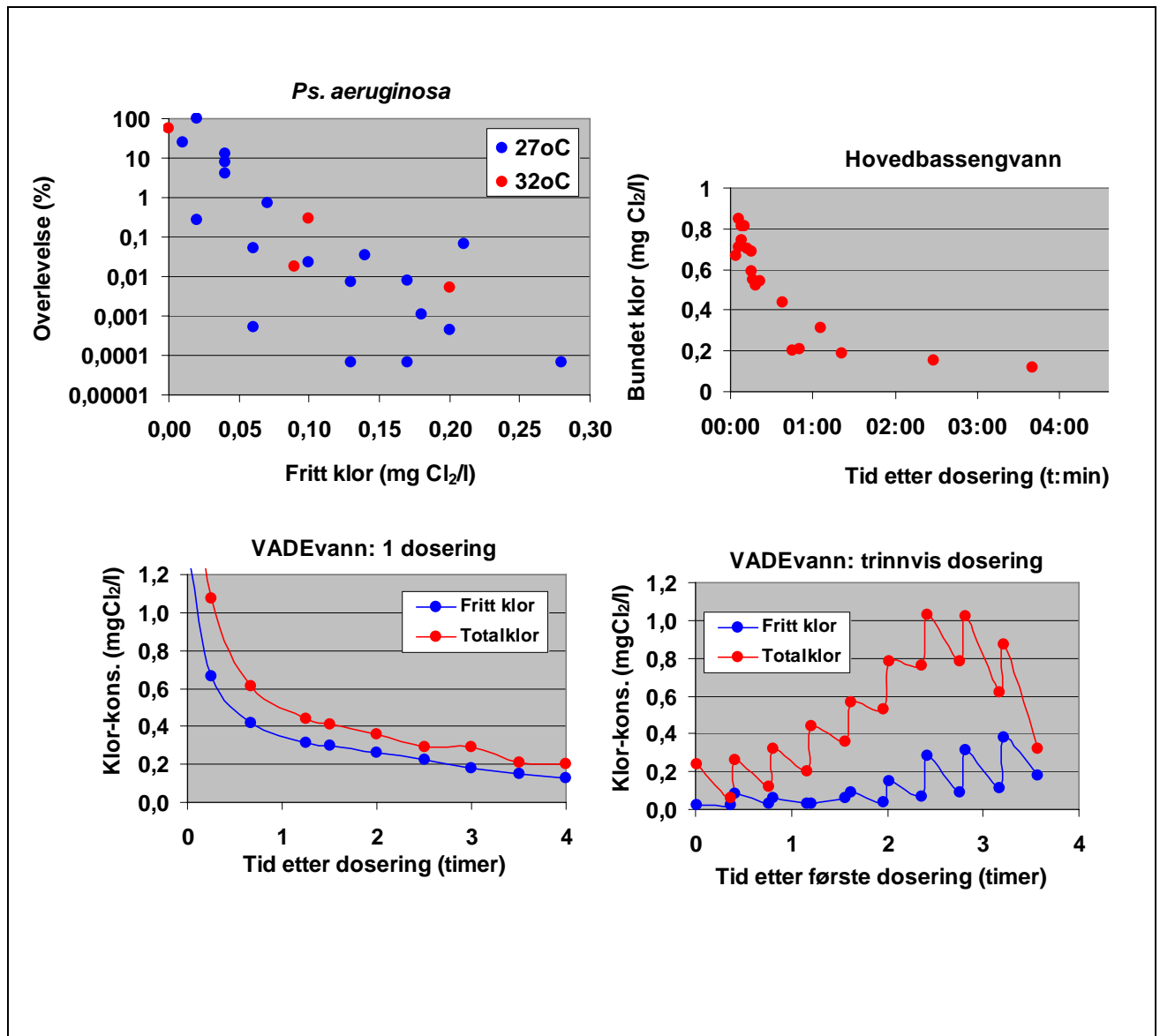


VADEvann som desinfeksjonsmiddel ved behandling av badevann

SLUTTRAPPORTERING av labtester



Hovedkontor

Gaustadløkka 21
0340 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Seriansavdelingen

Televeien 7
4079 Grimstad
Telefon (47) 37 29 50 55
Telefax (47) 37 04 45 13

Distriktavdelingen

Sandvikerveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 62 57 54 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Nordnesbøder 5
5006 Bergen
Telefon (47) 55 30 22 50
Telefax (47) 55 30 22 51

Mitt-Norge

Postboks 1288
7462 Trondheim
Telefon (47) 73 54 63 85 / 88
Telefax (47) 54 63 87

Tittel VADEvann som desinfeksjonsmiddel ved behandling av badevann – SLUTTRAPPORTERING av labtester	Lepenr. (for bestilling) 5270-2006	Dato 17.10.06
	Prosjektnr. Undernr. 26156	Sider Pris 21
Forfatter(e) Christian Vogelsang	Fagområde Vannbehandling	Distribusjon Fritt
	Geografisk område Norge	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) VADE as, Hexum as	Oppdragsreferanse Eli Wathne
--	--

Sammendrag

NIVA har gjennomført på oppdrag for VADE as en rekke tester med desinfeksjonsmiddelet VADEvann i løpet av våren og forsommeren 2006. Hensikten har vært å undersøke VADEvanns egnethet som desinfeksjonsmiddel i badeanlegg. VADEvann viste seg å være et effektivt desinfeksjonsmiddel mot bakterier som er betraktet som problemorganismer i badeanlegg. Med den mest robuste av testorganismene, indikatororganismen *Pseudomonas aeruginosa*, ble det oppnådd en 4-log₁₀-inaktivering med en VADEvanndose på 0,2 mg fritt Cl₂/l ved en kontakttid på 1 min. Dette var ca halvparten av nødvendig dose med HOCl (tilsatt som hypokloritt og målt som fritt klor) for å oppnå samme inaktiveringsgrad av *Ps. aeruginosa*. Det er mulig det vil kunne være vanskelig å overholde et eventuelt krav til bundet klor tilsvarende det som gjelder ved bruk av hypokloritt dersom vannets innhold av nitrogen og organisk stoff er høyt.

