

Udviklingsprojekt for anvendelse af regnvand som spædevand direkte i offentlige svømmebade

Udviklingsprojekt for anvendelse af regnvand som spædevand direkte i offentlige svømmebade

Morten Andersson
Moe & Brødsgaard A/S

Anders Dalsgaard
Den kongelige Veterinær- og Landbohøjskole,
Institut for Veterinær Mikrobiologi

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	4
SAMMENDRAG	6
SUMMARY	8
1 INDLEDNING	10
2 REGNVANDSANLÆG	12
2.1 OPSAMLINGSANLÆGGET	13
2.2 RENSEANLÆGGET	14
2.3 ANLÆGS- OG DRIFTSERFARINGER	16
3 SUNDHEDSMÆSSIGE OG HYGIEJNISKE ASPEKTER	19
4 VALG AF MÅLEPARAMETRE	21
4.1 MÅLEPARAMETRE	21
4.1.1 <i>Kemiske forureninger</i>	21
4.1.2 <i>Fysisk-kemiske målinger</i>	21
4.2 MIKROORGANISMER OG SMITSTOFFER I REGNVAND	22
4.2.1 <i>Mikroorganismer i regnvand</i>	22
4.2.2 <i>Bakterier</i>	22
4.2.3 <i>Indikatororganismer</i>	24
4.2.4 <i>Andre smitstoffer</i>	24
4.3 MÅLEPARAMETRE TIL DEN INDLEDENDE SCREENING	26
5 MÅLEPROGRAM 1. FASE: INDLEDENDE SCREENING	23
5.1 PRØVEUDTAGNING	23
5.2 INDLEDENDE ANALYSER	23
5.2.1 <i>Mikrobiologiske analyseresultater fra indledende analyser af regnvand fra Vestbadet</i>	25
5.3 DE VALGTE FYSISK-KEMISK OG MIKROBIOLOGISKE PARAMETRE	26
5.4 KOMBINATIONSBEHANDLINGER	27
6 MÅLEPROGRAM 2. FASE:	28
6.1 FYSISK-KEMISKE PARAMETRE	28
6.2 MIKROBIOLOGISKE UNDERSØGELSER	30
6.2.1 <i>Mikrobiologiske analyseresultater af behandlet regnvand</i>	30
6.2.2 <i>Kimtal efter filtrering gennem 3M filter og UV-lys behandling</i>	33
6.2.3 <i>Kimtalsreduktioner ved behandling med UV-lys alene</i>	35
6.2.4 <i>Bakteriekim i Vestbadets indendørsbassin</i>	41
7 KONKLUSION OG ANBEFALING	42
8 LITTERATUR	44
Bilag A: Flowdiagram for opsamlingsanlægget	
Bilag B: Flowdiagram for renseanlægget	
Bilag C: Analyserede PAH'er	
Bilag D: Analyserede pesticider	

Forord

Projektet blev født i forbindelse med en tagrenovering på hovedbygningen ved Vestbadet I/S i 1998. Vestbadet er beliggende i Rødovre og Brøndby kommuner tæt på København, hvor den samlede belastning af grundvandsressourcerne er meget stor. Vestbadet har i dag et 50 m indendørs bassin, et varmtvands babybassin, et 25 m friluftsbassin samt et udendørs soppe-/legebassin. Derudover findes der motionscenter og en række andre publikumsfaciliteter. Vestbadet har ca. 300.000 besøgende om året.

Personalet ved Vestbadet havde gennem flere år arbejdet med vandbesparende tiltag, og havde ideer og visioner til yderligere besparelser i anvendelsen af drikkevand. Baggrunden for projektet var derfor et ønske om at reducere forbruget af drikkevand og dermed reducere belastningen af grundvandsressourcerne.

Inden for kredsen af svømmehaller er der stor interesse for at få mulighed for at kunne udnytte regnvand, hvilket i dag ikke er tilladt i bygninger med offentlig adgang. For eksisterende bygninger og anlæg, hvor anlægsudgifterne ved udnyttelse af regnvand til f.eks. toiletter kan være uforholdsmæssige høje, er det særligt interessant at få undersøgt andre anvendelsesmuligheder. Vestbadet mente derfor, at der var behov for nytænkning.

Følgende udsagn lå til grund for det videre forløb i projektet:

- Vestbadet og andre svømmehaller har et stort løbende vandforbrug.
- Det regner i friluftsbadet – hvorfor så ikke anvende regnvandet i svømmehallen?
- Regnvand må kunne anvendes til andet end toiletskyl.
- Regnvandet må kunne anvendes i svømmehallen med det samme uden lang opholdstid i tank og behov for stor lagerkapacitet.

Med udgangspunkt i ovenstående besluttede bestyrelsen for Vestbadet at iværksætte en forundersøgelse, hvor Moe & Brødsgaard undersøgte forskellige anvendelsesmuligheder og evt. støttemuligheder for gennemførelse af et udviklingsprojekt.

Som et led i forundersøgelsen blev der afholdt en høringsrunde i form af et stjernemøde med deltagelse af følgende myndigheder og specialister:

- Embedslægen
- Levnedsmiddelkontrollen fra januar 2000 Miljølaboratoriet Storkbh.
- Miljøstyrelsen
- Kloakmyndigheden
- Vandforsyningen
- Mikrobiologisk ekspert

Fra alle parter blev ideen om anvendelse af regnvand direkte i svømmebassinnet eller til returskylning af sandfiltre mødt med stor interesse og åbenhed. Bestyrelsen for Vestbadet besluttede derfor at fremsende en ansøgning til

Miljøstyrelsens Aktionsplan for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning.

Udviklingsprojektet er 15% finansieret af Vestbadet. Miljøstyrelsen har finansieret den resterende del under "Aktionsplan for fremme af økologisk byfornyelse og spildevandsrensning", Fjerde tema: Håndtering af regnvand og gråt spildevand.

Projektet er udarbejdet af en projektgruppe bestående af:

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

Miljølaboratoriet Storkøbenhavn I/S har udtaget vandprøver og forestået de mikrobiologiske og kemiske analyser.

HOH Vand & Miljø A/S har leveret og opstillet forsøgsanlægget til rensning af det opsamlede tagvand.

Nyrup Plast har leveret komponenter til opsamling og opbevaring af regnvandet.

Projektet er blevet fulgt af en styregruppe bestående af:

Jørgen Mosbæk	Vestbadet I/S
Børge Nielsen	Vestbadet I/S
Linda Bagge	Miljøstyrelsen
Mogens Kaasgaard	Miljøstyrelsen
Arne Scheel Thomsen	Embedslægeinstitutionen for Københavns Amt
Jan Halaburt	Københavns Amt

Sammendrag

I forbindelse med reovering af taget på Vestbadet I/S blev det besluttet at etablere et anlæg til opsamling af regnvand. Fra den nyrenoverede tagflade på ca. 2.200 m² kan der opsamles ca. 950 m³ regnvand på årsbasis. Vestbadets årlige vandforbrug er ca. 20.000 m³, hvoraf de 2-3.000 m³ anvendes som spædevand til det indendørs 50 meter bassin.

Formålet med projektet var at udvikle et simpelt og driftsøkonomisk anlæg til behandling af tagvand, der ønskes anvendt som spædevand i offentlige svømmehaller.

Regnvandsanlægget består af to systemer. Dels et anlæg til opsamling, grovrensning, kortvarig oplagring og distribution ind i bygningen, i det efterfølgende kaldet opsamlingsanlægget. Og dels et anlæg til behandling og hygiejnisering af regnvandet, i det efterfølgende kaldet renseanlægget.

Renseanlægget var opbygget af følgende komponenter:

- Et 3M fastpartikelfilter (10 µm).
- Et ozon anlæg (Prominent) med en max. ydelse på 5 g O₃/h. Vandflow på 2,5-3 m³ vand/h.
- Et kulfilter (Triton TR 60), aktivt kul baseret på tørv.
- Et UV anlæg (Trojan UV 8002). UV dosis på over 30.000 mJ/cm² 10 cm fra lyskilde. 2 lamper i alt 130 W. Vandflow på 3 – 6 m³ vand/h.

Projektet var et udviklings- og forsøgsanlæg. Anlægget var derfor opbygget således, at det var muligt at kombinere behandlingsmetoderne vilkårligt. Det var endvidere muligt at variere flowhastighed fra 0,5 - 3 m³ vand/h. Det var afgørende for at opnå et godt resultat og en brugbar erfaringsopsamling, at det var muligt netop at kombinere forskellige typer af vandbehandling og samtidig måle på det "samme" regnvand (regnvand fra samme regnhændelse):

Der har været gennemført et meget omfattende måleprogram, hvor en række kombinationsmuligheder for behandling og hygiejnisering af opsamlet regnvand er blevet analyseret.

Måleprogram og valgte parametre blev løbende diskuteret i projektets Styregruppe og blev således godkendt af Miljøstyrelsen og Embedslægeinstitutionen. Der har været gennemført en indledende screening til fastlæggelse af den kemiske og mikrobiologiske sammensætning af regnvandet. På baggrund af denne screening er det endelige måleprogram blevet fastlagt.

I måleprogrammets fase 1+2 er der udtaget mere en 90 vandprøver til analysering i perioden juni 1999 til maj 2001. Der blev indsamlet prøver af regnvand umiddelbart efter afløb fra tagoverflade, ubehandlet regnvand fra opsamlingsstank, samt prøver af regnvand før og efter behandling ved filtrering, kulfilter, ozonbehandling og UV-lys behandling. I perioden februar 2002 til oktober 2002 blev der udtaget yderligere 48 vandprøver til analysering af effekten af forskellige anlægsmæssige ændringer.

Antal kim ved 21 og 37°C og antal enterokokker blev valgt som indikatorparametre til undersøgelse af effekt af de forskellige behandlinger af regnvand. Det blev påvist, at UV-lys behandling alene havde den største reducerende effekt på antal mikroorganismer. Resultaterne fra en række forsøg viste sammenlignelige reduktioner i antal kim ved 21 og 37°C og antal enterokokker.

Ved alle forsøg kunne der ikke påvises enterokokker efter UV-lys behandling. Ubehandlet regnvand indeholdt typisk omkring 1.000 enterokokker per 100 ml. Antal enterokokker blev således reduceret med ca. 99%.

Analyseresultaterne viste, at UV-lys behandlingen ved fem sammenlignelige analyser reducerede indholdet af kim ved 21 og 37°C til et niveau meget tæt på kvalitetskravene til drikkevand. For termotolerante koliforme bakterier, enterokokker og pseudomonas bakterier var de fundne koncentrationer i det UV-lys behandlede regnvand alle under eller lig med kvalitetskravene til bassinvand.

Ved prøverne udtaget d. 27. august og 15. oktober blev der udtaget vandprøver umiddelbart efter UV-lys behandlingen, dvs. fra selve UV-enheden. Der blev udtaget en prøve efter 1. UV-enhed, og så efter 2. UV-enhed, hvor regnvandet var belyst to gange. Resultaterne viste sammenlignelige niveauer under kravene til drikkevand i alle prøver.

På baggrund af resultaterne anbefaler projektet, at der gennemføres et testforsøg med anvendelse af UV-behandlet regnvand som spædevand til svømmebassinet i Vestbadet. Det endelige testprogram skal fastlægges i samråd med Miljøstyrelsen og Embedslægen.

Summary

In connection with the renovation of the roof of the public swimming baths Vestbadet I/S, it was decided to establish a system for collection of rainwater. On a yearly basis, it is possible to collect approximately 950 m³ of rainwater from the renovated roof surface of 2,200 m². The annual water consumption at Vestbadet is approximately 20,000 m³, of which 2-3,000 m³ are used as feed-water for the 50 metre indoor swimming pool.

The purpose of the project is to develop a simple system for treating rainwater, for the use as feed-water in public swimming baths, which at the same time satisfies the requirements of operational economy.

The rainwater system consists of two units. One unit for collection, rough cleaning, short-term storage and distribution to the building, in the following called the collection unit. And one unit for cleaning and treatment of the rainwater, in the following called the cleaning unit.

The cleaning unit consists of the following components:

- A 3M solid particulate filter (10 µm)
- An ozone unit (Prominent) with a maximum capacity of 5g O₃/h. Water flow of 2.5 - 3 m³ water/h.
- A charcoal filter (Triton TR 60), active charcoal based on peat
- A UV system (Trojan UV 8002). UV dose of more than 30,000 mJ/cm² 10 cm from the light source. Two lamps, totalling 130 W. Water flow of 3 to 6 m³ water/h.

The project is a development and test plant. Therefore the design of the system allows a random combination of the two treatment methods. Furthermore, the flow speed is variable and can be set at 0.5 to 3 m³ water/hour.

To achieve a good result and to gain valuable experience, it was important that the system could combine different types of water treatment and at the same time measure the quality of the "same" rainwater (from the same rain occurrence).

A very extensive measuring program was carried out, where the effect of various treatment combinations of collected rainwater was analysed.

The project management group continuously discussed the analytic program and the chosen parameters, which were all approved by the Danish Environmental Protection Agency and the Medical Health Officers. An initial screening was carried out to determine the chemical and microbiological composition of the rainwater. Based on this screening the final analytic programme was determined.

In the course of phases 1 and 2 of the analytic programme more than 90 water samples were analysed in the period from June 1999 to May 2001. Samples were taken from the rainwater collected immediately after run-off from the roof surface; from the untreated rainwater in the collection tank and finally samples were taken of the rainwater before and after treatment by filtration,

charcoal filters, ozone treatment and UV-light treatment. During the period from February 2002 to October 2002, a further 48 water samples were analysed to determine the effect on bacterial numbers resulting from various alterations of the plant.

Total viable counts at 21°C and 37°C and the number of enterococci were chosen as indicator parameters to examine the effect of the various rainwater treatments. The results from a series of analyses showed comparable reductions in the total viable counts at 21°C and 37°C and the number of enterococci.

Enterococci were not found in any samples after UV-light treatment. Untreated rainwater typically contained approximately 1,000 enterococci per 100 ml. Thus the treatment reduced the number of enterococci by 99%.

The analysis results show that UV-light treatment in five comparable analyses reduced the total viable counts at 21°C and 37°C to a level very close to the quality requirements for drinking water. The concentration in the UV-treated rainwater of thermo-tolerant coliforms, enterococci and pseudomonas was either below or equal to the quality requirements for swimming pool water.

From the samples taken on August 27th and October 15th tests were made of the water immediately after UV-light treatment, i.e. from the actual UV unit. One test was carried out after the first UV unit and one test after the second UV unit, where the rainwater had been exposed to UV-light twice. The results of all the analyses show comparable levels of total viable counts at 21°C and 37°C below the quality requirements for drinking water.

Based on the results, it is proposed that UV-treated rainwater is used as feed-water for the Vestbadet swimming pool for a test period. The preparation of such a test including a water quality monitoring programme should be determined in consultation with the Danish Environmental Protection Agency and the Medical Health Officers.

1 Indledning

Baggrunden for projektet var et ønske om at reducere forbruget af drikkevand og dermed reducere belastningen af grundvandsressourcerne. Inden for kredsen af svømmehaller er der stor interesse for at få muligheder for at kunne udnytte regnvand, hvilket i dag ikke er tilladt i bygninger med offentlig adgang. For eksisterende bygninger og anlæg, hvor anlægsudgifterne ved udnyttelse af regnvand til f.eks. toiletter, kan være uforholdsmæssigt høje, var det særligt interessant at få undersøgt andre anvendelsesmuligheder. En anvendelse af regnvand direkte i svømmebassinet eller til returskylning af sandfiltre er en oplagt mulighed.

Formålet med projektet var at udvikle et simpelt og driftsøkonomisk anlæg til behandling af tagvand, der ønskes anvendt som spædevand i offentlige svømmehaller. Dette blev forsøgt opnået ved opbygning af et forsøgsanlæg, hvor det var muligt at kombinere forskellige typer af vandbehandling og hygiejniserende. Endvidere var det også projektets formål gennem vandkvalitetssanalyser at fastlægge den mikrobiologiske og kemiske kvalitet af regnvand, samt at demonstrere, at der ved behandling i anlægget kunne opnås en egnet vandkvalitet, så regnvandet på en hygiejne- og sundhedsmæssig forsvarlig vis kunne anvendes som spædevand i svømmebassiner.

I forbindelse med renovering af taget på Vestbadet I/S blev det besluttet at etablere et anlæg til opsamling af regnvand. Fra den nyrenoverede tagflade på ca. 2.200 m² kan der opsamles ca. 950 m³ regnvand på årsbasis. Vestbadets årlige vandforbrug er ca. 20.000 m³, hvoraf de 2-3.000 m³ anvendes som spædevand til det indendørs 50 meter bassin. Det resterende vandforbrug anvendes primært til afvaskning af brugere og en mindre del til rengøring.

Regnvandet kan være forurenet med forskellige bakterier, eksempelvis kolidorme bakterier, *Pseudomonas*, *Salmonella*, og *Campylobacter*, og andre smitstoffer, herunder parasitter og virus. Forskellige mikroorganismer kan således eventuelt udgøre en sundhedsrisiko. Det opsamlede tagvand kan endvidere indeholde forskellige kemiske stoffer f.eks. afsmitning fra tagmaterialer, PAH'er (Polycykliske Aromatiske Hydrokarboner som typisk fremkommer ved ufuldstændig forbrænding i fyringsanlæg og køretøjer), samt støv og andre partikler. En behandling af det opsamlede regnvand er derfor påkrævet, inden det tilledes svømmebassinet.

