	10	9,4	8,3
AOX	µg/l	48	43	44

Tabel 28. Kemiske parametre – Biologisk rensset grävand

Dato/parameter	Enhed	02-10-2002	08-10-2002	16-10-2002
Phenol	µg/l	< 0,1	< 0,1	< 0,1
2-methylphenol	µg/l	< 0,050	< 0,050	< 0,050
3-methylphenol	µg/l	< 0,050	0,055	0,082
4-methylphenol	µg/l	< 0,050	0,099	0,081
2,3-dimethylphenol, 2,4-dimethylphenol, 2,5-dimethylphenol, 2,6-dimethylphenol, 3,4-dimethylphenol, 3,5-dimethylphenol	µg/l	< 0,050	< 0,050	< 0,050
2,4+2,5-dichlorphenol, 2,6-dichlorphenol, 2,4,6-trichlorphenol, 2,3,4,6-tetrachlorphenol, Pentachlorphenol	µg/l	< 0,050	< 0,050	< 0,050
4-chlor-2-methylphenol	µg/l	< 0,050	< 0,050	< 0,050
Nonylphenoler	µg/l	< 0,10	< 0,10	0,11
Nonylphenolmonoethoxylater	µg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Nonylphenoldiethoxylater	µg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Sum af Nonylphenoler	µg/l	i.p.	i.p.	0,11
Octylphenol	µg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Octylphenol-polyethoxylat	µg/l	< 20	< 20	< 20
Nonylphenol-polyethoxylat	µg/l	< 20	< 20	< 20
Di-n-buthylphthalat (DBP)	µg/l	< 0,50	< 0,50	< 0,50
Butylbenzylphthalat (BBP)	µg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Diethylhexylphthalat (DEHP)	µg/l	< 0,50	0,51	7,7
Diethylphthalat (DEP)	µg/l	< 0,20	< 0,20	< 0,20
Di-iso-buthylphthalat	µg/l	< 3,0	< 3,0	< 3,0
Dimethylphthalat, Di-n-propylphthalat, Di-pentylphthalat, Di-cyclohexylphthalat	µg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Trichlormethan	µg/l	< 0,1	< 0,050	< 0,050
1,1,1-trichlorethan, Tetrachlormethan, Trichlorethylen, Tetrachlorethylen	µg/l	< 0,050	< 0,050	< 0,050
1,1,2-trichlorethan, 1,2-dichlorethan, 1,2-dichlorpropan	µg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10
Dichlormethan	µg/l	< 2	< 2	< 2
trans-1,2-dichlorethylen, cis-1,2-dichlorethylen, 1,1-dichlorethan	µg/l	< 0,10	< 0,10	< 0,10

Tabel 29. Miljøfremmede organiske stoffer – Biologisk rensed gråvand

Dato/parameter	Enhed	02-10-2002	08-10-2002	16-10-2002
Al	µg/l	34	< 30	< 20
Sb	µg/l	3	< 5,0	< 5,0
As	µg/l	75	2,6	< 3,0
Ba	µg/l	< 30	< 30	-
Pb	µg/l	< 1,0	< 1,0	-
Cd	µg/l	< 0,10	< 0,10	-
Ca	mg/l	140	130	130
Cr	µg/l	< 1,0	< 1,0	-
Co	µg/l	< 1,0	< 5,0	-
Fe	mg/l	0,072	0,051	0,07
K	mg/l	5,2	4,8	5
Cu	µg/l	11	9,4	7,6
Hg	µg/l	0,059	< 0,050	0,44
Mg	mg/l	10	9,7	9,6
Mn	mg/l	< 0,030	< 0,030	-
Mo	µg/l	< 30	< 30	-
Na	mg/l	48	44	44
Ni	µg/l	13	11	10
Sn	µg/l	< 25	< 25	-
V	µg/l	< 10	< 10	-
Zn	µg/l	8,4	7,5	< 20

Tabel 30. Metaller – Biologisk rensset gråvand

Dato/parameter		02-10-2002	08-10-2002	16-10-2002
Kimtal 22 °C	CFU/ml	16000	210	8800
Kimtal 37 °C	CFU/ml	62	9	12
Coliforme bakterier	CFU/100 ml	49	49	49
Termotolerante coliforme bakterier	CFU/100 ml	5	2	2
Enterokokker	CFU/g	< 1	< 1	< 1
Pseudomonas aeruginosa	CFU/ml	< 1	< 1	< 1
Areomonas, bevægelige arter	pr. ml	< 10	< 10	< 10
Salmonella	pr. 1000 ml	i.p.	i.p.	i.p.
Campylobacter	pr. 1000 ml	< 1	< 1	< 1
Legionella	pr. 1000 ml	< 10	< 10	< 10
Koagulase positive Staphylococcus	CFU/g	< 10	< 10	< 10
Clostridium Perfringens	CFU/ml	< 10	< 1	< 1
Clostridium Perfringens sporer	CFU/ml	< 10	< 1	< 1

Tabel 31. Mikrobiologiske parametre – Biologisk rensset gråvand