Fire norske emneord 1. Desinfeksjonsmiddel 2. Labtesting 3. Badeanlegg 4. Baktericinaktivering	Fire engelske emneord 1. Disinfectant 2. Lab tests 3. Swimming pools 4. Bacterial inactivation
--	--


Prosjektleder


Forskningsleder


Fag- og markedsdirektør

**VADEvann som desinfeksjonsmiddel ved behandling
av badevann**

SLUTTRAPPORTERING av labtester

Forord

NIVA har gjennomførte på oppdrag for VADE as en rekke tester i løpet av våren og forsommeren 2006 med VADEvann for å undersøke dets egnethet som desinfeksjonsmiddel i badevann. Prosjektet ble etablert etter et innledende møte ved NIVA/Oslo 25.11.05. Forsøkene ble gjennomført ved NIVAs laboratorier i Oslo av forsker Christian Vogelsang med bistand av gjesteforsker Philipp Schulte (diverse labtester) og forskningsassistent Åse bakketun (mikrobiologiske analyser). I etterkant av labforsøkene ble det gjennomført en fullskalatest, der NIVA ga innspill til gjennomføringen i form av en testprotokoll (notat av 29.6.06). Et utdrag av denne rapporten ble presentert som et vedlegg til denne testprotokollen. Vi ønsker å benytte anledningen til å takke spesielt Thor Lysbraathe (VADE as) for mange nyttige og hyggelige samtaler og Eli Wathne (Hexum as) for all hjelp underveis, samt VADE as for oppdraget.

Oslo, 17. oktober 2006

Christian Vogelsang

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Materialer	7
1.1 VADEvann	7
1.2 Hypokloritt	7
1.3 Testvann	7
1.4 Testorganismer	7
2. Metoder	8
2.1 Eksponeringsforsøk med testorganismer og VADEvann	8
2.2 Dyrking og kvantifisering av testorganismer	9
2.3 Måling av restoksidanter	9
3. Resultater	10
3.1 Inaktivering av testorganismer med hypokloritt (referanse)	10
3.2 Inaktivering av testorganismer med VADEvann	10
3.2.1 Hovedbassengvann	10
3.2.2 Barnebassengvann	12
3.2.3 Boblebadvann	13
3.2.4 Måling av inaktiveringseffekt som fritt klor, totalchlor eller klordioksid?	14
3.3 Rest-VADEvann under aktuelle badevannbetingelser	16
3.3.1 Rest-VADEvann i hovedbassengvann	16
3.3.2 Rest-VADEvann i barnebassengvann	18
3.3.3 Rest-VADEvann i boblebadvann	19
3.4 Lagring av VADEvann	20
3.5 Uheldige biprodukter ved bruk av VADEvann	21

Sammen drag

VADEvann viste seg å være et effektivt desinfeksjonsmiddel mot bakterier som er betraktet som problemorganismer i badeanlegg. Tre ulike testvann ble benyttet, 1) tilsvarende ”typiske” hovedbassengvann, 2) barnebassengvann og 3) boblebadvann ved ulike pH i området 7,0-7,8. Med den mest robuste av testorganismene, indikatororganismen *Pseudomonas aeruginosa*, ble det oppnådd en 4- \log_{10} -inaktivering med en VADEvanndose på 0,2 mg fritt Cl_2 /l ved en kontakttid på 1 min. Dette var ca halvparten av nødvendig dose med HOCl (tilsatt som hypokloritt og målt som fritt klor) for å oppnå samme inaktiveringsgrad av *Ps. aeruginosa*. Samme inaktiveringseffektivitet med VADEvann ble funnet både for hovedbassengvann og barnebassengvann for alle pH i området 7,0-7,8. For boblebadvann testet under kraftig lufting så det ut til å være nødvendig å benytte noe høyere dose av VADEvann for å oppnå en 4- \log_{10} -inaktivering av *Ps. aeruginosa*.

Ved dosering av VADEvann til hovedbassengvann vil konsentrasjonen av bundet klor kunne ligge noe over kravet på <0,5 mg/l (gitt i Forskriften for badeanlegg for bruk av hypokloritt) i perioden rett etter tilsatt av VADEvann, men denne ser ut til å synke godt under kravet etter ca 30 min holdetid. Men derimot kan kravet om at konsentrasjonen av bundet klor til en hver tid skal være under 50 % av konsentrasjonen av fritt klor være vanskeligere å overholde. Ved dosering til barnebassengvann ser disse kravene (som altså ”kun” gjelder ved bruk av hypokloritt) ut til å være enda vanskeligere å overholde. Innholdet av trihalometaner (THM) målt etter 4 timers holdetid etter dosering (som en engangsdose eller samme dose i 10 trinn fordelt likt over hele 4-timersperioden) viste relativt lave konsentrasjoner av alle THM med unntak av triklormetan (som det er knyttet analyseusikkerhet til, se kommentar i rapport), men konsentrasjonene av noen trihalometaner var høyere for vann tilsatt VADEvann enn Hypokloritt, og noe høyere ved engangsdosering enn ved trinnvis dosering.