Miljøstyrelsen har offentliggjort flere arbejder vedrørende regnvand. Disse inkluderer en vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse /1/, beskrivelse af fordele og ulemper ved anvendelse af regnvand i husholdninger /2/. Endelig er der i rapporten "Boligernes vandforbrug – Mikrobiologiske undersøgelser af regn- og grävandsanlæg /3/ samlet eksisterende viden og resultater fra diverse undersøgelser af regn- og grävandsanlæg. Sidstnævnte indeholder detaljerede beskrivelser og overvejelser omkring mikroorganismer og sundhedsrisici ved opsamling og anvendelse af regnvand. Metoder til hygiejniserende af spildevand, herunder ozon- og UV-lys behandling er beskrevet i Miljøstyrelsens Spildevandsforskningsrapport nr. 51, 1993 /4/. Der er ingen danske erfaringer med anvendelse af opsamlet regnvand som spædevand i svømmebassiner. Udviklingsprojekter vil derfor bidrage med ny

viden om og erfaring med, dels hvilke stoffer og bakterier regnvandet indeholder, og dels hvilken vandbehandling der er nødvendig for at kunne opnå en acceptabel vandkvalitet.

2 Regnvandsanlæg

Efterfølgende findes en teknisk beskrivelse af det samlede anlæg til opsamling og behandling af regnvand. Der henvises til bilag A og B, som viser flowdiagrammer af anlægget.

Regnvandsanlægget består af to systemer. Dels et anlæg til opsamling, grovrensning, kortvarig oplagring og distribution ind i bygningen, i det efterfølgende kaldet opsamlingsanlægget. Og dels et anlæg til behandling og hygiejnsning af regnvandet, i det efterfølgende kaldet renseanlægget.

Det skal bemærkes, at sideløbende med projekteringen af opsamlingsanlægget arbejdede Rørcentret, Teknologisk Institut med udarbejdelsen af deres Anvisning 003 "Brug af regnvand til wc-skyl og vaskemaskiner i boliger" /3/. Opsamlingsanlægget er ændret løbende, så det følger anvisningen, i den udstrækning det har været muligt i forhold til de eksisterende forhold ved Vestbadet.

Vestbadet består af tre bygningskroppe. Svømmehallen med nyt buet aluminiumstag. En mellemgang med flat tagpaptag, samt en mindre bygning med bl.a. omklædningsfaciliteter, med skrå eternittag.



Figur 2.1: Vestbadet efter tagrenovering, 1999.

Der opsamles kun regnvand fra taget på svømmehallen. Regnvand fra de to andre tage ledes til en faskine (nedsivningsanlæg) og anvendes ikke.

Det vurderes, at katte og andre større pattedyr ikke kan komme op på taget. Der er ingen nedhængende grene eller andre adgangsveje. Den begrænsede adgang for større dyr har betydning for graden af fækalforurening af det opsamlede regnvand, og dermed eventuelle risici ved anvendelsen af regnvandet i svømmebassinet.

Tagfladen er ca. 2.200 m². Det er ikke al den regn, der falder på taget, der er tilgængelig for anvendelse. Noget vil fordampe fra tagfladen, og der er et vist tab i filtre og ved overløb osv. Den tilgængelige mængde regnvand kan beregnes ud fra følgende formel:

Tagflade i m² X mm nedbør/år X afløbskoefficient (anslået til 0,7 for et buet tag) X tab (ca. 10% i filtre mm.).

Den beregnede tilgængelige mængde er således: 2.200 x 680 x 0,7 x 0,9/ = 942 m³/år. Det vil sige, at der burde kunne opsamles mellem 900 – 950 m³ regnvand/år. Opsamlingsanlægget er i øvrigt dimensioneret efter retningslinjerne i RC - Anvisning 003.

2.1 Opsamlingsanlægget

Projekteringen af opsamlingsanlægget har været underlagt de eksisterende forhold ved Vestbadet. Placering (koter) af det eksisterende ledningsnet og placeringsmuligheder for opsamlingstank har således givet nogle begrænsninger.

Opsamlingsanlægget består af følgende komponenter:

- Opbremsningsbrønd til reduktion af vandhastighed for tilløb til filtre, 2 stk.
- Hvirvel regnvandsfiltre, 4 stk.
- 30 m³ regnvandstank med beroligende indløb, placeret under terræn.
- Pumpebrønd til overløb fra tank.
- Svømmende sugefilter i tank til fremføring af regnvand til renseanlægget i teknikrum.
- Styreunit, Raincontrol.

De eksisterende regnvandsledninger er blevet ændret til tørre ledninger, hvilket har betydet, at de eksisterende sandfang (fig. 2.2) på nedløb er blevet fjernet (fig. 2.3). Det var ikke muligt at opnå et fald på de anbefalede 20 ‰ for de tørre ledninger. En beregning i henhold til DS 432 viste, at der kunne opnås den nødvendige selvrensende effekt med det 10 ‰ fald, der var på de eksisterende ledninger.



Figur 2.2: Eksisterende sandfang, Vestbadet 1999



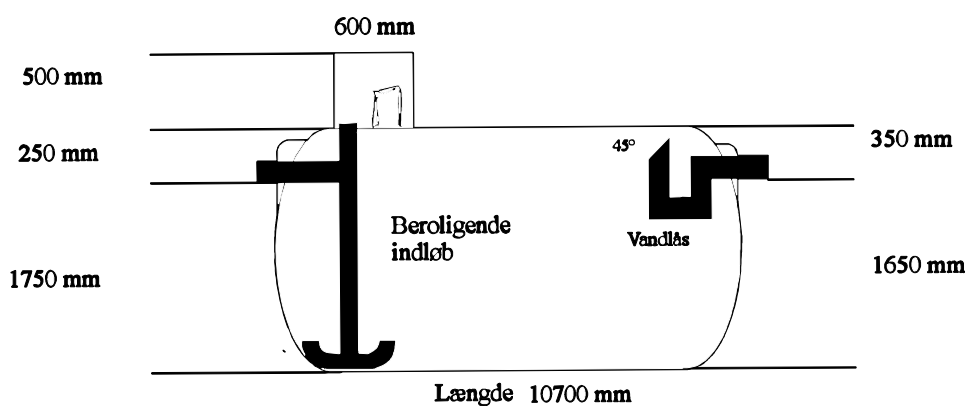
Figur 2.3: Nedløb omlagt til tør ledning, Vestbadet 1999

Fra taget ledes regnvandet til to opbremsningsbrønde, der reducerer flowhastigheden. Herfra fordeles vandet til 4 hvirvelfiltre (fig. 2.4). I filtret separeres blade, fuglelekskremener mm. fra og ledes via pumpebrønden til det offentlige regnvandssystem. Det filtrerede regnvand løber til en 30 m³ opsamlingstank.



Figur 2.4: Hvirvelfilter

Der er etableret en separat regnvandpumpebrønd pga. opstuvningsrisiko i området. Overløb fra opsamlingsstanken ledes til denne pumpebrønd, hvilket sikrer mod tilbageløb fra det offentlige kloak-/regnvandssystem.



Figur 2.5: 30 m³ opsamlingsstank med beroliget indløb

I opsamlingsstanken sker der en sedimentering af større partikler, hvilket er med til at reducere behovet for behandling af regnvandet.

2.2 Renseanlægget

Anlægget har skulle fungere som et udviklings- og forsøgsanlæg. Det blev derfor opbygget således, at det var muligt at kombinere behandlingsmetoderne vilkårligt. Det var endvidere muligt at variere flowhastighed fra 0,5 - 3 m³ vand/h. Det var afgørende for at opnå et godt resultat og en brugbar erfaringsopsamling, at det var muligt netop at kombinere forskellige typer af vandbehandling og samtidig måle på det "samme" regnvand (regnvand fra samme regnhændelse):

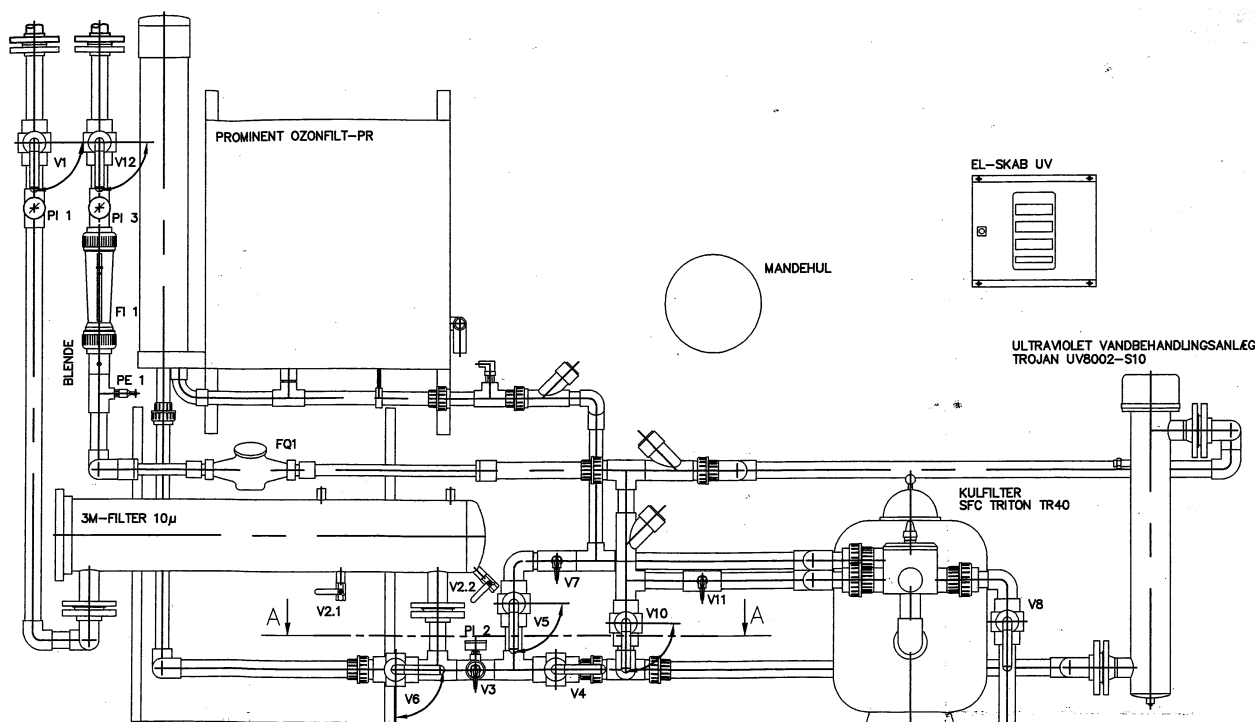
Renseanlægget var opbygget af følgende komponenter:

- Et 3M fastpartikelfilter (10 µm).
- Et ozon anlæg (Prominent) med en max. ydelse på 5 g O₃/h. Vandflow på 2,5-3 m³ vand/h.
- Et kulfilter (Triton TR 60), aktivt kul baseret på tørv.
- Et UV anlæg (Trojan UV 8002). UV dosis på over 30.000 mJ/cm² 10 cm fra lyskilde. 2 lamper i alt 130 W. Vandflow på 3 - 6 m³ vand/h.

Opbygningen af anlægget har gjort det muligt relativt simpelt og hurtigt at kunne kombinere behandlingsmetoderne (fig. 2.6). Inden for mindre end 1 time kunne der udtages vandprøver til analysering af effekterne af alle be-

handlingskombinationer. I de indledende faser af prøveprogrammet blev der ved hver prøvesekvens udtaget vandprøver til analysering af effekter for følgende behandlingskombinationer:

- Urenset regnvand fra opsamlingstank ved start af prøvesekvens.
- Efter 3M filter.
- Efter 3M filter + kulfilter.
- Efter 3M filter + UV-lys (Ultra Violet - lys).
- Efter 3M filter + kulfilter + UV.
- Efter 3M Filter + ozon + kulfilter.
- Efter 3M Filter + ozon + kulfilter + UV.
- Urenset regnvand fra opsamlingstank ved slut af prøvesekvens.



Figur 2.6: Flowdiagram for renseanlæg, Vestbadet 1999

Anlægget har været reguleret således, at opsamlingstanken blev tømt automatisk i takt med, at den blev fyldt med regnvand. Tømningen af tanken blev standset automatisk ved et restvolumen i tanken på mindre end ca.15%. I perioder uden regnhændelser har renseanlægget stået stille.

Det opsamlede regnvand har på intet tidspunkt været i kontakt med det øvrige vandsystem i svømmehallen. Efter behandling i renseanlægget eller i de perioder, hvor der ikke er foretaget behandlingsforsøg, er vandet blevet ledt direkte til kloak.

Næste trin i udviklingen er en forsøgsvis anvendelse af regnvandet i svømmebassinet. Et sådan forsøg vil blive gennemført, hvis det er økonomisk muligt, og der kan opnås de nødvendige godkendelser fra relevante myndigheder, herunder Miljøstyrelsen, Embedslægen og evt. Sundhedsstyrelsen.

Hvis der kan opnås de nødvendige tilladelser til anvendelse af regnvandet som spædevand, tænkes det behandlede regnvand tilført Vestbadets 100 m³ buffertank. Fra buffertanken ledes svømmebadsvandet med evt. regnvand gen-

nem Vestbadets almindelige vandbehandlingsanlæg, før det ledes til svømmebassinet. Det betyder, at regnvandet ledes gennem sandfilter, kulfilter (en delstrøm) og tilsættes klor, inden det ledes til svømmebassinet.



Figur 2.7: Ozonanlæg og partikel filter, Vestbadet 1999



Figur 2.8: UV-lys anlæg, Vestbadet 1999

2.3 Anlægs- og driftserfaringer

Regnvandsanlægget er ikke kommet til verden helt uden fødselsproblemer. Nogle ubekendte ledningsføringer og lidt mere kuriøse hændelser førte til, at halinspektøren og projektlederen overvejede, om det nu var en god idé at etablere et regnvandsanlæg. Det startede med, at leverandøren af den 30 m³ opsamlingskølle ringede og meddelte, at leverancen blev forsinket ca. 1 uge, da fragtskibet med køllederen drev rundt i Nordsøen med rorskade. Da politiet efter ca. 1 uges venten ringede og spurgte, om vi var ejere af en 30 m³ kølle, der drev rundt i Holbæk havn, kom de første tegn fra de højere magter. En gruppe unge mænd havde set det som en stor udfordring at skubbe køllederen, der stod på kajen, i havnen.



Figur 2.9: Opsamlingsstank flydende i Holbæk Havn, 1999



Figur 2.10: Repareret hovedvandsforsyning, Vestbadet 1999

Da entreprenøren så gravede hovedvandsforsyningen til Vestbadet over (på årets varmeste dag) skulle der tælles til 10 nogle gange. Vandledningen lå et andet sted, end alle tegninger viste, så det var et hændeligt uheld. Det havde som konsekvens, at tanken skulle flyttes ca. 8 m og graves ca. 2 m dybere ned.

På trods af ovenstående blev det samlede anlæg etableret, indkørt og justeret i efteråret 1999. Mindre justeringer af anlægget har været påkrævet. Det har vist sig, at ozonanlægget var følsomt og havde visse vanskeligheder ved at fungere optimalt i et anlæg, der ikke kører kontinuerligt. Konstant flowhastighed min. $2,5 \text{ m}^3/\text{hr}$ var en forudsætning for tilfredsstillende drift af ozonanlægget. Trykfald og luftbobler havde også indflydelse på ozonanlægget. Efter nogen justering kørte ozonanlægget tilfredsstillende.

3M filtret blev relativt hurtigt tilstoppet, så der blev indført en rutine med en månedlig skylning af filtret. Kulfiltret afgav de første måneder kulpartikler til det øvrige renseanlæg, hvilket gav driftsproblemer. Det påvirkede ozonanlægget og tilstoppede vandmåleren, der i lange perioder blev sat ud af drift.

UV-anlægget har fungeret helt uden driftsproblemer.

Det kan konstateres, at der ikke er opsamlet den forventede mængde regnvand på ca. $950 \text{ m}^3/\text{år}$. Det første driftsår er der således kun opsamlet ca. 500 m^3 regnvand. Noget kan forklares med en sporadisk defekt vandmåler. Endvidere er opsamlingsstanken blevet tømt og rensat 2 gange, men det kan ikke forklare

den store forskel. Der er mistanke om, at tabet i hvirvelfiltrene er væsentligt større end forventet.

Der er planlagt et forsøg, hvor der tilføres en kontrolleret mængde vand, der i flowhastighed og mængde svarer til en regnhændelse på 140 l/s/ha.

3 Sundhedsmæssige og hygiejniske aspekter

Sundhedsmæssige og hygiejniske aspekter ved anvendelse af regnvand som spædevand i svømmebade er ukendte. Der foreligger ingen danske undersøgelser af sådanne aspekter, ligesom der heller ikke synes at være gennemført udenlandske undersøgelser.

Albrechtsen (1998) /3/ beskriver smitterisikoen ved regnvand som specielt knyttet til specifikke smitstoffer, eksempelvis fra forurening med fuglefækalier, samt ved opformering af mikroorganismer under opbevaring af det opsamlede regnvand. Sidstnævnte risici er knyttet til mikroorganismer, der normalt ikke betragtes som sygdomsfremkaldende, men som under særlige omstændigheder eller i høje koncentrationer kan give problemer, herunder være hud- og slimhindeirriterende.

I det efterfølgende omtales kort risici ved de forskellige mulige overførelsesveje for mikroorganismer og kemiske stoffer i regnvand. Dette efterfølges af en kort præsentation af de vigtigste mikroorganismer og kemiske stoffer i regnvand og regnvandsanlæg. Ønskes der en detaljeret beskrivelse og diskussion af mikrobiologiske måleparametre, herunder især for sygdomsfremkaldende mikroorganismer, henvises der til tidligere rapport offentliggjort af Miljøstyrelsen og Bolig- og Byministeriet /3/.