Summary

Title: VADEvann as a disinfectant in swimming pool water – Final report from labtests

Year: 2006

Author: Christian Vogelsang

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-4997-4

VADEvann was shown to be an efficient disinfectant against bacteria considered to be problematic in swimming pools. Three test waters were used, corresponding to "typical" main pool water, children's pool water and whirlpool water with different pHs in the range 7,0-7,8. With the most resistant of the test organisms, the indicator microbe *Pseudomonas aeruginosa*, a 4-log₁₀ inactivation was obtained with a VADEvann dosage of 0,2 mg free Cl₂/l for a contact time of 1 min. This was approximately half the necessary dose with hypo chlorite (measured as free chlorine) to obtain the same degree of inactivation of *Ps. aeruginosa*. The same inactivation efficiency with VADEvann was found for children's pool water as for main pool water for all pHs in the range 7,0-7,8. For whirlpool tested under heavy aeration it appeared to be necessary to apply a somewhat higher dose of VADEvann to obtain a 4-log₁₀ inactivation of *Ps. aeruginosa*.

When dosing VADEvann to main pool water the concentration of bound chlorine may exceed the required maximum limit of <0.5 mg/l (claimed by the Norwegian regulation of swimming pools using hypochlorite) in the period right after addition of VADEvann, but this appears to be reduced well under the maximum limit after an approximate 30 min holding time. However, the required maximum ratio between bound and free chlorine of 0.5 seems to be more difficult to keep. And both of these requirements (which at the moment are limited to the use of hypo chlorite) appear to be more difficult to keep when applying VADEvann to children's pool water. The content of trihalomethanes (THM) measured after a 4 hours holding time after dosage (as a one-dose or the same dose distributed over 10 equal steps over the whole 4 hour period) showed relatively low concentrations of all THM (except for trichloromethane, though with a high degree of uncertainty associated with the analysis), but the concentrations were generally somewhat higher for water added VADEvann than hypo chlorite and somewhat higher when added as a one-time-dose than added stepwise.

1. Materialer

1.1 VADEvann

VADE as v/Thor Lysbraate produserte VADEvann med sitt eget utstyr i Kongsvinger samme morgen som det skulle brukes i forsøk på NIVA. Han kom inn til NIVA/Oslo med VADEvann tappet på glødet mørk glassflaske. Glassflasken ble lagret i kjøleskap mellom hvert uttak av VADEvann. VADEvann ble produsert fra 0,6 % NaCl og hadde følgende identifikasjonskode: A5050 125 24 25.

1.2 Hypokloritt

Hypokloritt ble tilsatt som en 1:5-fortynnet (i deionisert vann) 1 N natrium hypoklorittløsning i 0,1 N NaOH (BDH Laboratory Supplies; Lot No 43370). Hypokloritt ble benyttet som referanse for å vurdere effekten av VADEvann.

1.3 Testvann

Det ble benyttet tre ulike badevannkvaliteter basert på analyse av ulike bassengvanntyper med hensyn på farge, TOC, total-nitrogen, nitrat, turbiditet og COD. Ulike bassengvanntyper ble hentet fra hovedbassenget (før åpning og under maksimal belastning) og miljøbassenget (barnebasseng) ved badeanlegget på Domus Athletica ved Universitetet i Oslo, og fra boblebadet i Badeland ved Clarion Hotell på Gardermoen. De tre badevannkvalitetene ble laget ved å tilsette stokkløsninger av glukose, L-glutamat, urea og KNO₃ til ikke-klorert rentvann fra Skullerud vannverk, som gitt i Tabell 2. Testvannene er definert i Tabell 1.

Tabell 1. Definisjon av testvannene benyttet i forsøkene.

Testvann	Farge mg Pt/l	TOC mg C/l	Total-N µg N/l	NO ₃ -N µg N/l
Skullerudvann	5	2,7	200	177
Hovedbassengvann	5	4,0	1500	1200
Barnebassengvann	5	6,9	1900	1000
Boblebadvann	5	3,9	8000	7300

Tabell 2. Stokkløsninger tilsatt Skullerudvann for å gi de ulike testvannene.

Testvann	Glukose (1,5 g/l) + L-glutamat (1,5 g/l)	Urea (1,0 g/l)	KNO ₃ (10,0 g/l)
Tilskudd C og N	1,21 mg C/ml + 143 µg N/ml	0,20 mg C/ml + 467 µg C/ml	1386 µg N/ml
Hovedbassengvann	1,0 ml/l	0,30 ml/l	0,74 ml/l
Barnebassengvann	3,3 ml/l	0,85 ml/l	0,60 ml/l
Boblebadvann	0,8 ml/l	1,2 ml/l	5,14 ml/l

1.4 Testorganismer

Hovedtestorganismer i forsøkene var *Pseudomonas aeruginosa* (ATCC 27853, mottatt 13.01.99) og *Klebsiella pneumoniae* (SLV-186, mottatt 1994). Testorganismene ble dyrket opp på agar med selektivt medium (se under dyrking av testorganismer under metoder) ved 37°C og overført til fosfatbuffer etter ca 24 timers vekst for opparbeiding av inokulum. Det ble opparbeidet ferskt inokulum om morgenen hver testdag, og inokulumet ble holdt kaldt (4°C) så lenge det ikke ble benyttet.

2. Metoder

2.1 Eksponeringsforsøk med testorganismer og VADEvann

Den generelle prosedyren som ble fulgt under eksponeringsforsøkene med testorganismer og VADEvann i hovedbassengvann og barnebassengvann var:

- i) 5 L-flasker med testvann (med ønsket pH) ble holdt på vannbad med ønsket temperatur for temperaturkontroll.
- ii) 1 L (evt. 0,5 L) ble overført til 1 L (evt. 0,5 L) flaske med kork og tilsatt kjent mengde VADEvann. Flasken ble vendt forsiktig et par ganger før den ble satt på vannbad.
- iii) Konsentrasjonen av fritt klor (og evt. totalchlor) ble målt umiddelbart og med jevne mellomrom inntil ønsket konsentrasjon av fritt klor.
- iv) Ved en gitt ønsket fritt klor-konsentrasjon i flasken ble 250 ml (evt 200 ml) overført til en 250 ml-flaske med kork, fritt klor-konsentrasjonen ble målt, og vannet ble tilsatt 1,25 ml (evt 1,00 ml) testorganisme-suspensjon.
- v) Etter gitt eksponeringstid (10 sek, 30 sek, 1 min, 4 min eller 10 min) ble det tatt ut 1,9 ml prøve, som umiddelbart ble nøytralisert med 100 µl 5 g/l Na-tiosulfat.
- vi) Konsentrasjonen av dyrkbare testorganismer ble bestemt.
- vii) Som kontroll ble benyttet testvann behandlet på samme måte uten noen tilsetning av VADEvann. Også kontrollen ble tilsatt Na-tiosulfat.
- viii) Konsentrasjonen av dyrkbare testorganismer i inokulumet ble også bestemt og benyttet som en test på mulig toksisk effekt av nøytraliseringsmiddelet.
- ix) Forsøk med hypokloritt i stedet for VADEvann ble benyttet som referanse.

For eksponeringsforsøkene med testorganismer og VADEvann i boblebadvann ble følgende prosedyre benyttet:

- i) 5 L-flasker med testvann (med ønsket pH) ble holdt på vannbad med ønsket temperatur for temperaturkontroll.
- ii) 2,1 L av vannet ble overført til en pleksiglasskolonne med 10,4 cm diameter på temperert vannbad.
- iii) Vannet ble deretter tilsatt VADEvann til ønsket konsentrasjon og umiddelbart satt på ulik grad av lufting;

Ingen:	0 L/min
Medium:	15 L/min
Høy:	30 L/min
Ekstrem:	45 L/min
- iv) Konsentrasjonen av fritt klor (og evt. totalchlor) ble målt umiddelbart etter tilsats av VADEvann og med jevne mellomrom inntil testslutt.
- v) Når konsentrasjonen av fritt klor var blitt redusert til ca 0,3 mg/l eller 0,1 mg/l (10-90 min) ble testorganismen tilsatt.
- vi) Etter en eksponeringstid på 1 min og 4 min ble det tatt ut 1,9 ml prøve, som umiddelbart ble nøytralisert med 100 µl 5 g/l Na-tiosulfat.
- vii) Konsentrasjonen av dyrkbare testorganismer ble bestemt.
- viii) Som kontroll ble benyttet testvann behandlet på samme måte uten noen tilsetning av VADEvann. Også kontrollen ble tilsatt Na-tiosulfat.
- ix) Konsentrasjonen av dyrkbare testorganismer i inokulumet ble også bestemt og benyttet som en test på mulig toksisk effekt av nøytraliseringsmiddelet.
- x) Forsøk med hypokloritt i stedet for VADEvann ble benyttet som referanse.

Det ble kjørt et innledende forsøk for å bestemme nødvendig mengde nøytraliseringsvæske (5 g/l natriumtiosulfat) for å nøytralisere den desinfiserende effekten av VADEvann. Nødvendig mengde tiosulfat som skulle til for å redusere restmengden av 0,1 % VADEvann i destillert vann målt som totalklorkonsentrasjonen ned mot 0,0 mg/l ble først bestemt. Deretter ble kolber med 50 ml steril fosfatbuffer og 0,1 % VADEvann tilsatt ulike mengder tiosulfat og etterfølgende tilsatt den relativt klor-følsomme bakterien *Escherichia coli*. En dosering på 360 µl/L med tiosulfat (5 g/l) og en totalklorkonsentrasjon på 0,05 mg/l ga 100 % overlevelse av *E. coli*. Eventuell inhiberende effekt av tiosulfat på testorganismene ble undersøkt ved å sammenligne overlevelsen i referansen (alltid tilsatt tiosulfat) med beregnet fortykning av utgangsinokulumet (viss konsentrasjon alltid ble bestemt). I referansen ble det gjenfunnet 40-490 % av tilsatt mengde inokulum (72 % for *K. pneumoniae*).

2.2 Dyrking og kvantifisering av testorganismer

Pseudomonas aeruginosa ble dyrket opp på CM0559 Pseudomonas Agar Base med CN-supplement SR102 (Oxoid) ved 37°C. *Klebsiella pneumoniae* ble dyrket opp på m FC Broth Base 288330 (Difco) og Agar 214010 (Bacto) ved 37°C. Kvantifisering ble gjort ved spredeplatteteknikk (100 µl ut på 9 cm plate) etter et nødvendig antall fortyninger av hver prøve i fosfatbuffer. Ved et lite utvalg av forsøkene ble det benyttet to parallelle plater for hver fortykning.

2.3 Måling av restoksidanter

Det er benyttet ulike metoder for å beskrive den resterende mengden oksidanter etter tilsetning av VADEvann til vann. Se Tabell 3. For eksponeringsforsøkene ble målemetodene nr 1, 2 og 8 benyttet. Resultatene ble korrigert for blankprøven (kontrollprøven = testvann tilsatt testorganismesuspensjon).