Afgrænsning af projektet

Der er foretaget en vurdering af de sundheds- og hygiejnemæssige risici ved anvendelse af regnvand, hvorimod der ikke er foretaget en risikovurdering ved fejl og uheld ved det tekniske anlæg. En stor del af de mulige sundhedsrisici for badende synes dog at være relateret til bassinvandets mikrobiologiske kvalitet. Størstedelen af den mikrobiologiske forurening af svømmebassin vand må forventes at stamme fra mennesker, især mikroorganismer i fæces og fra hudoverflader. En teknisk rapport indeholdende en vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse er offentliggjort af Miljøstyrelsen /1/.

Overførsel af mikroorganismer til mennesker

Anvendelse af regnvand som spædevand i svømmebade, til toiletskyl og andre formål kan være forbundet med en række mulige sundhedsrisici for mennesker. Sådanne risici kan være forbundet med forekomsten af mikroorganismer, herunder især sygdomsfremkaldende mikroorganismer, samt sundhedsskadelige kemiske stoffer i regnvand. Overførslen til mennesker kan ske ved:

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

I denne rapport vurderes sundhedsmæssige og hygiejniske aspekter udelukkende i forhold til anvendelse af regnvand som spædevand i svømmebassinet.

Indtagelse af vand gennem mund (oral)

Sygdom, typisk mavetarmlidelser, opstået som følge af oral indtagelse af bassinvand vil kunne optræde, hvis der indtages et tilstrækkelig højt antal sygdomsfremkaldende mikroorganismer (en infektiv dosis) eller eksempelvis bakterielle giftstoffer, som kan forårsage typisk akutte mavetarm reaktioner. Antal mikroorganismer i regnvand, som ønskes anvendt som spædevand, vil afhænge af organismernes initiale forekomst i det opsamlede regnvand, samt en eventuel efterfølgende opformering efter regnvandets opsamling, behandling og lagring. Regnvandets indhold af næringsstoffer og dets temperatur har indflydelse på såvel overlevelse som opformering af mikroorganismer.

Badegæster, især børn, kan indtage og sluge typisk i gennemsnit 20-50 ml vand under badning. Den infektive dosis varierer betydeligt mellem de forskellige sygdomsfremkaldende bakterier, vira, og parasitter, ligesom denne dosis også er bestemt af flere forskellige forhold ved den menneskelige vært. Infektionsdosis er typisk høj for bakterier (10^5 - 10^7), hvorimod få vira eller parasitter ofte kan forårsage sygdom. Endelig vil mennesker også kunne få virus eller bakterieinfektioner i de øvre luftveje (næse, svælg) ved badning. For en detaljeret gennemgang af aktuelle smitstoffer og risici henvises til udkast for guidelines fra WHO /10/.

Der vil ofte ske en betydelig reduktion i antal og koncentration af eventuelle sygdomsfremkaldende mikroorganismer og fremmedstoffer i regnvand ved behandling, ligesom der vil ske en betydelig fortynding af disse stoffer efter en eventuel tilførsel til svømmebassin.

Hudkontakt

Badegæsters hud og slimhinder, herunder øjne, øre og hals, vil i varierende, men dog betydelig grad, være eksponeret for såvel mikroorganismer som fremmedstoffer, herunder toksiske cellebestanddele, under badning. Sygdomsfremkaldende mikroorganismer, som kan give hudproblemer, inkluderer en række vira; bakterieslægterne *Mycobacterium* spp. og *Pseudomonas aeruginosa*. Førstnævnte bakterieslægt kan medføre hudinfektion (svømmebassins granulom”) og lungeinfektion, mens sidstnævnte kan forårsage hudinfektion (folliculitis) og øreinfektion. For en detaljeret gennemgang af mikrobiologiske risici ved badning i bassinvand henvises til udkast for guidelines fra WHO /10/.

Indånding

Indånding af forstøvede vandpartikler (aerosoler), indeholdende især sygdomsfremkaldende mikroorganismer, udgør en potentiel smitteoverførelsesrisiko under badning. Lungebetændelser forårsaget af *Legionella* bakterier er et eksempel på et relevant og vigtigt smitstof, hvor infektion af luftvejene sker efter indånding af vandpartikler med *Legionella* bakterier. Infektion med *Legionella* er typisk beskrevet ved brusebadning, hvorimod viden om risici for infektion ved svømmebadning synes yderst begrænset. Endelig kan der eventuelt også indåndes diverse bakterielle giftstoffer, såkaldte endotoksiner.

4 VALG AF MÅLEPARAMETRE

Kapitel 4 redegør for de overvejelser og vurderinger, der lå til grund for valg af måleparametre til den indledende screening til fastlæggelse af den kemiske og mikrobiologiske sammensætning af regnvandet. I kapitel 5 er der redegjort for valg af parametre til det endelige måleprogram.

4.1 Måleparametre

Til bestemmelse af den generelle og hygiejniske kvalitet af ubehandlet og behandlet regnvand er der ved Vestbadet efter diskussioner og godkendelse i Styregruppen valgt følgende typer af måleparametre:

- Kemiske forureninger
- Fysisk-kemiske målinger
- Mikroorganismer, herunder smitstoffer, indikatororganismer og generelle parametre

4.1.1 Kemiske forureninger

PAH

Med Vestbadets placering i et tæt bebygget og trafikeret område kunne det forventes, at der måtte være nedfald og deponering af PAH-forbindelser på taget, som kunne nedvaskes med regnvandet og dermed ende i opsamlings-tanken. En indledende screening for PAH-forbindelser i det urensede regnvand indgik i måleprogrammet (standardpakke på 15 forbindelser jf. bilag C).

Pesticider

Efter aftale med Styregruppen blev der ikke i første omgang analyseret for pesticider i det opsamlede regnvand. Det var blevet undersøgt, om der i umiddelbar nærhed af Vestbadet blev anvendt pesticider. Det var ikke tilfældet. Der var derfor ingen forventninger om, at der kunne findes pesticider eller rester fra pesticider i regnvandet.

Ca. midt i prøveudtagningsforløbet blev det efter anmodning fra Embedslægen besluttet at undersøge det opsamlede regnvand for indhold af pesticider. Vandværkernes standardmåleprogrammer for undersøgelser af pesticider i drikkevand blev anvendt (jf. bilag D).

Tungmetaller

Afhængig af valg af tagoverflader og belægninger kan disse afgive en række kemiske stoffer under regnens afløb fra taget. Da Vestbadets tag er et aluminiumstag, blev det besluttet at undersøge koncentration af aluminium i det opsamlede regnvand, samt reduktioner af eventuelle koncentrationer af aluminium ved regnvandsbehandling.

4.1.2 Fysisk-kemiske målinger

Til fastlæggelse af miljøet som mikroorganismerne blev eksponeret for i regnvandet blev der målt pH, vandtemperatur, samt indhold af organisk stof.

Sidstnævnte blev målt som mængden af suspenderet stof og NVOC (opløste organiske stoffer).

Analysen for indhold af organisk stof blev udført, da tidligere undersøgelser af spildevand har fremhævet, at vandets indhold af partikulært materiale eller suspenderet stof og NVOC kan forringe effekten af behandling med UV-lys og ozon. En dansk undersøgelse fandt dog, at variationer i disse parametre påvirkede behandlingseffekten af UV-lys og ozon i yderst ringe grad /4/.

4.2 Mikroorganismer og smitstoffer i regnvand

For en detaljeret gennemgang af mikroorganismer og smitstoffer i regnvand og regnvandsanlæg henvises der til tidligere rapporter /1/, /3/. I det efterfølgende gives en kort beskrivelse af mikroorganismer og smitstoffer i regnvand og regnvandsanlæg med udgangspunkt i de faktiske forhold ved Vestbadet, herunder tagkonstruktion og tagoverflade, opsamling og behandling af regnvand.

4.2.1 Mikroorganismer i regnvand

Ved regnvands passage gennem luften, dets kontakt med overflader, og opsamling i beholder vil der tilføres en række mikroorganismer. Af sundhedsmæssig betydning ved Vestbadet er især mikroorganismer, der tilføres regnvand ved en fækalforurening af tagfladen. Ekskrementer kan tilføres taget fra en række fuglearter. Endeligt vil en række dyrearter kunne have adgang til tagoverfladen, herunder katte, ræve, mus, rotter og andre gnavere. Konstruktion og udformning af Vestbadets tag tillader, som beskrevet i kapitel 2, ikke adgang af katte, ræve og andre store pattedyr. Dog må rotter og mus kunne forventes at have adgang til Vestbadets tag i begrænset omfang. Antal og arterne af mikroorganismer, der eventuelt kan tilføres via regnvand anvendt som spædevand, er bestemt af en række forhold. Mikroorganismene kan inddeles i følgende grupper /2/:

- Bakterier
- Virus
- Protozoer
- Ormeæg
- Alger
- Svampe

I det efterfølgende beskrives relevante sygdomsfremkaldende bakterier og indikatororganismer, som vil kunne forekomme i regnvand. De øvrige grupper af mikroorganismer omtales afslutningsvis kort.

4.2.2 Bakterier

Bakterier, som kan forventes at forekomme i regnvand, kan inddeles i:

- Sygdomsfremkaldende bakterier, herunder bakterier som normalt forekommer i vandmiljøer
- Indikatororganismer
- Andre bakterier

Sygdomsfremkaldende bakterier

De vigtigste bakterier, som forårsager mavetarminfektioner hos mennesker under danske forhold og som kan forventes at findes i fækalt-forurenet regnvand fra tagoverflader, tilhører slægterne *Salmonella*, *Campylobacter*, *Yersinia* samt visse typer af *E. coli*.

Salmonella og Campylobacter

Salmonella og *Campylobacter* er de to vigtigste årsager til bakterielt-betinget diarré hos mennesker i Danmark. Begge bakterieslægter overføres typisk via levnedsmidler, herunder vand, fra dyr til mennesker, hvor de forårsager mavetarminfektioner. *Salmonella* og *Campylobacter*, især sidstnævnte, kan isoleres fra overfladevand (floder, søer, og havet) som følge af fækalforurening fra vilde dyr, fugle og mennesker /3/. Begge slægter kan overleve, men menes ikke at kunne opformeres, i vandige miljøer ved lav temperatur. I svømmebade vil bassin vandet kunne forurenes med *Salmonella* og *Campylobacter* ved fækalforurening fra de badende, især i baby- og børnebassiner. Der er i projektet undersøgt for forekomst af *Salmonella* og *Campylobacter* i opsamlet regnvand.

Legionella

Der kan ligeledes forekomme flere vandbakterier i regnvand, som er sygdomsfremkaldende hos mennesker, herunder *Legionella* spp. og *Pseudomonas* spp. *Legionella* spp. er vigtige årsager til alvorlige lungebetændelser. Slægten findes ofte associeret med bakterier, protozoer og andre organismer i vandmiljøer, hvorved deres resistens over for desinfektionsmidler øges. *Legionella* kan forekomme i tekniske installationer som f.eks. varmtvandsinstallationer, boblebade samt køletårne /3/. Bakterien kan således muligvis være tilstede i regnvand, hvor den eventuelt ville kunne overleve. Opformering af *Legionella* kræver en temperatur mellem 25 – 50° C. Mennesker smittes med *Legionella* bakterier ved indånding af aerosoler, der indeholder bakterierne. Grundet aerosoldannelse ved fysisk aktivitet i svømmebassinet, vil anvendelse af regnvand som spædevand kunne udgøre en potentiel risiko som kilde til luftbåren *Legionella*. Der er i projektet undersøgt for forekomst af *Legionella* i opsamlet regnvand.

Andre smitstoffer

Andre smitstoffer, som kan findes i fækalier, inkluderer slægterne *Listeria*, *Clostridium*, *Aeromonas* og *Bacillus*. Disse bakterieslægter er dog relativt sjældne årsager til sygdom hos mennesker i Danmark. Urin fra dyr kan også indeholde sygdomsfremkaldende bakterier, eksempelvis *E. coli*. enkelte *Proteus* arter, *Pseudomonas aeruginosa*, og *Klebsiella-Enterobacter*. Der findes andre smitstoffer som også kan spredes gennem urin fra gnavere, herunder slægten *Leptospira*, som kan smitte mennesker ved slimhindekontakt. *P. aeruginosa* kan ved kontakt med bassin vand give anledning til infektioner, især hos svækkede individer. Typiske infektioner inkluderer sår-, øre- og øjeinfektioner. Der er i dette projekt udført analyser for *P. aeruginosa*.

Q-feber

Q-feber hos mennesker er yderst sjælden i Danmark og forårsages af den intracellulære bakterie, *Coxiella burnetii*. Bakterien smitter mennesker gennem luften (aerosol) og kan findes hos en række insekter (arthropoder; især lus, lopper, flåter og mider). Bakterien kan inficere kvæg, får og geder, hvor den opformerer sig i moderkagen hos drægtige dyr. Bakterien er resistent for en række fysiske og kemiske påvirkninger. På baggrund af den luftbårne smittevej blev det vurderet, at *C. burnetii* ikke udgør en risiko ved genanvendelse af

regnvand (meddelelse fra Statens Seruminstitut). Der er således i projektet ikke undersøgt for *C. burnetii* i regnvand.

Ornitose

Hos mennesker forårsages ornitose (også benævnt psittacosis eller papegøjesyge) af bakterien *Chlamydia psittaci*. Aviær chlamydiosis optræder hos en række fuglearter, herunder især kalkuner og ænder, men også hos mange vilde fugle. Ornitose kan spredes fra fugle til mennesker. Bakterien findes i fækalier fra syge fugle og spredes via luften (aerosol) til mennesker, som oftest udvikler sygdommen ved eksponering/håndtering af inficerede fugle, eksempelvis ved ophængning af fjerkræ på slagterier. Bakterien er yderst følsom og inaktiveres af kemikalier som quaternær ammonium- og klorforbindelser. Grundet bakteriens ringe resistens for klorforbindelser og smittevej gennem luften blev det vurderet, at eventuelle sundhedsrisici grundet *C. psittaci* er meget lave ved genanvendelse af regnvand (meddelelse fra Statens Seruminstitut). Der er således i projektet ikke undersøgt for *C. psittaci* i regnvand.

4.2.3 Indikatororganismer

Der er undersøgt for indikatororganismerne, *E. coli* og enterokokker, der indikerer fækal forurening og dermed en risiko for tilstedeværelse af andre sygdomsfremkaldende mikroorganismer. Der er også foretaget analyser for total koliforme bakterier og totale kimtal, herunder antal hæmolytiske kim. Analyserne for koliforme bakterier og det totale kimtal indikerer ikke en egentlig fækal forurening, men begge kimtal indikerer omfanget af en mikrobiologisk forurening. Parametrene koliforme bakterier og kimtal ved 21°C og 37°C anvendes til vurdering af den mikrobiologiske kvalitet af drikkevand. Til bestemmelse af den mikrobiologiske kvalitet af svømmebassin vand bestemmes antal koliforme bakterier, *Pseudomonas*, og kimtal ved 21°C og 37°C.

4.2.4 Andre smitstoffer

Virus

Der kan forventes at forekomme en række vira i opsamlet og eventuelt også behandlet regnvand. I modsætning til især bakterier, er forekomst af virus, som kan medfører sygdom hos såvel mennesker og dyr (zoonotiske vira), sjældne. Således vil virussygdomme hos mennesker oftest skyldes overførsel og kontakt med virus som stammer fra mennesker. Metoder til påvisning af virus i miljøprøver er med få undtagelser ikke standardiserede og udføres kun i ringe udstrækning i Danmark. Der er ikke undersøgt for virus i dette projekt.

Ormeæg og protozoer

Fækalforurening af tagoverflader vil kunne medfører, at ormeæg og protozoer kan forventes at forekomme i opsamlet regnvand. Hovedparten af ormeæg, herunder diverse rundormeæg, vil dog bundfældes i opsamlingstanke. Ved Vestbadet vil opsamlet regnvand fra bunden af opsamlingstanken ikke blive anvendt. Endvidere vil eventuelle ormeæg blive tilbageholdt under behandling af regnvandet, især i svømmebadets sand- og kulfilter. Risici for tilførsel af ormeæg og protozoer til bassin vand fra regnvand, vurderes at være minimal sammenlignet med tilførsel ved fækalforurening fra badende.

Cryptosporidium og *Giardia*

Æg af protozoerne, *Cryptosporidium* (ocyst) og *Giardia* (ocyst), er henholdsvis 5 og 10-18 µm, og vil derfor eventuelt kunne passere sand- og kulfiltre, især ved tilbageskylling af filtrene. Begge protozoer kan give mavetarmsygdomme hos mennesker. Vandbårne sygdomme med protozoer ses især i lande, der fortrinsvis bruger overfladevand til drikkevand, modsat Danmark hvor der næsten udelukkende anvendes grundvand. Der foreligger ringe viden om deres udbredelse i Danmark. Trods nogen usikkerhed, syntes dog kun en enkelt art af *Cryptosporidium*, *C. parvum*, med sikkerhed at kunne give sygdom hos mennesker. *C. parvum* kan forekomme hos kalve og lam, men den kan også udskilles af katte. Hos fugle forekommer især *C. baileyi* og *C. meleagridis*. *Giardia* forekommer hos flere dyrearter. Hos mennesker er det især *G. lamblia* (interfinalis) som kan medføre sygdom. *G. lamblia* (interfinalis) fra fugle og katte menes ikke at kunne medføre sygdom hos mennesker.

Med udgangspunkt i forholdene ved Vestbadet, herunder tagets udformning, som forhindrer adgang af flere dyr, eksempelvis katte, blev sandsynligheden for en forurening med dyrefæces indeholdende protozoer, som kunne give infektion hos mennesker, vurderet som ringe. Endelig er protozoer ikke medtaget i analyseprogrammet for dette projekt, da der i en tidligere undersøgelse af opsamlet regnvand fandtes få eller ingen protozoer /3/. Det er derfor vurderet, at sandsynligheden for at finde protozoer, som kan medføre sygdom hos mennesker, i regnvand opsamlet fra Vestbadets tag er yderst ringe.

Toxoplasmose

Human toxoplasmose, som forårsages af *Toxoplasma gondii* er relativt sjælden i Danmark. Mennesker inficeres oftest ved oralindtagelse af ægstadier, som udskilles med fæces fra katte. Katte er relativt hyppigt inficeret med *T. gondii*. I en tidligere dansk undersøgelse af regn- og grävandsanlæg blev der ikke undersøgt for *T. gondii*, idet det blev vurderet, at mennesker i forvejen ofte er i tæt kontakt med katte /3/. Da katte ikke har adgang til Vestbadets tag, og da eventuelle ægstadier (oocyster) grundet deres størrelse vil blive opfanget i svømmebadets filtreringsanlæg, er der i projektet ikke blevet undersøgt for *T. gondii*.

Alger og svampe

I en tidligere dansk undersøgelse af regnvand blev der fundet gærceller og mikrosvampe med varierende hyppighed og antal, hvilket indikerer at regnvandsanlæg udgør komplekse mikrobielle samfund /3/. Rapporten giver ikke egentlige anbefalinger vedrørende undersøgelser for alger og svampe i regnvand. Dog vil høje koncentrationer af disse organismer eller deres cellebestanddele eventuelt kunne give overfølsomhedsreaktioner ved hudkontakt gennem badning. Der er ikke undersøgt for alger, svampe eller gærceller i dette projekt.

4.3 Måleparametre til den indledende screening

På baggrund af ovenstående og drøftelser i styregruppen blev det besluttet, at følgende måleparametre skulle indgå i den indledende screening:

- Total kim 37°C (blodagar)
- Hæmolytiske kim, 37°C
- *Pseudomonas* spp. (hæmolytiske)
- *Bacillus cereus* (hæmolytiske)
- *Pseudomonas* spp.
- *Ps. aeruginosa*, verificeret
- Enterokokker
- Enterokokker, verificeret
- *Clostridium perfringens*
- Kimtal 21°C (Kings B agar; 72 timer)
- Kimtal 37°C (PCA agar; 48 timer)
- Koliforme bakterier
- Termotolerante koliforme bakterier
- *Salmonella*
- *Campylobacter* spp.
- *Legionella pneumophila*
- Aluminium, Al
- PAH, 15 forbindelser
- pH
- Temperatur

5 MÅLEPROGRAM 1. FASE: INDLEDENDE SCREENING

Måleprogram og valgte parametre blev løbende diskuteret i projektets Styregruppe og blev således godkendt af Miljøstyrelsen og Embedslægeinstitutionen. Der har været gennemført en indledende screening til fastlæggelse af den kemiske og mikrobiologiske sammensætning af regnvandet. På baggrund af denne screening, er det endelige måleprogram blevet fastlagt.

I måleprogrammets fase 1+2 er der udtaget mere end 90 vandprøver til analyse i perioden juni 1999 til maj 2001. Der blev indsamlet prøver af regnvand umiddelbart efter afløb fra tagoverflade, ubehandlet regnvand fra opsamlingsstank, samt prøver af regnvand før og efter behandling ved filtrering, kulfilter, ozonbehandling og UV-lys behandling.

5.1 Prøveudtagning

Alle regnvandsprøver blev indsamlet, transporteret og analyseret for kemiske og mikrobiologiske parametre af Miljølaboratoriet Storkøbenhavn I/S efter gældende danske og internationale standarder. Enkelte analyser er udført ved andre laboratorier efter Miljøstyrelsens godkendelse. Således blev analyserne for *Legionella* og PAH forbindelser udført ved Levnedsmiddelkontrollen I/S i Skovlunde. De anvendte metoder til kemiske og mikrobiologiske analyser blev indledningsvis godkendt af Miljøstyrelsen. Detaljerne vedrørende de anvendte metoder er ikke beskrevet i dette kapitel. Der henvises til relevante standarder og til det udførende laboratorium, ligesom en stor del af metoderne er beskrevet tidligere /3/.

5.2 Indledende analyser

Indledningsvis blev der analyseret 4 prøver af ubehandlet regnvand til fastlæggelse af den kemiske og mikrobiologiske sammensætning. Prøver blev indsamlet 14.07.99 (direkte fra tagoverflade); 16.11.99 (opsamlingsstank); 23.11.99 (opsamlingsstank); og 30.11.99 (opsamlingsstank). Prøver fra opsamlingsstanken blev udtaget fra en påsat hane, som tillod udtagning af regnvandsprøve uden tilblanding af slam og sediment. Der blev dog udtaget en enkelt slamprøve til mikrobiologiske undersøgelser primært for smitstoffer. De undersøgte parametre og fundne resultater er vist i tabel 5.1.

Tabel 5.1: Kemiske og mikrobiologiske analyseresultater fra 4 indledende prøveindsamlinger af regnvand fra Vestbadet i 2000.

Parameter	Enhed	Dato og prøveindsamlingssted			
		Tag 14.07.99	Tank 16.11.99	Tank 23.11.99	Tank 30.11.99
Total kim 37°C (blodagar)	pr 100 ml	830	4.300	9.400	6.200
Hæmolytiske kim, 37°C	pr 100 ml	70	4	8	10
<i>Pseudomonas</i> spp. (hæmolytiske)	pr 100 ml	<10	-	<1	<1
<i>Bacillus cereus</i> (hæmolytiske)	pr 100 ml	20	3	6	6
<i>Pseudomonas</i> spp.	pr 100 ml	<1	1	<1	6
<i>Ps. Aeruginosa</i> , verificeret	pr 100 ml	-	<1	-	1
Enterokokker	pr 100 ml	1.200	20	230	190
Enterokokker, verificeret	pr 100 ml	1.100	20	80	110
<i>Clostridium perfringens</i>	pr ml	<1	<1	<1	<1
Kimtal 21°C (Kings B agar; 72 timer)	pr ml	1.300	18.000	55.000	35.000
Kimtal 37°C (PCA agar; 48 timer)	pr ml	<10	6.500	9.300	2.200
Koliforme bakterier	pr 100 ml	<1	4.600	1.400	23
Termotolerante koliforme Bakterier	pr 100 ml	<1	8	49	23
<i>Salmonella</i>	i 100 ml	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.
<i>Campylobacter</i> spp.	i 100 ml	i.p.	i.p.	i.p.	i.p.
<i>Legionella pneumophila</i>	pr L	<100	<10	<10	<10
Aluminium, Al	mg/L	0,28	0,038	0,056	0,065
PAH, 15 forbindelser ¹⁾	µg/L	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Acenaphthylen (PAH forbindelse)	µg/L	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
pH		6,3	6,5	8,3	7,9
Temperatur	°C	-	-	10	12

i.p., ikke påvist

-, ikke målt

¹⁾ Detektionsgrænsen er af laboratoriet oplyst til at være 0,1 µg/l.

5.2.1 Mikrobiologiske analyseresultater fra indledende analyser af regnvand fra Vestbadet

Stor variation

Der fandtes en betydelig variation i fundet af mikroorganismer (Tabel 5.1). Regnvandsprøven udtaget direkte fra afløb fra taget havde generelt noget lavere kimtal end prøver indsamlet fra opsamlingstanken. Dog havde tagprøven et højere antal enterokokker (1.200/100 ml).

Generelle mikrobiologiske målinger

Resultaterne af de generelle mikrobiologiske målinger er vist i Tabel 5.1. Kimtallene ved 21°C og 37°C i prøver fra opsamlingstanken varierede mellem henholdsvis 18.000 – 55.000/ml og 2.200 – 9.300/ml. Der fandtes kun få hæmolytiske kim efter dyrkning på blodagar ved 37°C (4 – 10/100 ml).

Indikatorbakterier

Der fandtes <1/100 ml koliforme og termotolerante koliforme bakterier i regnvandsprøven opsamlet fra tagoverfladen. Prøver fra opsamlingstanken indeholdt mellem 23 - 4.600 koliforme bakterier og 8 – 23 termotolerante koliforme bakterier per 100 ml. Disse fund udviser en ringe korrelation med antallet af enterokokker, hvor der fandtes 1.100 enterokokker per 100 ml i tagregnvand og 20-110/100 ml i prøver fra opsamlingstanken. Årsagerne til disse forskelle mellem antallene af koliforme og termotolerante koliforme bakterier og enterokokker er ukendte. Således ville man på baggrund af fundene af koliforme og termotolerante koliforme bakterier i opsamlet regnvand også forvente at finde disse bakterier i regnvandsprøven opsamlet direkte fra tagoverfladen. Man ville normalt ikke forvente, at termotolerante bakterier kan opformes i opsamlet regnvand. Hovedårsagen til disse varierende fund er en generel stor variation i kimtal mellem de enkelte prøveindsamlinger, bl.a. forårsaget af forskelle i graden i fækalforurening, hyppighed af regn etc. Det skal bemærkes, at der kun blev analyseret en enkelt tagvandsprøve.

De gentagne fund af såvel termotolerante koliforme bakterier og enterokokker viser, at regnvandet opsamlet i Vestbadet er fækalt forurenet. Antallet af disse indikatorer syntes dog relativt lavt. Tilstedeværelsen af disse bakteriegrupper indikerer, at der er en risiko for at egentlige smitstoffer af fækaloprindelse eventuelt også kan forekomme i det opsamlede regnvand.

Bakterielle smitstoffer

Der blev ikke isoleret *Salmonella*, *Campylobacter* og *Legionella pneumophila* i prøver af regnvand udtaget fra tag eller opsamlingstank (Tabel 5.1). Foruden prøverne vist i Tabel 5.1 blev der udtaget og analyseret for de tre smitstoffer i prøver af opsamlet regnvand og slam fra opsamlingstank den 02/05/00. Slamprøven blev analyseret, da sandsynligheden for at påvise smitstoffer normalt er højere i slam, sammenlignet med vandprøver. Dette skyldes, at smitstoffer normalt bundfæles med sedimentation af partikler og organisk materiale. De tre smitstoffer kunne igen ikke isoleres fra prøvematerialet. Trods den lavgradige fækale forurening kunne der således ikke påvises *Salmonella*, *Campylobacter* eller *Legionella pneumophila* i det opsamlede regnvand.

Der fandtes yderst få eller ingen *Pseudomonas aeruginosa*, *Bacillus cereus* og *Clostridium perfringens* (Tabel 5.1). Således blev *Ps. aeruginosa* kun påvist i en enkelt regnvandsprøve fra opsamlingstanken (1/100 ml). På baggrund af fundene af andre fækale indikatorbakterier som vist ovenfor, og den normale forekomst af *Cl. perfringens* i fækalier fra dyr og mennesker, var det noget overraskende, at *Cl. perfringens* ikke blev påvist.

Samlet indikerer resultaterne af smitstofanalyserne, at der tilføres yderst få velkendte bakterielle smitstoffer til det opsamlede regnvand.

I de 4 indledende prøver for 15 forskellige PAH-forbindelser har der med en enkelt undtagelse for acenaphthylen ikke kunne påvises PAH'er. Acenaphthylen fandtes i en enkelt prøve med 0,1 µg/l, hvilket er identisk med analysens detektionsgrænse.

Der blev som forventet grundet aluminiumstaget påvist aluminium (Al) i vandprøverne. 0,28 mg/l i prøven udtaget direkte fra tag og mellem 0,038 – 0,065 mg/l i prøverne udtaget fra opsamlingstanken (Tabel 5.1). Den 2. maj 2000 blev der udtaget en prøver før og efter behandling i kulfiltret, hvor der blev analyseret for Al. Resultatet var i begge prøver tæt på 0,05 mg/l.

Resultaterne indikerer, at der sker en signifikant udfældning af Al i opsamlingstanken. Koncentrationen af Al i vand fra opsamlingstanken var således i 3 gentagne målinger under drikkevandskravet på 0,2 mg/l /7/.

5.3 De valgte fysisk-kemisk og mikrobiologiske parametre

På baggrund af resultaterne i den indledende screening og ovenstående argumentation blev det i samråd med Styregruppen fastlagt, at måleparametrene vist i tabel 5.2 skulle anvendes i 2. fase af måleprogrammet til fastlæggelse af regnvandets kvalitet og effekten af de mulige behandlingskombinationer.

Tabel 5.2: Måleparametre for 2. fase af måleprogrammet.

Parametre	Bemærkninger
Temperatur	Analyseres ved alle prøver der udtages
Enterokokker	
Kimtal 21°C, Kings B, inkubation 72 t	
Kimtal 37°C, PCA, inkubation 48 t	
SS (suspenderet stof)	
NVOC + TOC (opløste organiske stoffer)	
Alkalinitet	Et antal prøver
Turbiditet	Et antal prøver
UV-spektografi ¹⁾	Et antal prøver
Aluminium	Et antal prøver
Salmonella, Campylobacter samt <i>Legionella</i>	2 prøve udtages fra opsamlings-tank
<i>Legionella</i>	2 prøver udtages fra slamlag i op-samlingstank
Pesticider (Vandværkernes pakke, 50 stk, jf. bilag D) ²⁾	2 prøver

¹⁾ Bestemmelse af spektret for UV-lysets gennemtrængelighed gennem vandprøven

²⁾ På anmodning fra embedslægen blev det besluttet, at der skulle udtages to prøver for analysering for pesticider. Der var ingen forventning om at finde pesticider.

5.4 Kombinationsbehandlinger

De forskellige undersøgte behandlingskombinationer er beskrevet i Tabel 5.3.

Tabel 5.3: Oversigt over de forskellige undersøgte kombinationsmetoder for behandling af opsamlet regnvand ved Vestbadet.

Kombinationskode	
Hvirvelfilter, svømmende fin-filter i tank, sedimentation i tank	Ubehandlet regnvand i start af prøvesekvens
Hvirvelfilter, svømmende fin-filter i tank, sedimentation i tank og 3M filter (10µm)	+ kulfilter
	+ Ozon + kulfilter
	+ UV-lys
	+ UV-lys + kulfilter
Hvirvelfilter, svømmende fin-filter i tank, sedimentation i tank	+ UV-lys + ozon +kulfilter
	Ubehandlet regnvand i start af prøvesekvens

Da resultater af de mikrobiologiske undersøgelser viste, at der tilsyneladende skete en opformering af bakteriekim i 3M filtreret, blev der lavet et mindre forsøg 05/09/00 og 08/09/00 til fastlæggelse af kimal før og efter filtrering gennem 3M filtreret.

UV-lys behandling

Resultaterne af forskellige behandlingsformer af regnvandet viste, at UV-lys havde den største drabseffekt på de målte mikrobiologiske parametre. Der gennemførtes derfor en række forsøg med analyser til fastlæggelse og optimering af drabseffekten af UV-lys på udvalgte indikatorbakterier. Disse undersøgelser blev foretaget 25/10/00; 01/11/00; 22/11/00; 02/05/01; 07/05/01; og 18/06/01. De undersøgte parametre og fundne resultater er vist i Figurer 6.2-6.7.

Mikrobiologisk kvalitet af vand i Vestbadets indendørsbassin

For at kunne sammenligne de mikrobiologiske fund i behandlet regnvand blev der i sommeren 2001 udtaget tre vandprøver fra Vestbadets store indendørsbassin. Der blev analyseret for kimal ved 21°C og 37°C.

6 MÅLEPROGRAM 2. FASE:

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

Der har løbende været foretaget vurderinger af, om der var behov for ændringer eller tilføjelser til måleprogrammet. I samråd med Styregruppen er der således iværksat flere miniforsøg for at teste forskellige kombinationer af behandlingsmetoder. Resultaterne fra disse miniforsøg er ligeledes beskrevet i dette kapitel.

6.1 Fysisk-kemiske parametre

Temperatur

Temperaturen i regnvandsprøver fra opsamlingstanken viste ringe variation fra 8-12°C, med de højeste temperaturer målt i prøver indsamlet i maj og juni 2000. Den relativt lave temperatur og ringe variation i vandtemperaturen skyldes sandsynligvis, at opsamlingstanken var nedgravet i jorden. Der fandtes umiddelbart ingen sammenhæng mellem variationer i vandtemperaturen og de fundne kimaltal (Tabel 5.1). Endvidere syntes vandets temperatur ikke at have påvirket behandlingseffekten af UV-lys og ozon.

pH

Der blev målt pH i de 4 prøver af ubehandlet regnvand, som indledningsvis blev analyseret i 1999. pH varierede mellem 6,3 og 8,3. Der fandtes umiddelbart ingen sammenhæng mellem variationer i pH og de fundne kimaltal (Tabel 5.1). Det målte pH interval kan betragtes som neutralt og kan derfor forventes at have haft begrænset indflydelse på de mikrobiologiske parametre.

Suspenderet stof og NVOC

Indholdet af organisk stof, målt som suspenderet stof og NVOC, blev målt i regnvandsprøver udtaget før og efter behandling gennem 3M filter, kulfilter, ozonbehandling og UV-lys behandling. Indholdet af suspenderet stof var med enkelte undtagelser mindre end den nedre målegrænse (< 5 mg/L) og NVOC indholdet var typisk mellem <1-2 mg/L (nedre målegrænse var 1 mg/L) (Tabel 6.1, 6.2, og 6.3). Dog blev der målt NVOC værdier på 9,5 og 6,9 mg/L i april 2000 efter henholdsvis behandling med ozon og kulfilter og efter kombinationen med ozon, kulfilter og UV-lys. Der kan ikke umiddelbart gives nogle forklaringer på de høje NVOC værdier, som dog ikke så ud til at reducere den mikrobiologiske drabseffekt af behandlingerne (Tabel 6.2).