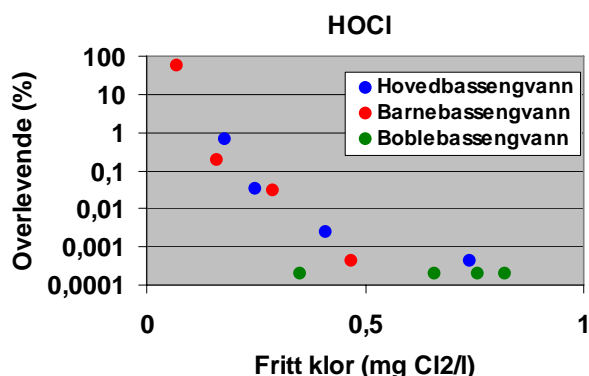
Tabell 3. Metoder og instrumenter benyttet for å bestemme resterende oksidanter etter tilsats av VADEvann.

Nr	Navn	Metode	Instrument	Måleområde (uten fortykning)
1	Fritt klor	DPD; SM 4500-Cl G, USEPA 330.5	HACH	0,02-2,00 mg Cl ₂ /l
2	Totalklor		HACH	0,02-2,00 mg Cl ₂ /l
3	Bundet klor	Totalklor – fritt klor	HACH	0,02-2,00 mg Cl ₂ /l
4	Ozon	Indigo	HACH	0-0,25 mg O ₃ /l
5	Fritt klor	DPD; DIN 38408 G4, US EPA 330.5, SM 4500-Cl G	Spectroquant	0,010-1,000 mg Cl ₂ /l
6	Totalklor		Spectroquant	0,010-1,000 mg Cl ₂ /l
7	Bundet klor	Totalklor – fritt klor	Spectroquant	0,010-1,000 mg Cl ₂ /l
8	Klordioksid	DIN 38408 G5, SM 4500-ClO ₂ D	Spectroquant	0,020-2,000 mg ClO ₂
9	Hydrogenperoksid	DIN 38409 H15	Spectroquant	0,25-5,00 mg H ₂ O ₂

3. Resultater

3.1 Inaktivering av testorganismer med hypokloritt (referanse)

Ved bruk av klor som desinfeksjonsmiddel skal vannets laveste innhold av fritt restklor (målt ved utløpet av bassenget og før ny tilsats av klor) være 0,4 mg/l ved $\leq 27^{\circ}\text{C}$, 0,7 mg/l ved $29-33^{\circ}\text{C}$ og 1,0 mg/l ved $\geq 37^{\circ}\text{C}$ ¹. Inaktiveringseffekten av *Pseudomonas aeruginosa* med klor, dosert som hypokloritt, ved de gitte konsentrasjonene og temperaturene ble antatt som forventet krav til VADEvann ved de respektive temperaturene og vannkvaliteter. Resultatene fra inaktiveringstestene med 1 min behandlingstid med hypokloritt er oppsummert i Figur 1. Hvis temperaturen i svømmeanlegget kan antas å være 27°C , må anlegget overholde 0,4 mg fritt klor/l-kravet under forsøket. Dette tilsier en 4- \log_{10} inaktivering (0,01 % overlevelse) av *Ps. aeruginosa* på 1 min. Dette tilsvarer en dose på 24 mg $\text{Cl}_2^*\text{s/l}$. Ut fra forsøkene var det ikke mulig å anslå inaktiveringsgrad (\log_{10} reduksjon) av *Ps. aeruginosa* ved 0,7 mg fritt klor/l og 1,0 mg fritt klor/l, som gjelder ved h.h.v. $29-33^{\circ}\text{C}$ og $\geq 37^{\circ}\text{C}$, men resultatene indikerer en tilsvarende inaktiveringseffektivitet i hele temperaturområdet. Det økende kravet til restmengde fritt klor ved økende temperaturer er bl.a knyttet til forventet økt forbruk/tap av fritt klor når temperaturen øker.



Figur 1. Andel overlevende *Ps. aeruginosa* etter 1 min behandling med HOCl målt ved ulike konsentrasjoner av fritt klor i vannet ved pH 7,6. Figuren oppsummerer resultatene oppnådd i hovedbassengvann (27°C og 32°C), barnebassengvann (32°C og 37°C) og boblebadvann (37°C og 42°C).

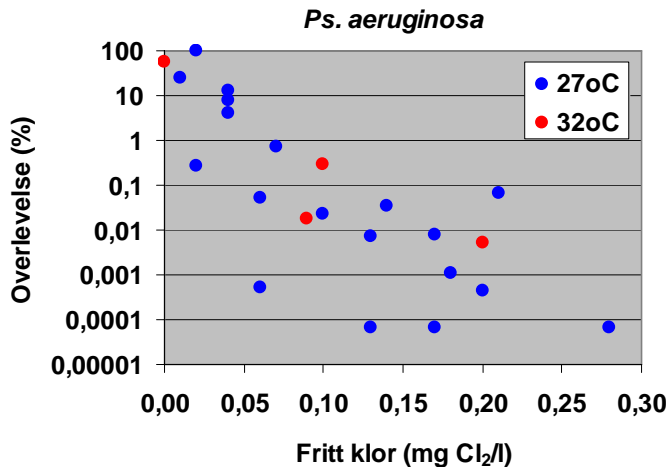
3.2 Inaktivering av testorganismer med VADEvann

Desinfeksjonseffekten av VADEvann ble testet ut i lab skala på bakteriene *Pseudomonas aeruginosa* (indikatororganisme i badeanlegg) og *Klebsiella pneumoniae*. Det ble gjort forsøk med ”typisk” hovedbassengvann, ”typisk” barne-/miljøbassengvann og boblebadvann, som vil omtales hver for seg i det følgende.

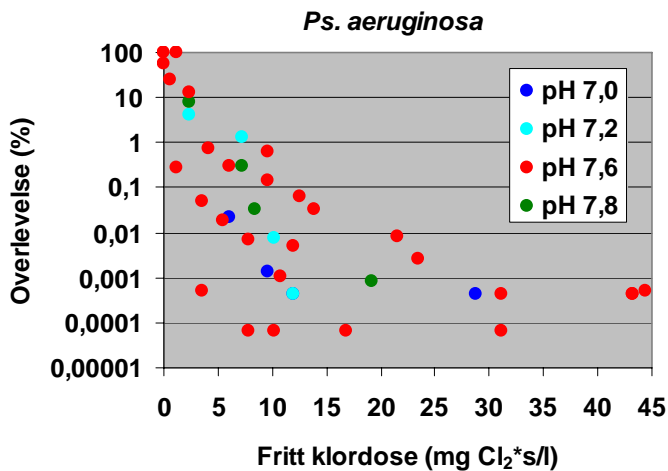
3.2.1 Hovedbassengvann

Figur 2 oppsummerer resultatene fra inaktiveringstestene av *Ps. aeruginosa* med 1 min behandlingstid med VADEvann. En 4- \log_{10} -inaktivering ble oppnådd ved en eksponering for 0,2 mg fritt klor/l i 1 min, dvs en fritt klor dose på 12 mg $\text{Cl}_2^*\text{s/l}$, noe som er halve den nødvendige dosen med hypokloritt. Figur 3 og 4 viser inaktiveringseffektivitetens avhengighet av h.h.v. testvannets pH og eksponeringstiden mellom VADEvann og *Ps. aeruginosa*. Legg merke til at fritt klordose (mg $\text{Cl}_2^*\text{s/l}$) er benyttet på x-aksen. For de ulike pH er tallmaterialet noe spinkelt, men det ble ikke observert betydelige forskjeller. Det samme gjelder eksponeringstiden.

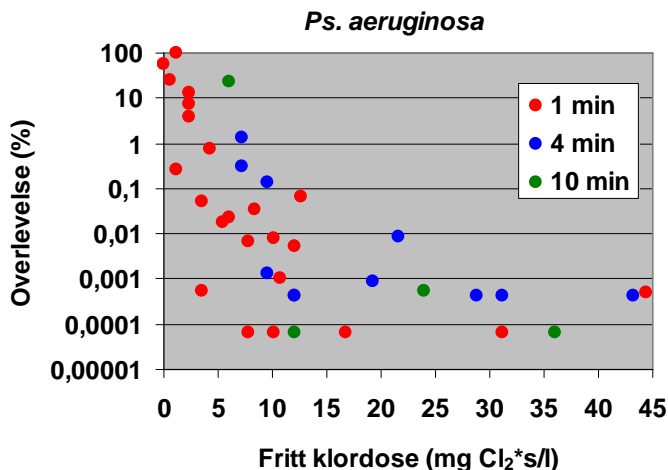
¹ Forskrift for badeanlegg, bassengbad og badstu m.v. (FOR 1996-06-13 nr 592).



Figur 2. Andel overlevende *Ps. aeruginosa* etter 1 min behandling med VADEvann målt ved ulike konsentrasjoner av fritt klor i vannet. Figuren oppsummerer resultatene oppnådd i hovedbassengvann ved 27°C (pH 7,0-7,8) og 32°C (pH 7,6).

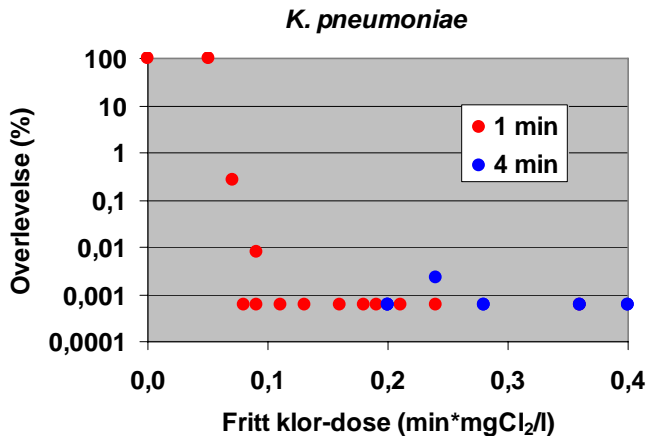


Figur 3. Omarbeiding av Figur 2 og inkludering av tester med 4 min eksponeringstid. Figuren skiller mellom forsøk med testvann med ulik pH.



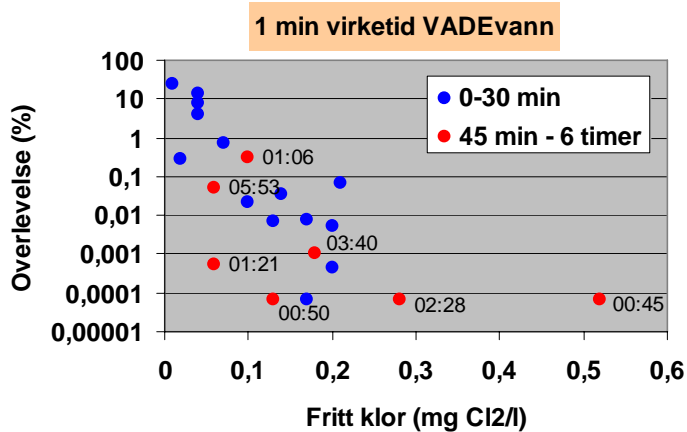
Figur 4. Omarbeiding av Figur 2 og inkludering av tester med 4 min og 10 min eksponeringstid. Figuren skiller mellom forsøk med ulik eksponeringstid mellom VADEvann og *Ps. aeruginosa*.