Kemiske forureninger

Pesticider

I 2000 blev der udtaget i alt 5 vandprøver til analysering for indhold af pesticider. 2 prøver blev udtaget direkte fra taget og 3 fra tanken (taphane V0 i kælderen). Der blev analyseret for 55 pesticider (jf. bilag D). I samtlige prøver blev der for et eller flere specifikke pesticider fundet koncentrationer over detektionsgrænsen. Det var ikke altid de samme pesticider.

Et enkelt pesticid, DNOC blev fundet i samtlige prøver. I Bichel-udvalgets rapport /8/ beskrives, at DNOC ikke er blevet anvendt i Danmark de sidste 10

år (kilde fra 1997). Men det vides fra andre undersøgelser, at DNOC kan dannes ved atmosfærekemiske reaktioner (reaktion mellem benzen, toluen og NO_x stammende fra udstødningssgasser fra biler).

På baggrund af de første 5 analyser blev følgende 9 pesticider, der alle var fundet i de første prøver, udvalgt til yderligere analysering:

- DNOC
- Atrazin
- Desethylatrazin (nedbrydningsprodukt af atrazin)
- Desisopropylatrazin (nedbrydningsprodukt af atrazin)
- Isoproturon
- Metamitron
- Pendimethalin
- Terbutylazin
- Desethylterbutylazin (nedbrydningsprodukt af terbutylazin)

I perioden dec. 2000 til maj 2001 blev der udtaget i alt 12 vandprøver til analysering for indhold af de udvalgte 9 pesticider. Der blev udtaget 4 prøver direkte fra taget. 4 prøver fra tanken (taphane V0 i kælderen). Endvidere blev der udtaget 3 vandprøver efter passage af kulfiltret samt 1 prøve efter UV-behandling.

Der er gjort et varieret fund af pesticider fra vandprøverne fra tag og tank. Men der er fundet koncentrationer over detektionsgrænserne for et eller flere pesticider i samtlige prøver (jf. tabel 6.1)

Tabel 6.1: Resultater af pesticidanalyser, 2. forsøgsrunde

Pesticid	Antal fund ud af 8 vandprøver	Min. og max. koncentration i (gennemsnit)	UV-lys behandling		Kulfilter behandling	
			Før	Efter	Før	Efter
DNOC	8	131 – 1.1810 (530)	301	293	281 – 440	u.d. ¹⁾
Atrazin	6	14 – 108 (60)	14	14	80 – 108	u.d.
Desethylatrazin	4	16 – 86 (56)	u.d.	u.d.	61 – 86	u.d.
Desisopropylatrazin	0	0	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.
Isoproturon	3	40 – 47 (42)	u.d.	u.d.	38 – 47	u.d.
Metamitron	0	0	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.
Pendimethalin	6	14 – 152 (86)	151	152	14 – 39	u.d.
Terbutylazin	2	10 – 138 (74)	u.d.	u.d.	10	u.d.
Desethylterbutylazin	1	50	u.d.	u.d.	u.d.	u.d.

Note: Koncentrationer er opgivet i ng/l

¹⁾ u.d. = under detektionsgrænsen, som er 10 ng/l

Det kan konstateres, at behandling med UV-lys ikke havde målelig effekt (reduktion) på koncentration af pesticider.

Den højest tilladelige værdi til indhold af pesticider i drikkevand er ved indgang til ejendom for de udvalgte pesticider 100 ng/l pr. enkelt stof og 500 ng/l total /7/.

Som det fremgår af tabel 6.1 overskrides drikkevandskravene for samtlige analyser for DNOC. I prøven udtaget d. 08.12.01 overskrides den højest tilladelige værdi for pendimethalin. I prøven udtaget d. 23.01.01 overskrides værdien for atrazin og i prøven fra d. 18.05.01 overskrides værdien for terbuthylazin. Samtlige vandprøver udtaget efter kulfiltret viste en reduktion af koncentrationen til under detektionsgrænserne. Det kan således konstateres, at kulfiltret er meget effektivt til fjernelse af analyserede pesticider.

Udseende og lugt

Generelt blev regnvandets lugt og udseende (klarhed og farve) vurderet som værende lugtfri, klar og farveløs. Dog blev der registreret en jordagtig lugt i en regnvandsprøve efter UV-lys behandling, ligesom der blev fundet kulparkler i enkelte vandprøver efter filtrering gennem kulfiltreret.

6.2 Mikrobiologiske undersøgelser

Resultaterne af de mikrobiologiske analyser af regnvand for de fire indledende prøveindsamlinger er vist i tabel 5.1. Her præsenteres resultaterne af effekterne af de forskellige kombinationer af behandlinger. Dette efterfølges af resultaterne af forsøgene til fastlæggelse af en eventuel opformering af bakteriekim i 3M filteret. Endelig vises resultaterne af en række forsøg med UV-lys behandling.

6.2.1 Mikrobiologiske analyseresultater af behandlet regnvand

De valgte undersøgte behandlingskombinationer ved Vestbadet er vist i Tabel 5.3. Efter enkelte testforsøg, blev der i alt gennemført tre behandlingsforsøg i april, maj og juni 2000. Resultaterne af disse forsøg er vist i Tabeller 6.2, 6.3 og 6.4.

Valg af parametre til undersøgelser af behandlingseffekt

Grundet manglende fund kunne der ikke til fastlægnings af effekt af forskellige behandlingsmetoder blive analyseret for *Salmonella*, *Campylobacter* eller *L. pneumophila*. En eksperimentel tilførsel af smitstoffer ville endvidere have været problematisk ud fra sikkerhedshensyn, ligesom smitstofferne ville skulle tilføres i et stadie (af betydning for effekt af miljøpåvirkninger på overlevelse) som kun i nogen grad vil kunne sammenlignes med de faktiske stadier af bakteriecellerne i regnvand.

Da enterokokker fandtes i alle prøver, og denne fækale indikator generelt skønnes at være en bedre parameter/indikator end koliforme og termotolerante koliforme bakterier, grundet enterokokernes generelle større resistens over for miljøpåvirkninger, blev enterokokker valgt som parameter i de videre undersøgelser. Kimtallene ved 21 og 37 °C blev også omtalt til undersøgelse af effekter af de forskellige behandlingsmetoder. Bl.a. fordi de er standardparametre ved mikrobiologisk undersøgelse af vandprøver, ligesom disse analyser vil give en ekstra sikkerhed ved vurdering af behandlingseffekt. En eventuel opformering af mikrobiologiske kim i tankvandet under opbevaring, herunder

også eventuel opformering af koliforme bakterier, vil også kunne registreres ved bestemmelse af de nævnte kimtal.

Ubehandlet regnvandsprøver

Der fandtes, som ved de indledende undersøgelser, store variationer i kimtallene ved 21 og 37°C og antal enterokokker i ubehandlet regnvand (Tabeller 6.2, 6.3 og 6.4). Eksempelvis blev der i juni 2000 fundet et relativt højt antal enterokokker (>1.500/100ml). Årsagerne til dette høje antal enterokokker er ukendte.

3M (10mm) filter

3M filteret var indsat til filtration af diverse organiske og uorganiske partikler. Filteret vil således kunne minimere en eventuel negativ indflydelse af sådanne partikler på effekten af UV-lys og ozonbehandling. Resultaterne viste, at filteret reducerede antal kim ved 21°C, hvorimod der typisk fandtes et højere antal kim ved 37°C og enterokokker efter filtrering i de tre forsøg (Tabeller 6.2, 6.3, og 6.4). Regnvandets passage gennem 3M filteret medførte således tilsyneladende en stigning i antallet af kim ved 37°C og enterokokker.

På baggrund af de forhøjede antal kim ved 37°C og enterokokker blev der i september 2000 gennemført yderligere undersøgelser af UV-lysbehandling med og uden filtrering gennem 3M filteret. Resultaterne er vist i afsnit 6.2.2 og 6.2.3.

UV-lys

UV-lys behandling alene medførte en kraftig reduktion i kimtallene. Således blev der i forsøgene i april og maj påvist ≤ 100 kim dyrket ved 21 og 37°C/ml. Enterokokker kunne ikke isoleres efter udelukkende UV-lys behandling i alle tre forsøg. Det skal bemærkes, at der i juni 2000, trods et stort antal enterokokker i det ubehandlede regnvand (>1.500/100 ml), ikke blev isoleret enterokokker efter UV-lys behandling. Der fandtes i juni kun en begrænset reducerende effekt af UV-lys på antallet af kim ved 21 og 37°C. Årsagerne til den begrænsede effekt af UV-lys på kimtal ved 21 og 37°C på dette tidspunkt er ukendte.

Kulfilter

Filtrering af opsamlet regnvand gennem kulfilter alene medførte typisk en stigning i antallet af kim ved 21 og 37°C (Tabeller 6.1, 6.2, og 6.3). Antal enterokokker blev derimod reduceret. Det øgede antal kim ved 21 og 37°C skyldes sandsynligvis en tilførsel af bakteriekim fra kulfiltrets overflader af biofilm.

Kulfilter og UV-lys

Filtrering af opsamlet regnvand gennem kulfilter med efterfølgende UV-lys behandling medførte en kraftig reduktion i kimtallene (Tabeller 6.2, 6.3, og 6.4). Reduktionen i kimtal var noget større end ved UV-lys behandling alene. Det er uklart hvorfor de forhøjede kimtal ved 21 og 37°C, som typisk fandtes efter filtrering igennem kulfilteret, ikke medførte en relativt mindre reduktion i disse kimtal ved den kombinerede behandling med kulfilter og UV-lys. Efter den kombinerede behandling med kulfilter og UV-lys fandtes der fra 1 – 110 kim ved 21°C og 6 – 430 kim ved 37°C.

Ozon og kulfilter

Der var flere problemer med indkøring af ozonbehandlingsanlægget, jf. afsnit 2.3. Således producerede anlægget ikke den maksimale mængde ozon (5 g/time) under forsøgene i april og juni 2000. Den kombinerede behandling med ozon og efterfølgende filtrering i kulfilter, blev valgt for at bortfiltrere diverse ozonrester og deres omsætningsprodukter, idet disse menes at kunne være sundhedsskadelige.

Behandling af opsamlet regnvand med ozon og filtrering gennem kulfilter medførte kun en begrænset kimtalsreduktion (Tabellerne 6.2, 6.3, og 6.4.) Der blev således isoleret mellem 1.000 – 4.000 bakteriekim ved 21 og 37°C i maj og juni 2000 efter ozonbehandling og filtrering gennem kulfilter. Dette kan skyldes, at regnvandet, uafhængig af en kimtalsreduktion ved ozonbehandling, blev tilført en række bakteriekim ved passagen gennem kulfilteret. Sammenlignet med kimtalsreduktionerne opnået ved behandling med UV-lys alene eller med kombineret behandling med kulfilter og UV-lys var kimtalsreduktionen ved ozonbehandling og kulfilter markant lavere.

Konklusion

Da det normalt ikke vil være sundhedsmæssigt forsvarligt at ozonbehandle vand uden en efterfølgende kulfiltrering, blev det derfor valgt at foretage en række yderligere forsøg for at optimere behandling af regnvand med UV-lys alene.

Tabel 6.2: Mikrobiologiske målinger og mængder af organisk stof ved forskellige behandlingsformer af opsamlet regnvand ved Vestbadet, 04/04/00.

	Kimtal 21°C (per ml)	Kimtal 37°C (per ml)	Enterokok- ker (per 100 ml)	Enterokokker verificeret (per 100 ml)	Suspende- ret stof (mg/l)	NVOC (mg/l)
Ubehandlet regnvand opsamlet regnvand før forsøg	110.000	70	10	10	<5,0	<1,0
Efter 3M filter	64.000	400	20	20	<5	1,0
Efter UV-lys ¹⁾	1	100	<10	-	<5	1,0
Efter kulfilter ¹⁾	83.000	4.200	<10	-	7,6	1,5
Efter kulfilter og UV-lys ¹⁾	2	80	<10	-	<5,0	<1,0
Efter ozon (1,7g/h) og kulfilter ¹⁾	200	83	<10	-	<5,0	9,5
Efter ozon, kulfilter og UV-lys ¹⁾	5	160	<10	-	<5,0	6,9
Ubehandlet regnvand opsamlet regnvand efter forsøg	150.000	69	10	10	<5,0	1,3

¹⁾ Vandet i disse prøver har desuden passeret 3M filteret

Tabel 6.3: Mikrobiologiske målinger og mængder af organisk stof ved forskellige behandlingsformer af opsamlet regnvand ved Vestbadet, 02/05/00.

	Kimtal 21°C (per ml)	Kimtal 37°C (per ml)	Enterokok- ker (per 100 ml)	Enterokokker verificeret (per 100 ml)	Suspenderet stof (mg/L)	NVOC (mg/L)
Ubehandlet regnvand opsamlet regnvand før forsøg	4.100	380	10	10	<5,0	1,8
Efter 3M filter	2.800	530	30	20	<5	2,0
Efter UV-lys ¹⁾	51	65	<10	-	<5	2,0
Efter kulfilter ¹⁾	2.700	5.200	<10	-	<5,0	<1,0
Efter kulfilter og UV-lys ¹⁾	1	6	<10	-	<5,0	<1,0
Efter ozon (4,7g/h) og kulfilter ¹⁾	1.200	2.400	<10	-	<5,0	1,0
Efter ozon, kulfilter og UV-lys ¹⁾	2	3	<10	-	<5,0	<1,0
Ubehandlet regnvand opsamlet regnvand efter forsøg	6.800	1.300	190	120	<5,0	2,2

1) Vandet i disse prøver har desuden passeret 3M filteret

2) Forsøget måtte stoppes to gange i forbindelse med ozonbehandlingen. Vandflowet var ikke højt nok, til at ozonanlægget ville starte automatisk. Nedsættelse af vandflowet skyldtes tilstopning af filteret, før flow-måleren med kulstykker fra kulfilteret. Dette filter blev rensat to gange undervejs.

Tabel 6.4: Mikrobiologiske målinger og mængder af organisk stof ved forskellige behandlingsformer af opsamlet regnvand ved Vestbadet, 13/06/00.

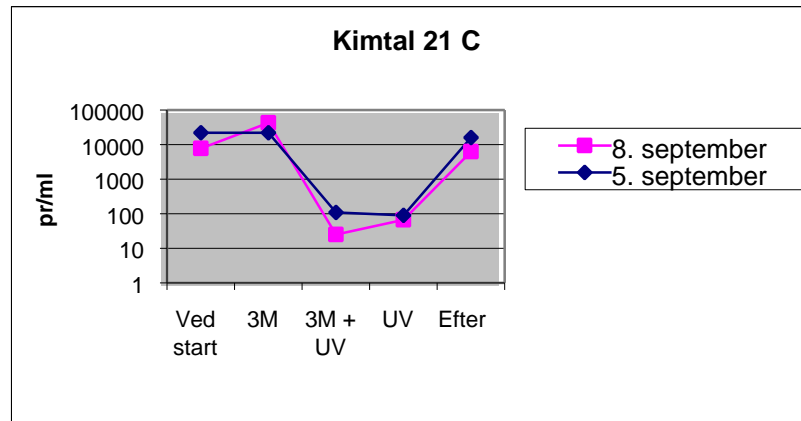
	Kimtal 21°C (per ml)	Kimtal 37°C (per ml)	Enterokok- ker (per 100 ml)	Enterokokker verificeret (per 100 ml)	Suspenderet stof (mg/L)	NVOC (mg/L)
Ubehandlet regnvand opsamlet regnvand før forsøg	26.000	14.000	>1.500	>1.500	<5,0	<1,0
Efter 3M filter	26.000	25.000	>1.500	>1.500	<5	1,1
Efter UV-lys ¹⁾	1.200	9.200	<10	-	<5	<1,0
Efter kulfilter ¹⁾	39.000	33.000	740	570	6,0	<1,0
Efter kulfilter og UV-lys ¹⁾	110	430	<10	-	<5,0	<1,0
Efter ozon (4,7g/h) og kulfilter ¹⁾	4.400	4.700	1.400	1.200	<5,0	1,0
Efter ozon, kulfilter og UV-lys ¹⁾	170	470	<10	-	<5,0	<1,4
Ubehandlet regnvand opsamlet regnvand efter forsøg	33.000	35.000	>1.500	>1.500	<5,0	<1,0

¹⁾ Vandet i disse prøver har desuden passeret 3M filteret

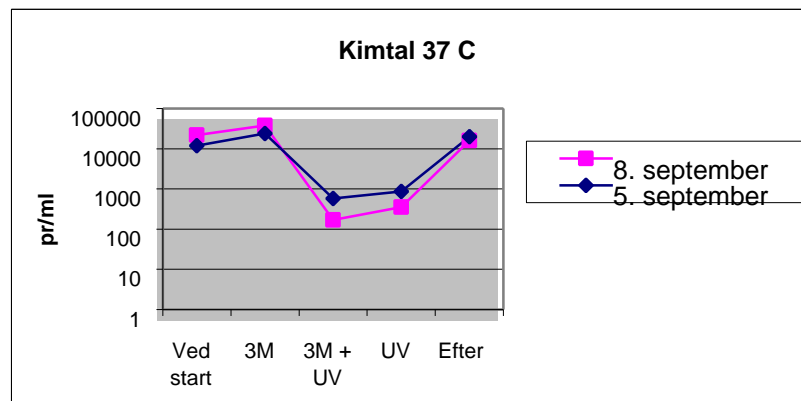
6.2.2 Kimtal efter filtrering gennem 3M filter og UV-lys behandling

To mindre forsøg gennemført 05/09/00 og 08/09/00 bekræftede, at der skete en øgning af antal bakteriekim efter passage gennem 3M filteret (Figurer 6.1, 6.2 og 6.3). Ved efterfølgende behandling af regnvand med kombinationen 3M filter og UV-lys og UV-lys alene, fandtes der ved begge behandlinger en

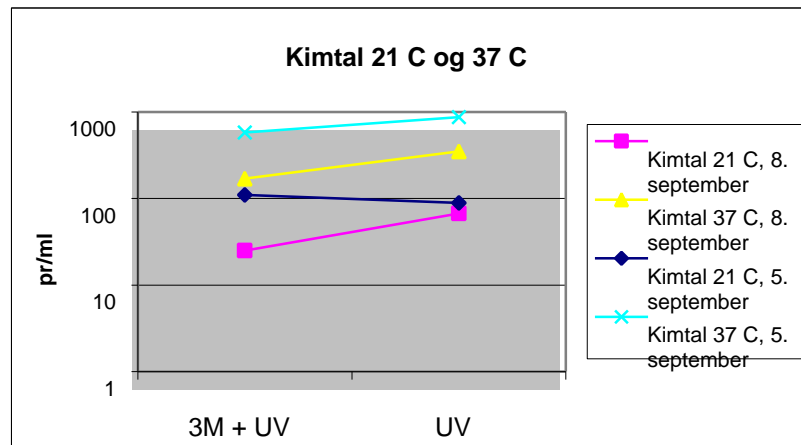
markant reduktion i kimalt ved 21 og 37°C. Reduktion i kimalt syntes en smule større ved kombineret 3M filter og UV-lys, sammenlignet med UV-lys alene (Figur 6.3).



Figur 6.1: Kimalt 21° C målt med og uden 3M filter og UV behandling, samt ubehandlet ved start af forsøget og efter forsøget.



Figur 6.2: Kimalt 37° C målt med og uden 3M filter og UV-lys behandling samt ubehandlet ved start af forsøget og efter forsøget



Figur 6.3: Kimalt 21° C og 37° C målt med og uden 3M filter og UV-behandling.

Konklusion

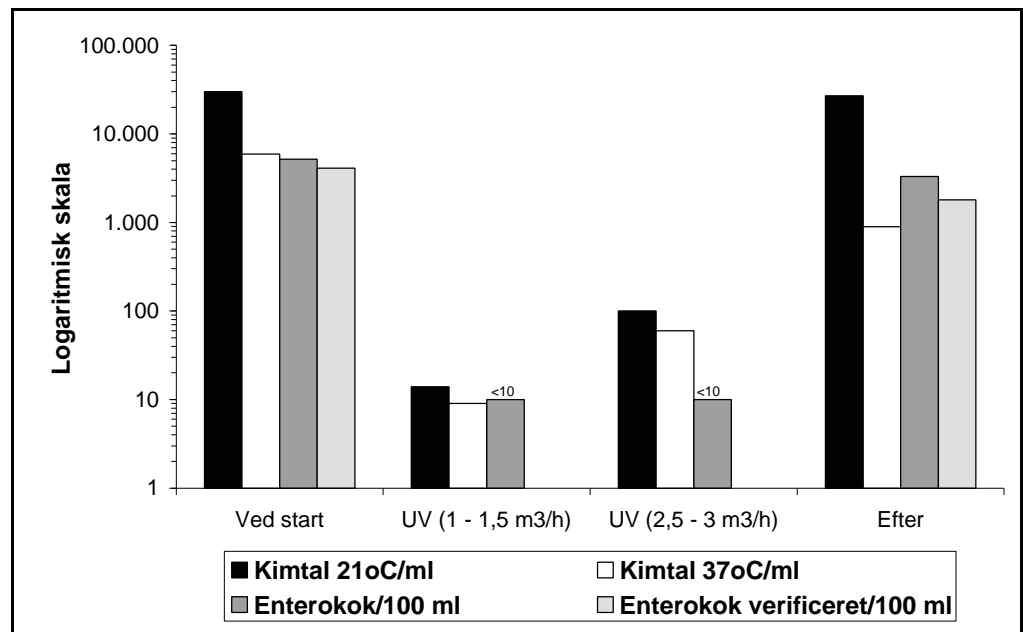
Sammenholdt med resultaterne fra forsøgene beskrevet i 6.2.2, blev det således besluttet, at formålet med de videre forsøg skulle være at optimere og generere yderligere data til fastlæggelse af kimaltsreduktioner ved UV-lys behandling alene.

6.2.3 Kimtalsreduktioner ved behandling med UV-lys alene

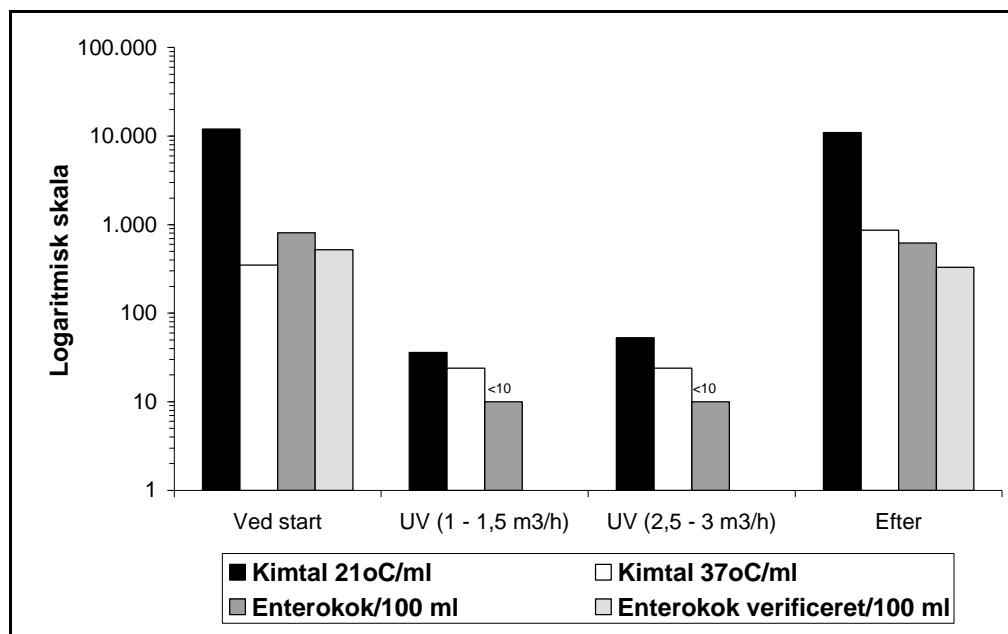
Kimtalsreduktionerne ved behandling med UV-lys alene er vist i Figur 6.4 – 6.8. Forsøgene blev udført ved to forskellige gennemstrømningshastigheder (1 – 1,5 m³/h og 2,5 – 3 m³/h) i de to første forsøg i 2000 (Figur 6.4 og 6.5), hvorimod de tre sidste forsøg i 2001 blev udført med én flow-hastighed på ca. 2,5 m³/h. Ved alle forsøg blev der undersøgt for kimal ved 21 og 37° C og antal enterokokker. Der blev ved alle forsøg udført bestemmelse af kimal i ubehandlet regnvand før og efter behandling med UV-lys.

Resultaterne af de seks forsøg viste med kun ringe variation sammenlignelige reduktioner i antal kim ved 21 og 37°C og antal enterokokker (Figur 6.4 – 6.8, samlet i tabel 6.5). Ved alle forsøg kunne der ikke påvises enterokokker efter UV-lys behandling. Ubehandlet regnvand indeholdt typisk omkring 1.000 enterokokker per 100 ml, mens der i en enkelt vandprøve blev talt ca. 10.000 enterokokker per 100 ml. Antal enterokokker blev således reduceret med ca. 99%. I figurene betyder betegnelserne <1 og < 10 indsat over enkelte søjler, at der ikke kunne isoleres enterokokker ved den angivne detektionsgrænse (1/ml eller 10/ml).

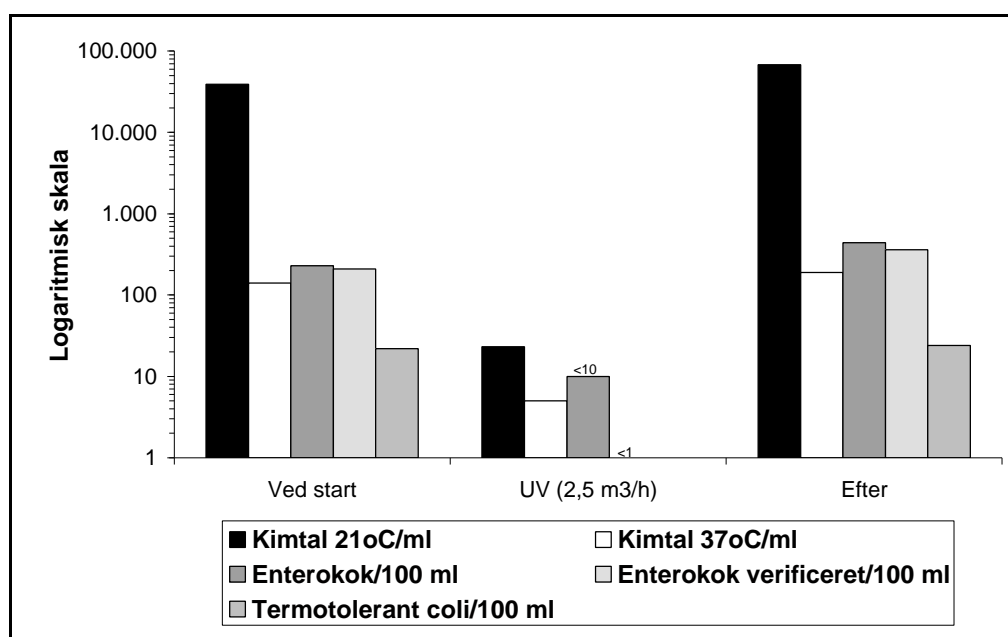
Ved de to forsøg i 2000 fandtes der en reduktion i kimal ved 21 og 37°C på omkring 99%. Dog var reduktion i kimal 37°C ca. 93% ved det andet forsøg i november 2000 (Figur 6.5). Ved de tre forsøg i 2001 fandtes der en ca. 97% reduktion i antal kim ved 21 og 37°C ved det første forsøg i maj 2001 (Figur 6.6), og omkring 99% reduktion i kimal ved 21°C i de to øvrige forsøg (Figur 6.7 og 6.8). Reduktion i kimal ved 37°C ved de to sidste forsøg i 2001 viste en noget lavere reduktion på ca. 60% (Figur 6.7 og 6.8).



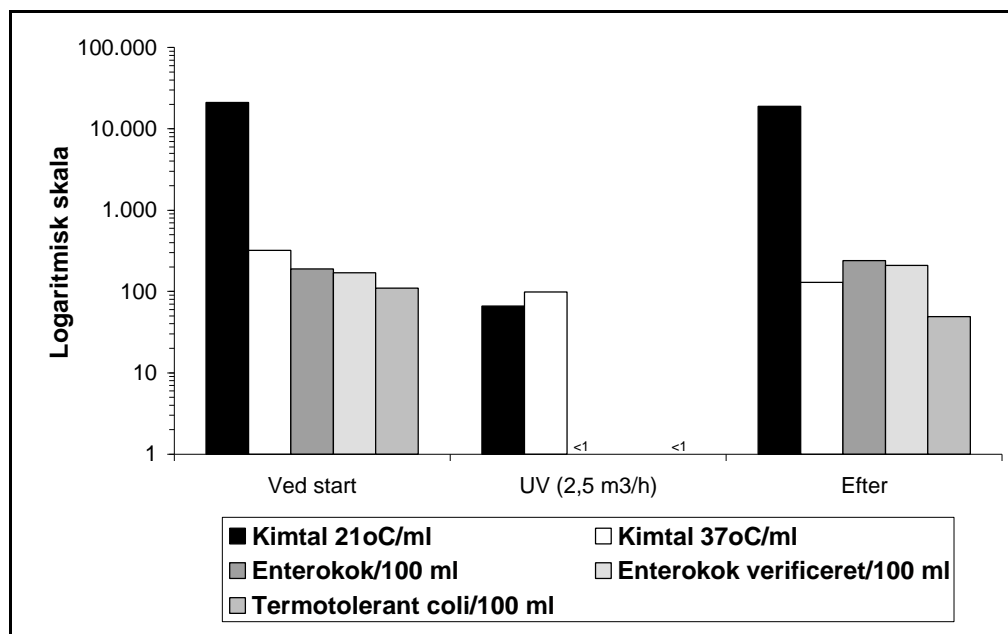
Figur 6.4: Kimal sreduktion ved UV-lys behandling ved varierende flowhastighed. Vestbadet 01/11/00



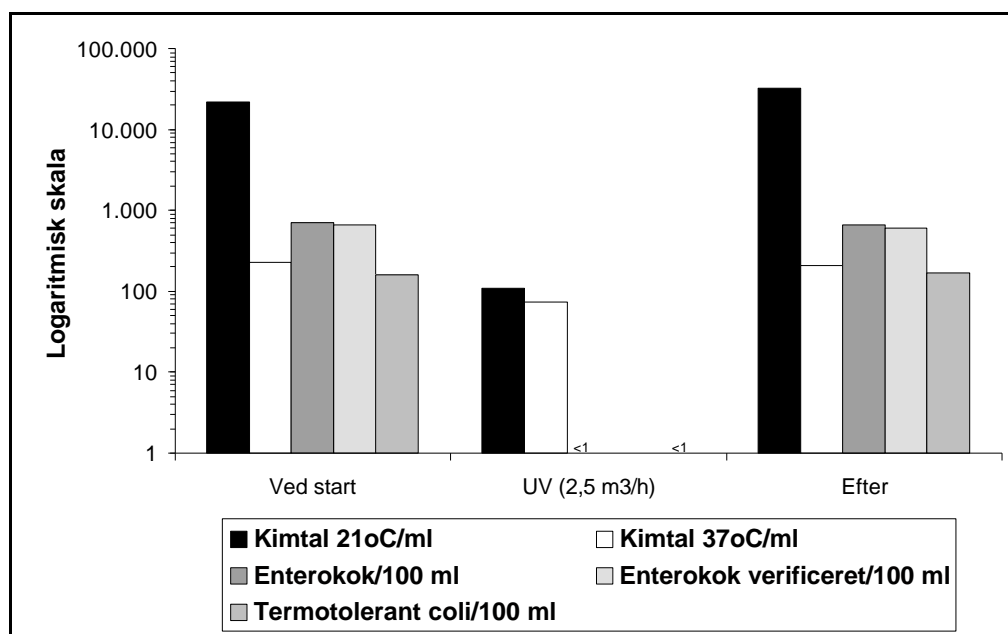
Figur 6.5: Kimalt sreduktion ved UV-lys behandling ved varierende flowhastighed. Vestbadet 22/11/00



Figur 6.6: Kimalt sreduktion ved UV-lys behandling med et vandflow på 2,5 m3/h. Vestbadet 02/05/01



Figur 6.7: Kimtal sreduktion ved UV-lys behandling med et vandflow på 2,5 m3/h. Vest-badet 07/05/01



Figur 6.8: Kimtal sreduktion ved UV-lys behandling med et vandflow på 2,5 m3/h. Vest-badet 18/06/01

I tabel 6.5 er ovenstående resultater samlet.

Tabel 6.5: Resultater ved alene UV-lys behandling

Parameter	Dato for prøveudtagning						
	18.06.01	07.05.01	02.05.01	22.11.00		01.11.00	
	2,5 m ³ /h ¹⁾	2,5 m ³ /h	2,5 m ³ /h	2,5 m ³ /h	1,5 m ³ /h	2,5 m ³ /h	1,5 m ³ /h
Kimtal 37°C pr. ml.	74	98	5	24	24	60	9
Kimtal 21°C pr. ml.	110	66	23	53	36	100	14
Termotolerante koliforme bakterier pr. 100 ml.	< 1	< 1	< 1	-	-	-	-
Enterokokker pr. 100 ml.	< 1	< 1	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10
Pseudomonas bakterier pr. 100 ml.	< 1	< 1	< 10	-	-	-	-

- = ikke analyseret

¹⁾ = flowhastighed under prøveudtagningen.

Tabel 6.6: Udvalgte kvalitetskrav fra gældende bekendtgørelser

Parametre	Bassin vand /9/		Drikkevand /7/
	Vejledende Pr. 100 ml (Pr. ml)	Maksimum Pr. 100 ml (Pr. ml)	Ved indgang til ejendom Pr. ml
Kimtal 37°C	0-500 (0-5)	1000 (10)	20
Kimtal 21°C	i.k.	i.k.	200
Termotolerante koliforme bakterier	< 1	< 10	i.k.
Koliforme bakterier ¹⁾	i.k.	i.k.	i.m.
Pseudomonas bakterier ¹⁾	< 1	< 10	i.k.
Enterokokker	i.k.	i.k.	i.m.

i.k. = ingen kravværdier

i.m. = ikke målelig ved den anviste metode

¹⁾ = udføres kun hvis kimtal overstiger den vejledende værdi på 500/100 ml

Projektet har vist, at der ved UV-lys behandling kan opnås en reduktion af indholdet af kimtal 21°C, der ligger under kvalitetskravene til drikkevand, og for kimtal 37°C til et niveau meget tæt på kvalitetskravene til drikkevand.

Efter et styregruppemøde d. 12. december 2001 blev det besluttet at undersøge, om det, inden for anlæggets overordnede rammer, var muligt at reducere kimtal 37° C værdierne til under kvalitetskravene.

I perioden februar til oktober 2002 blev der gennemført yderligere 8 prøvesæt. Der blev eksperimenteret med flowhastigheden, kulfiterets betydning og UV-belysningen.