Figur 5 oppsummerer inaktiveringstestene med *K. pneumoniae* med 1 min og 4 min behandlingstid med VADEvann. En 4- \log_{10} -inaktivering ble oppnådd ved en eksponering for i underkant av 0,1 mg fritt klor/l i 1 min (ca 6 mg Cl₂*s/l), noe som viser at *K. pneumoniae* er vesentlig mindre motstandsdyktig mot VADEvann enn *Ps. aeruginosa*.



Figur 5. Andel overlevende *K. pneumoniae* etter 1 min og 4 min behandling med VADEvann målt ved ulike konsentrasjoner av fritt klor i vannet. Figuren oppsummerer resultatene oppnådd i hovedbassengvann ved 27°C (pH 7,2-7,6) og 32°C (pH 7,6).

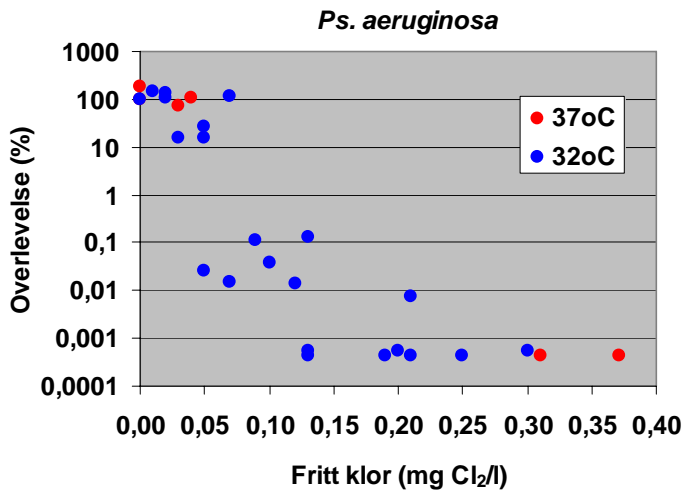
Gjennomsnittlig oppholdstid for vannet i det store bassenget ved Kongsvinger svømmeanlegg er på ca. 4 timer. Siden desinfeksjonskravet gjelder i hele bassenget er det viktig at VADEvann-dosen man benytter bevarer sin desinfeksjonseffekt over hele denne tidsperioden. I Figur 6 er resultatene fra forsøkene med *Ps. aeruginosa* (jfr. Figur 2) fordelt på de som ble oppnådd der bakteriene ble tilsatt innen 30 min etter dosering med VADEvann (blå punkter) og der bakteriene ble tilsatt mellom 45 min og opp til 6 timer etter at VADEvann var dosert. Resultatene indikerer at VADEvann (målt som fritt klor) bevarer sin effektivitet i hele perioden; desinfeksjonseffekten ved en gitt fritt klor-konsentrasjon ser ut til å være den samme uavhengig av hvor lenge VADEvann har vært i vannet.



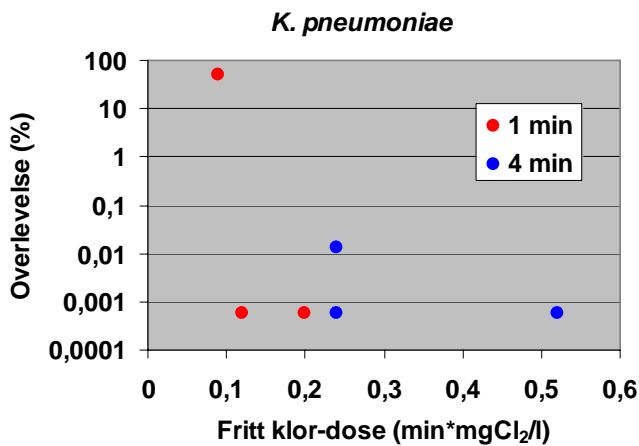
Figur 6. Omarbeiding av Figur 2: Figuren skiller mellom de forsøkene der *Ps. aeruginosa* ble tilsatt inntil 30 min etter VADEvann ble tilsatt og de med lengre tid mellom VADEvann-tilsetning og tilsats av bakterier.

3.2.2 Barnebassengvann

Figur 7 oppsummerer resultatene fra inaktiveringstestene av *Ps. aeruginosa* med 1 min behandlingstid med VADEvann i barnebassengvann. Som for hovedbassengvann ble det oppnådd en 4-log₁₀-inaktivering ved en eksponering for ca. 0,2 mg fritt klor/l i 1 min. Resultatene for *K. pneumoniae* indikerte en nødvendig dose på ca 6 mg Cl₂*s/l eller ca 0,1 mg Cl₂*min/l (se Figur 8), samme som i testene med hovedbassengvann. I én av prøvene med 4 min eksponeringstid ble det funnet noen gjenlevende bakterier, men restkonsentrasjonen av fritt klor (0,06 mg/l) var nær den reelle deteksjonsgrensen for analysen og resultatet må derfor tas med en klype salt.