Før prøverne blev udtaget, blev anlægget undersøgt og rensat. HOH Vand & Miljø undersøgte:

1. UV intensitet ved 254nm af regnvandet før kulfilter.
2. UV intensitet ved 254nm af regnvandet efter kulfilter.
3. Demontering af quartzrør i UV-anlægget for at se om de var belagt med biofilm.

Resultatet af undersøgelsen viste, at der i anlægget var optimale forhold for desinficering med UV. UV-intensiteten var således 93% ved 10nm før kulfilter og 100% ved 10nm efter kulfilter. Efter mere end 1 års drift fandtes der således kun en meget ringe slimdannelse i enderne på rørene. Slimdannelsen blev vurderet til at være uden betydning for effekten af UV-lys behandlingen.

Ud fra resultaterne af de tidligere bakteriologiske analyser anbefalede HOH, at regnvandet blev belyst med min. 200 mj/cm² (milijoule). HOH beregnede efterfølgende, at regnvandet med en Trojan UV 8000 belyses med følgende:

- Ved et flow på 1,5 m³/h belyses vandet med 127,16 mj/m²
- Ved et flow på 3,5 m³/h belyses vandet med 54,50 mj/m²

For at opnå den ønskede belysning kunne vandflowet reduceres til 0,9 m³/h, eller der kunne installeres en ny og kraftigere UV-enhed. Begge dele blev afprøvet. Der blev således i juni 2002 sat endnu et UV-anlæg op i forlængelse af det første, hvilket ifølge leverandøren skulle give samme effekt.

Følgende forsøgsopstillinger blev afprøvet:

- Behandling med kul + UV-lys ved et vandflow på <1 m³/h (7. og 14. februar)
- Behandling med kul og kul + UV-lys ved et vandflow på <1 m³/h (6. og 12. marts)
- Behandling efter 2 ens UV-lys anlæg ved et vandflow på 2,5 m³/h (19. og 25. juni)
- Behandling efter et hhv. 2 ens UV-lys anlæg ved et vandflow på <1 og 2,5 m³/h. Prøver blev udtaget umiddelbart efter UV behandling (på selve UV-anlægget) samt ved hane V11 (ca. 1,5 m fra UV-anlægget) (27. august og 15. oktober).

Tabel 6.7: Analyseresultater for kimtal 21 og 37°C i perioden februar til oktober 2002.

Dato	Enhed: Kimtal pr. ml.	Ved Start	Kul	Kul + 1	1. UV		1+ 2 UV		1 + 2 UV		Efter
		V0	V9	V11	På UV-rør		På UV-rør		V11		
		2,5 m ³ /h	1 m ³ /h	1 m ³ /h	1 m ³ /h	2,5 m ³ /h	1 m ³ /h	2,5 m ³ /h	1 m ³ /h	2,5 m ³ /h	2,5 m ³ /h
07-02-2002	21 °C	2.200		32							3.700
	37 °C	940		1.000							1.400
14-02-2002	21 °C	5.300		29							4.200
	37 °C	1.200		160							1.100
06-03-2002	21 °C	920	900	13							1.200
	37 °C	250	570	69							230
12-03-2002	21 °C	3.000	3.100	12							2.900
	37 °C	980	1.200	25							1.200
19-06-2002	21 °C	11.000								3	9.700
	37 °C	1.200								32	1.100
25-06-2002	21 °C	2.900								150	2.300
	37 °C	680								330	400
27-08-2002	21 °C	320			1		1		10	39	350
	37 °C	500			8		4		21	78	470
15-10-2002	21 °C	4.900			2		4		46	14	6.000
	37 °C	6.200			3		2		46	18	4.000

- Note 1: Resultatet d. 7. februar for kimtal 37° C efter passage gennem kulfilteret og UV-lys behandling(V11) blev diskuteret med Miljølaboratoriet Storkøbenhavn, der verificerede analyseresultatet.
- Note 2: Fra marts 2002 blev der indført en procedure med returskylning af kulfilte 1 gang/uge.
- Note 3: For at kunne sammenligne resultater blev det besluttet at anvende samme metode til påvisning af kimtal 21° C, som ved de tidligere analyser, selvom der ved analysetidspunktet forelå en ny godkendt metode til bestemmelse af kimtal 22° C.

Ved prøverne udtaget 6. og 12. marts blev effekten af behandling i kulfiltret og UV-lys ved et flow på 0,9 m³/h undersøgt. Kulfilteret vil i princippet tilbageholde større partikler, som kunne "skygge" i UV-anlægget. Det må konstateres, at denne kombinerede behandling ikke medførte en øget kimtalsreduktion, i forhold til det der blev opnået med UV-lys behandling alene.

Resultaterne af de første 4 prøvesæt viste, at et reduceret vandflow til < 1m³/h ikke reducerede kimtal 21 og 37° C væsentligt under, hvad der tidligere er opnået.

Herefter blev der etableret endnu en UV-enhed i forlængelse af den første. Prøverne udtaget 19. og 25. juni gav et meget varieret resultat (tabel 6.7). Resultaterne blev diskuteret indgående med analyselaboratoriet, idet UV-lys behandlingen tilsyneladende ikke har havde nogen reducerende effekt på kimtallene i flere af prøverne. Laboratoriet har verificeret resultaterne på baggrund af en gennemgang af fortyndingsrækker og optællinger.

Ved prøverne udtaget d. 27 august og 15. oktober blev der udtaget vandprøver umiddelbart efter UV-lys behandlingen, dvs. fra selve UV-enheden. Der blev udtaget en prøve efter 1. UV-enhed, og så efter 2. UV-enhed, hvor regnvandet således er blevet belyst to gange. Resultaterne viste sammenlignelige kimtalsniveauer som var under drikkevandskravene i alle prøver.

Der blev endvidere udtaget prøver fra hane V11, der er placeret ca. 1,5 m efter den sidste UV-enhed. Det behandlede regnvand gennemløber således ca. 1,5 m PE-plast rør, før vandprøven udtages. Det fremgår af tabel 6.7, at der blev fundet højere kimtal efter transport gennem plastrøret, sandsynligvis grundet afgivelse af kim fra plastrørets overflade, eksempelvis indeholdt i biofilm. Før den sidste prøveudtagning d. 15. oktober blev anlægget desinficeret med natriumhypoklorit (300ppm opløsning). Kloropløsningen havde en opholdstid på min. 12 timer i anlægget, hvorefter anlægget blev gennemskyllet med regnvand.

Analyseresultaterne for hhv. kimtal 21 og 37°C udtaget d. 27. aug. og d. 15. okt. fra hane V11, viser ikke en klar tendens. Det kan således ikke konkluderes, at et vandflow på < 1m³/h reducerer kimtal bedre end ved højere flowhastighed. Samtlige værdier for kimtal 21°C ligger under kravene for drikkevand. Kimtal 37°C blev reduceret til et niveau meget tæt på eller lige under kravene til drikkevand.

Det skal bemærkes, at kimtal 21 og 37°C i regnvandet fra tanken (ved start, V0) er relativt lave. Dette kunne indikere, at der har indfundet sig en vis balance af mikroorganismene i tanken. Denne problemstilling er ikke undersøgt nærmere. Det kan også bemærkes, at kimtal 37°C i hovedparten af prøverne var højere end kimtal 21°C. Dette vil normalt ikke være tilfældet. Årsagerne hertil er ukendte.

6.2.4 Bakteriekim i Vestbadets indendørsbassin

Til sammenligning med resultaterne i regnvandsprøverne blev der udtaget vandprøver fra Vestbadets store indendørs bassin den 02/05/01, 07/05/01, og 18/06/01. Der blev målt for kimal 21 og kimal 37°C. Resultaterne er vist i tabel 6.8. Det skal dog bemærkes, at kimtallene i indendørsbassinet vil forventes markant lavere grundet klorering af bassinvandet, og at kimtallene i tabel 6.8 derfor ikke direkte kan sammenlignes med kimtallene i det behandlede regnvand.

Tabel 6.8: Kimtalsmålinger fra det indendørs 50 m bassin.

Parameter	2. maj 2001	7. maj 2001	18. juni 2001
Kimal 21°C pr. ml	1	35	3
Kimal 37°C pr. ml	1	24	3

7 KONKLUSION OG ANBEFALING

Der blev ikke isoleret *Salmonella*, *Campylobacter* og *Legionella pneumophila* i prøver af regnvand udtaget fra tag eller regnvand og slamprøver fra opsamlingsstank. Der synes således at være ringe sandsynlighed for, at disse smitstoffer kan forekomme i regnvand fra Vestbadets tag.

Der har været gennemført et meget omfattende måleprogram, hvor en række kombinationsmuligheder for behandling og hygiejnisering af opsamlet regnvand er blevet analyseret.

Antal kim ved 21 og 37°C og antal enterokokker blev valgt som indikatorparametre til undersøgelser af effekt af de forskellige behandlinger af regnvand. Det blev påvist, at UV-lys behandling alene havde den største reducerende effekt på antal mikroorganismer. Resultaterne fra en række forsøg viste med kun lille variation sammenlignelige reduktioner i antal kim ved 21 og 37°C og antal enterokokker. Ved alle forsøg kunne der ikke påvises enterokokker efter UV-lys behandling. Ubehandlet regnvand indeholdt typisk omkring 1.000 enterokokker per 100 ml, mens der i en enkelt vandprøve blev talt ca. 10.000 enterokokker per 100 ml. Antal enterokokker blev således reduceret med ca. 99%.

Ved forsøgene i 2000 alene med UV-lys behandling fandtes der en reduktion i kimtal ved 21 og 37°C på omkring 99%. Dog var reduktionen i kimtal 37°C ca. 93% ved forsøget i november 2000. Ved de tre forsøg i 2001 fandtes der en ca. 97% reduktion i antal kim ved 21 og 37°C ved det første forsøg i maj 2001, og omkring 99% reduktion i kimtal ved 21°C i de to øvrige forsøg. Reduktion i kimtal ved 37°C ved de to sidste forsøg i 2001 viste en noget lavere reduktion på ca. 60%.

Der var generelt problemer med indkøring af ozonbehandlingsanlægget. Behandling af regnvand med ozon og den efterfølgende filtrering gennem kulfilter medførte kun en begrænset kimtalsreduktion. Det er usikkert om ozonbehandlingen havde en ringe reducerende effekt på de målte kimtalsparametre, eller om den ringe effekt var udtryk for en efterfølgende tilførsel af bakteriekim ved regnvandets passage gennem kulfilteret. Da kulfiltrering efter ozonbehandling er nødvendig for at fjerne indhold af restozon (O_3) fra ozonbehandlingen, blev det konkluderet, at ozonbehandling ikke var egnet til behandling af det opsamlede regnvand.

Som det fremgår af analyseresultaterne, har UV-lys behandlingen ved 5 gentagene og sammenlignelige analyser reduceret indholdet af kim til et niveau meget tæt på kvalitetskravene til drikkevand. For termotolerante koliforme bakterier, enterokokker og pseudomonas bakterier er de fundne koncentrationer i det UV-lys behandlede regnvand alle under eller lig med kvalitetskravene til bassin vand.

Det fremgår af analyseresultaterne ved to gentagne prøver i august og oktober 2002, at kim ved 21 og 37°C er reduceret til under kravene til drikkevand i vandprøver udtaget umiddelbart efter UV-lys behandlingen. Værdierne ligger på samme lave niveau efter 1. og 2. UV-lys behandling.

På baggrund af de gennemførte undersøgelser kan det ikke konkluderes, at et vandflow på $< 1\text{ m}^3/\text{h}$ reducerer kimtal bedre end ved højere flowhastighed. Det kan dog konstateres, at værdierne for kimtal 21°C , med en enkel undtagelse, alle ligger under drikkevandskravene. Værdierne for kimtal 37°C er efter UV-lys behandling reduceret til et niveau meget tæt på eller lige under kravene til drikkevand (jf. tabel 6.7).

Projektet har vist, at der findes pesticider i det opsamlede regnvand i varierende koncentrationer, som dog kun i få tilfælde var over grænseværdierne for drikkevand. Behandling i kulfilter har vist en effektiv fjernelse af alle de fundne pesticider. Det vurderes derfor, at indholdet af generelt lave koncentrationer af pesticider ikke vil udgøre en væsentlig sundhedsrisiko, hvis kulfilteret indgår i behandlingsstrategien. Et kulfilter vil reducere indholdet af evt. pesticider til under detektionsgrænsen. Det forventes også at være tilfældet for indhold PAH i regnvandet, selvom der ikke er fundet værdier over detektionsgrænsen i det opsamlede regnvand ved Vestbadet.

Det er også vist, at anvendelse af kulfilter i behandlingen af regnvandet ikke medførte en reduktion af kimtalsparametrene. Der er i 2 regnvandsprøver vist en lidt større reduktionseffekt af kimtal ved samtidig behandling med UV-lys og kulfilter, men effekten er ikke signifikant bedre en behandling med UV-lys alene.

Behandlet regnvand har en anden sammensætning og kvalitet end vand fra den offentlige vandforsyning. Projektet har imidlertid vist, at det er muligt, at behandle regnvandet, så det får en kvalitet, der ligger meget tæt på at opfylde kravene til drikkevand og bassinvand.

På baggrund af resultaterne anbefaler projektetgruppen og Vestbadet, at der gennemføres et testforsøg med anvendelse af kulfilter og UV-lys behandlet regnvand som spædevand til svømmebassinet i Vestbadet. Spædevandet erstatter det vandtab, der er en følge af fordampning fra bassinoverfladen samt fra opsløb via badegæster. Spædevandet udgør $2\text{-}3.000\text{ m}^3/\text{år}$. Tilført regnvand vil i et fuldskalaprojekt udgøre $30\text{-}50\%$ af vandfornyelsen i bassinet på årsbasis.

Formålet med testforsøget skal være, gennem tilføring af behandlet regnvand som spædevand i en defineret periode, at kunne dokumentere, at det er miljø- og sundhedsmæssigt forsvarligt at anvende behandlet regnvand til spædevand.

Det anbefales, at Vestbadet udarbejder en projektbeskrivelse og –ansøgning, der fremsendes til Miljøstyrelsen og/eller andre relevante finacieringskilder.

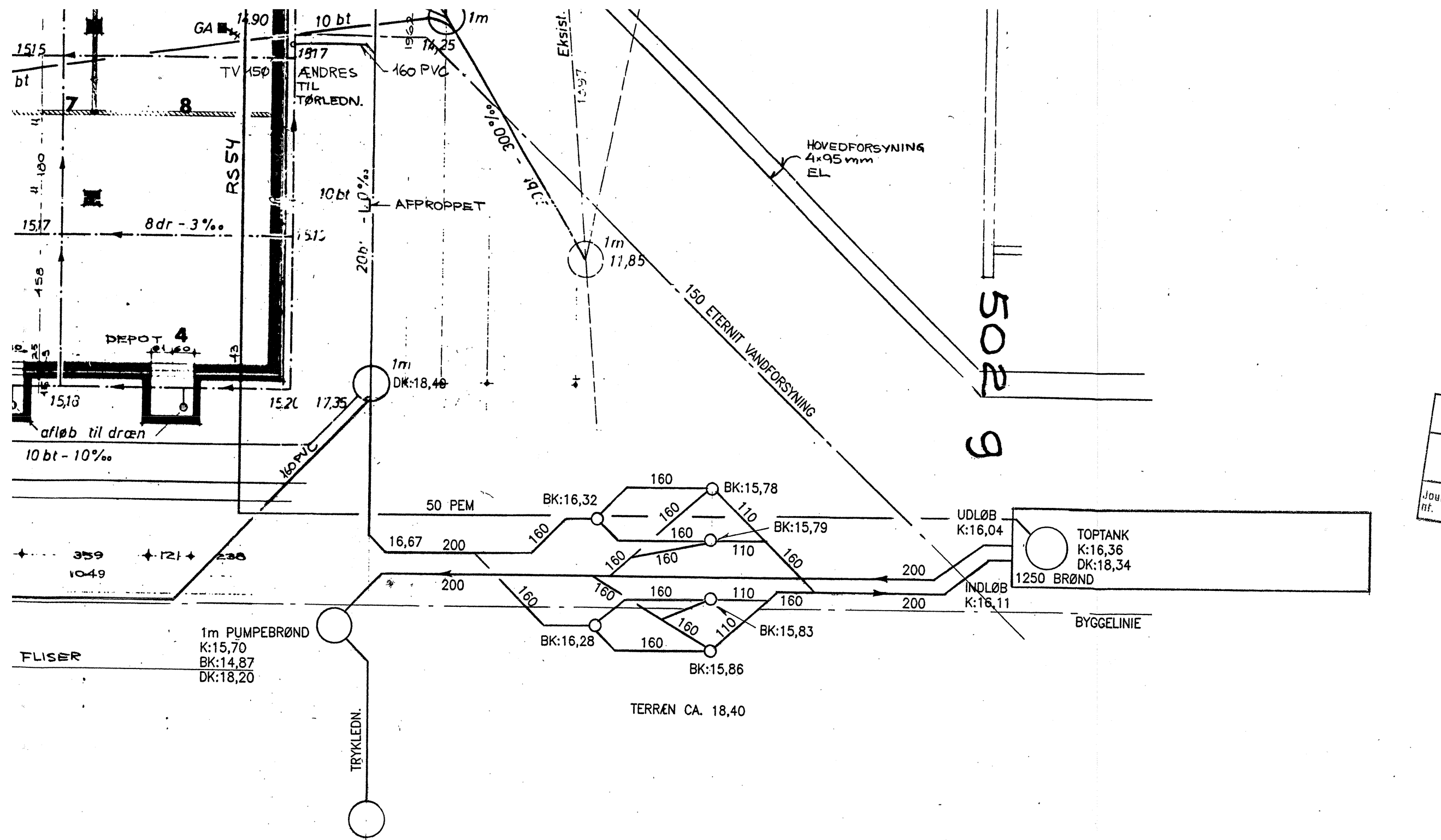
En projektbeskrivelse og –ansøgning bør som minimum beskrive følgende:

- Fastlæggelse af måleprogram og behandlingsmetode.
- Tilkobling af behandlet regnvand til Vestbadets buffertank
- Beskrivelse af "worst case" scenario og beskrivelse af driftsinstruks ved sådanne hændelser.
- Drifts- og vedligeholdelses- og uddannelsesprogram
- Afrapportering.

Gennemførelsen af testforsøget skal godkendes af Miljøstyrelsen, embedslægen og kommunalbestyrelsen, også selvom projektet finansieres af andre end disse parter.

8 LITTERATUR

- /1/ Vurdering af hygiejniske risici ved håndtering af urent vand i huse, Økologisk byfornyelse og spildevandsrensning, Nr. 3, 2000, Adeler og Haar-moës.
- /2/ Fordele og ulemper ved anvendelse af regnvand i husholdninger. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, Nr. 18 1996. Petersen, C.R., V. Plum & D. Bechmann.
- /3/ Boligernes vandforbrug – Mikrobiologiske undersøgelser af regn- og gråvandsanlæg, Udarbejdet for Miljøstyrelsen, Bolig- og Byministeriet. Albrechtsen, H.J. 1998.
- /4/ Hygiejnisering af rensed spildevand. Simultan anvendelse af ozonbehandling og UV-belysning. Thorndahl, U., Nielsen, L., Grüttner, H., og Winther-Nielsen, M. Spildevandsforskning fra Miljøstyrelsen nr. 51, 1993.
- /5/ RC-Anvisning 003 ”Brug af regnvand til wc-skyl og vaskemaskiner i boliger”, 1. udkast 1999, DTI.
- /6/ Norm for afløbsinstallationer, DS 432
- /7/ Bekendtgørelse nr. 871 af 21. september 2001 om vandkvalitet og tilsyn med vandforsyningsanlæg.
- /8/ Bichel-Udvalget ”Udvalget til vurdering af de samlede konsekvenser af en hel eller delvis afvikling af pesticidanvendelsen”. Rapport fra underudvalget om Miljø og sundhed, 12. marts 1999.
- /9/ Bekendtgørelse nr. 195 af 5. april 1998 om vandkvalitet i svømmebassiner
- /10/ Guidelines for safe recreational water environments. Vol.1, Coastal and safe waters. WHO 2000



DENNE TEGN. GÆLDER KUN FOR INSTALLATIONER

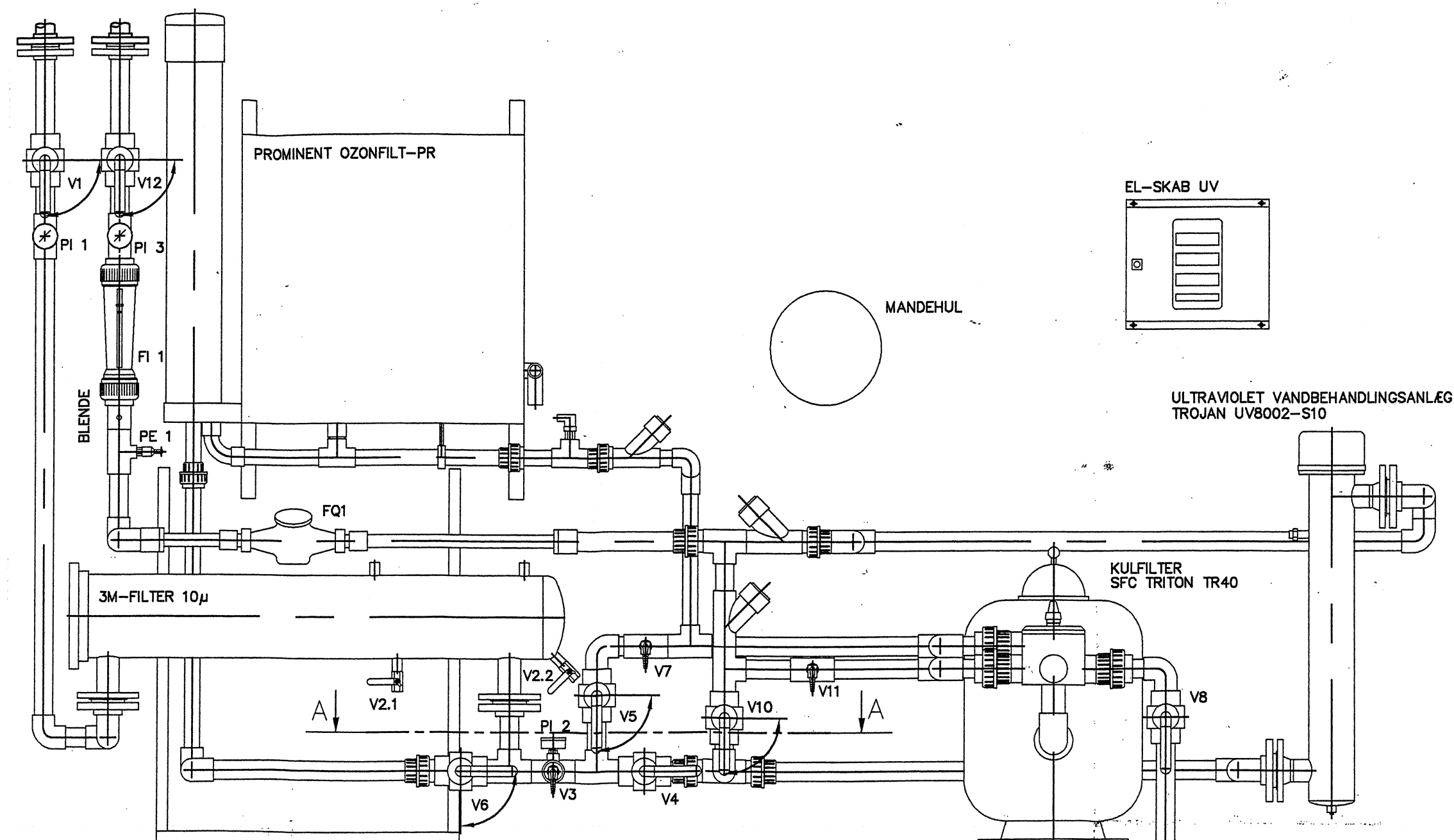
D	09.11.99	RETTET SOM UDF
C	11.05.99	REGNVANDSTANK
B	8.12.98	TØRLEDN PÅFØR
A	3.11.98	KLOAKLEDN. TILF

UDG.: DATO: REV.:

VESTBAD, tagrenoverin

EMNE:

Rev a: 15.8.89. b: 27.8.89. c: 18.9.89. d: 24.9.89. e: 10.10.89. f: 11.10.89. g: 12.10.89. h: 13.10.89. i: 14.10.89. j: 15.10.89. k: 16.10.89. l: 17.10.89. m: 18.10.89. n: 19.10.89. o: 20.10.89. p: 21.10.89. q: 22.10.89. r: 23.10.89. s: 24.10.89. t: 25.10.89. u: 26.10.89. v: 27.10.89. w: 28.10.89. x: 29.10.89. y: 30.10.89. z: 31.10.89.



Fire vandprøver er blevet analyseret for PAH-forbindelser (Poly Aromatiske Hydrocarboner). Analyserne er foretaget af LEKO – Levnedmiddelkontrollen I/S, metode LEKO-G501-02. Der blev analyseret for følgende forbindelser:

PAH-forbindelse	Detektions-grænse	Prøve dato ¹⁾			
		14.07.99	16.11.99	23.11.99	30.11.99
Naphthalen	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Acenaphthylen	<0,1 µg/l	<0,1	0,1	<0,1	<0,1
Fluoren	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Phenanthren	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Anthracen	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Fluoranthren	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Pyren	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Benzo(a)anthracen	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Chrysen	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Benzo(b)fluoranthren	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Benzo(a)pyren	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Indeno(1,2,3,cd)pyren	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Dibenzo(a,h,)anthracen	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1
Benzo(g,h,i)perlylen	<0,1 µg/l	<0,1	<0,1	<0,1	<0,1

¹⁾ Alle værdier er opgivet i µg/l.

I prøven udtaget d. 16.11.99 er der for Acenaphthylen fundet 0,1 µg/l, hvilket svarer til detektionsgrænsen. Alle andre resultater er under detektionsgrænsen.

Første analysepakke

Der blev udtaget vandprøver til analysering for pesticider på tre forskellige dage. Den 14.07.99 blev der udtaget en prøve fra opsamlingstanken. Den 16 og 30.11.99 blev der udtaget prøver direkte fra taget og fra opsamlingstanken.

Tabel D.1: Analysepakke med 55 pesticider (Vandværkernes standard pakke)
I tabellen er kun angivet resultater der er større eller lig med detektionsgrænsen.

Pesticider ¹⁾	Detektionsgrænse	Dato og prøveindsamlingssted				
		14.07.99 9 6650 ²⁾	16.11.99 8351 + 8352 ²⁾		30.11.99 11618 + 11619 ²⁾	
		Tank V0 ³⁾	Tank V0 ³⁾	Tag	Tank V0 ³⁾	Tag
Mechlorprop	<10					
MCPA	<10					
Dichlorprop	<10					
2,4-D	<10			99		
DNOC	<10		482	89	561	136
Atrazin	<10	134				
Simazin	<10					
Dinoseb	<10					
Dichlorbenil	<10	17				
BAM (2,6 - Dichlorbenzamid)	<10	16				
Hexazinon	<10					
Bentazon	<10					
Bromoxynil	<10					
Carbofuran	<10	23				
Chloridazon	<20					
4-Chlor-2-methylphenol	<10			14		
4-CCP	<10					
Cyanazin	<10					
Desethylatrazin	<10	78	33			
Desisopropylatrazin	<10					
Desethylterbuthylazin	<10	52	71	15		
2,4-Dichlophenol	<10					
Dimethoat	<14					
Diuron	<10					
Esfenvalerat	<10					
Ethofumesat	<12					
Fenpropimorph	<10					
Fluazifop-p-buthyl	<10					
Hydroxyatrazin	<10					
Hydroxyterbuthylazin	<10					
Ioxynil	<10					
Isoproturon	<10	151				
Linuron	<10					
Metamitron	<10	1720	871			

Bilag D

Pesticider ¹⁾	Detektionsgrænse	Dato og prøveindsamlingssted				
		14.07.99	16.11.99		30.11.99	
		9 6650 ²⁾	8351 + 8352 ²⁾		11618 + 11619 ²⁾	
		Tank V0 ³⁾	Tank V0 ³⁾	Tag	Tank V0 ³⁾	Tag
Metazachlor	<10				35	
Methabenzthiazuron	<10					
Metribuzin	<10					
Pendimethalin	<13	15	23			
Pirimicarb	<10					
Propiconazol	<10					
Prochloraz	<10					
Propyzamid	<10					
Terbuthylazin	<10	15	24			
Triadimenol	<10					
Malathion	<10					
Lenacil	<10					
Parathion-ethyl	<10					
Metoxuron	<10					
Propachlor	<10					
Dichlorvos	<10					
Metsulfuron-methyl	<10					
Chlorsulfuron	<10					
Hydroxysimazin	<10					
Hydroxycarbofuran	<10					
Trifluralin	<10					

1) Alle værdier er opgivet i ng/l.

2) Referere til analyserapport nr. fra Miljølaboratoriet Storkøbenhavn

3) V0 = aftapningshane i teknikrum ved Vestbadet. Prøve aftappet fra V0 er urenset regnvand suget direkte fra opsamlingsstanken uden behandling.

Anden prøvepakke

På baggrund af resultaterne fra den første prøvepakke blev der udvalgt 9 pesticider til yderligere analysering. Det var de pesticider der var gjort fund af i første runde.

*Tabel D 2: Analysepakke med 9 udvalgte pesticider
I tabellen er kun angivet resultater der er større eller lig med detektionsgrænsen.*

Pesticider ¹⁾	Detek. grænse	Dato og prøveindsamlingssted											
		08.12.01 129, 130 og 17011 ²⁾			23.01.01 641, 642 og 643 ²⁾			23.04.01 3558, 3559 og 3560 ²⁾			18.05.01 4430, 4431 og 4432 ²⁾		
		Tank V0 ³⁾	Efter UV	Tag	Tank V0 ³⁾	Efter kulfilter	Tag	Tank V0 ³⁾	Efter kulfilter	Tag	Tank V0 ³⁾	Efter kulfilter	Tag
DNOC ⁵⁾	<10	301	293	247	312		1810	440		131	281		432
Atrazin (Må ikke anvendes i DK)	<10	14	14	23	108			80			100		35
Desethylatrazin (Nedbrydningsprodukt af Atrazin)	<10				86			61			61		16
Desisopropylatrazin (Nedbrydningsprodukt af Atrazin)	<10-20 ⁴⁾												
Isoproturon (Må ikke anvendes i DK)	<10							38			47		40
Metamitron	<10-20 ⁴⁾												
Pendimethalin	<13	151	152	90	39		57	14					15
Terbuthylazin	<10										10		138
Desethylterbuthylazin (Nedbrydningsprodukt af Terbuthylazin)	<10												50

1) Alle værdier er opgivet i ng/l.

2) Referere til analyserapport nr. fra Miljølaboratoriet Storkøbenhavn

3) V0 = aftapningshane i teknikrum ved Vestbadet. Prøve aftappet fra V0 er urensset regnvand suget direkte fra opsamlingsstanken uden behandling.

Bilag D

- 4) *Detektionsgrænsen for stoffet blev ændret fra <10 ng/l til <20 ng/l i forbindelse med, at laboratoriet blev DANAK akkrediteret pr. 01.01.01 til at udføre disse analyser. De øvrige stoffer blev også omfattet af DANAK akkrediteringen, men det fik ikke indflydelse på detektionsgrænsen .*
- 5) *DNOC har ikke været anvendt i Danmark de seneste 10 år (Bichel-Udvalget, /8/).*

Det har ikke været umiddelbart muligt at finde litteratur, der beskriver de fundne pesticiders evt. effekter ved hudkontakt og indånding i de koncentrationer der er fundet.

I Bichel-Udvalgets rapport fra Underudvalget om Miljø og sundhed, Marts 1999 /8/, er sundhedseffekter ved lavdosiseksponering ved indtagelse af pesticider gennem fødevarer og drikkevand behandlet. Efterfølgende er gengivet udvalgte hovedkonklusioner:

"Der findes kun yderst sparsomme epidemiologiske data vedrørende sundhedsmæssige effekter blandt den generelle befolkning som følge af lavdosis-eksponering for pesticider. Der vil være forskelle både i eksponering og følsomhed for pesticider i befolkningen afhængig af bl.a. alder, køn, spisevaner, miljømæssige faktorer og/eller livsstil. Dele af befolkningen må således kunne forventes at udvise sundhedsmæssige effekter ved eksponering for væsentligt lavere doser af pesticider end de, der giver effekter i den øvrige befolkning. Bl.a. børn udgør en særlig risikogruppe specielt som følge af kvalitative og kvantitative forskelle i indtagelsen af de forskellige fødevarer mellem børn og voksne. Andre risikogrupper kan være personer med dårligt immunforsvar eller personer med visse kroniske sygdomme."

"Den samlede gennemsnitlige belastning fra fødevarer er estimeret til ca. 200 mikrogram (ng) pesticid pr. dag. Sammenholdes den estimerede maksimalindtagelse fra drikkevand på 1 mikrogram pr. døgn med den estimerede indtagelse på ca. 190 mikrogram pr. dag fra frugt og grønt samt korn, må det konkluderes, at indtagelsen fra drikkevand generelt set er negligeabelt og forsvinder i den usikkerhed, der ligger på estimatet af indtagelsen fra vegetabiliske fødevarer".

"Der er ikke tilstrækkelig epidemiologisk evidens for hverken at be- eller afkræfte en sammenhæng mellem sundhedsmæssige effekter og lavdosis-eksponering for pesticider igennem længere tid. Der er flere årsager til, at der er betydelige vanskeligheder med at opnå en mere sikker viden om pesticiders indflydelse på menneskers sundhed. De epidemiologiske studier vedrørende humane effekter af eksponering for pesticider er præget af upræcise mål for både eksponering og effekt, relativ kort opfølgningstid og manglende kontrol af konfunderende faktorer. Begrænsede gruppestørrelser betyder desuden, at data ofte samles i større grupper, hvorved følsomheden yderligere reduceres. På grund af lav eksponeringskontrast og mange konfunderende faktorer er der ofte problemer med at påvise evt. effekter".

"Underudvalget konkluderer, at der ikke på basis af epidemiologiske undersøgelser kan føres bevis for, at pesticider i de mængder, den generelle befolkning udsættes for, fx gennem kosten, er sundhedsskadelige. Man kan tilsvarende heller aldrig med fuldstændig sikkerhed videnskabeligt bevise, at et pesticid ikke vil kunne medføre sundhedsrisiko, men man kan sandsynliggøre en sundhedsrisiko eller manglen på samme med større eller mindre (u)sikkerhed".

Klassificering af pesticider:

(Bekendtgørelse af listen over farlige stoffer, Bekendt. nr. 733 af 31. juli 2000)

DNOC: Tx; R26/27/28
Xi; R38-41
Mut3; R40
N; R50/53

Atrazin: Xn; R20/22
Xi; R36, R46
Carc3; R40

Mut3; R40

Isoproturon: Xn; R22
Carc3; R40
N; R50/53

Metamitron: Xn; R22
N; R50/53

Følgende stoffer er ikke på listen over farlige stoffer:

Desethylatrazin
Desisopropylatrazin
Pendimethalin
Terbuthylazin
Desethylterbuthylazin