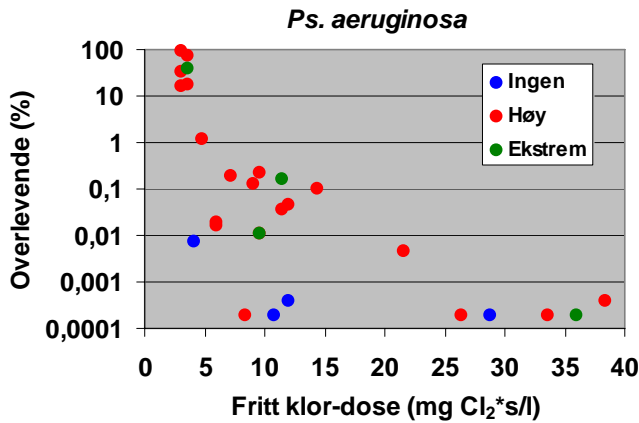
Figur 7. Andel overlevende *Ps. aeruginosa* etter 1 min behandling med VADEvann målt ved ulike konsentrasjoner av fritt klor i vannet. Figuren oppsummerer resultatene oppnådd i barnebassengvann ved 32°C (pH 7,0-7,8) og 37°C (pH 7,6).



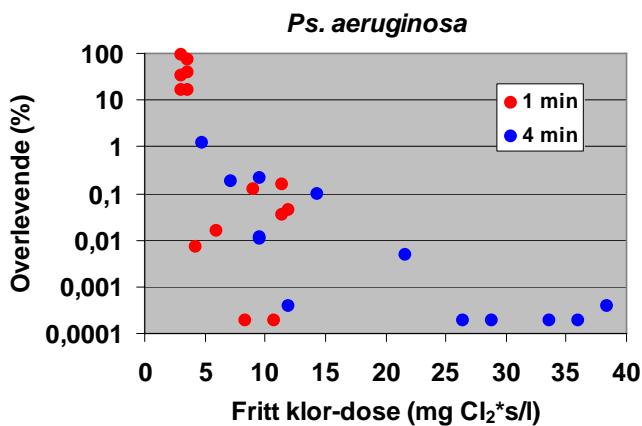
Figur 8. Andel overlevende *K. pneumoniae* etter 1 min og 4 min behandling med VADEvann målt ved ulike konsentrasjoner av fritt klor i vannet. Figuren oppsummerer resultatene oppnådd i barnebassengvann ved 32°C (pH 7,0-7,8) og 37°C (pH 7,6).

3.2.3 Boblebadvann

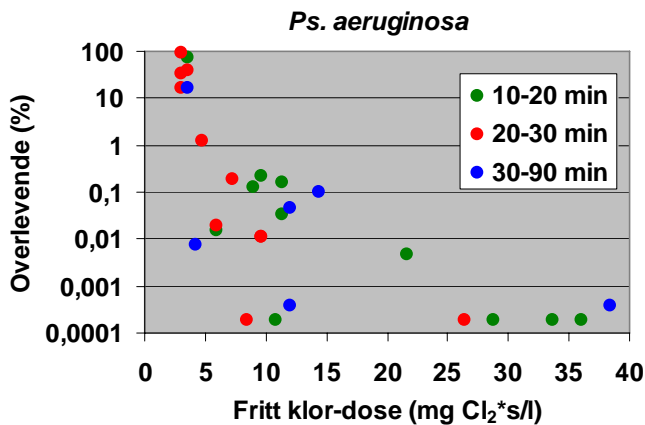
Ved uttesting i boblebadvann ble testvannet utsatt for ulik grad av bobling (ingen, høy og ekstrem) etter tilsats av VADEvann og under eksponeringen overfor testorganismen *Ps. aeruginosa*. Resultatene fra testene er oppsummert i Figur 9 og 10. De blå punktene i Figur 9 viser gjenlevende bakterier når vannet ikke ble luftet, mens de røde og grønne punktene viser tilsvarende når vannet ble utsatt for høy (30 L/min) og ekstrem (45 L/min) lufting i forkant og under eksponeringen av *Ps. aeruginosa*. Ingen lufting ga tilsynelatende noe bedre inaktiveringseffektivitet enn oppnådd i testene med hovedbassengvann og barnebassengvann; <5 mg Cl₂*s/l mot ca 12 mg Cl₂*s/l for en 4-log₁₀-inaktivering, men tallmaterialet er for spinkelt til å konkludere. Dette er kommentert nærmere i kapittelet som omhandler rest-VADEvann i ulike bassengvannkvaliteter (kap 3.3). Ved høy og ekstrem lufting ble derimot inaktiveringseffektiviteten noe redusert, til ca 20 mg Cl₂*s/l. Det så ikke ut til å være noen forskjell mellom høy og ekstrem lufting (Figur 9) eller eksponeringstid på 1 min eller 4 min (Figur 8) når det gjaldt inaktiveringseffektivitet. Derimot var det indikasjoner på at luftetiden før tilsats av *Ps. aeruginosa* hadde en viss betydning (Figur 11); kort (10-20 min) og lang (30-90 min) luftetid ga tilsynelatende redusert effektivitet, men tallmaterialet er noe for spinkelt til å konkludere.



Figur 9. Andel overlevende *Ps. aeruginosa* i boblebadvann med ulike fritt klordoser og ulike grader av lufting av vannet; ingen (0 L/min), høy (30 L/min) og ekstrem (45 L/min). Figuren oppsummerer resultatene oppnådd i boblebadvann ved 37°C (pH 7,0-7,8) og 42°C (pH 7,6).



Figur 10. Omarbeiding av Figur 7 der det her er skilt mellom 1 min og 4 min eksponeringstid.

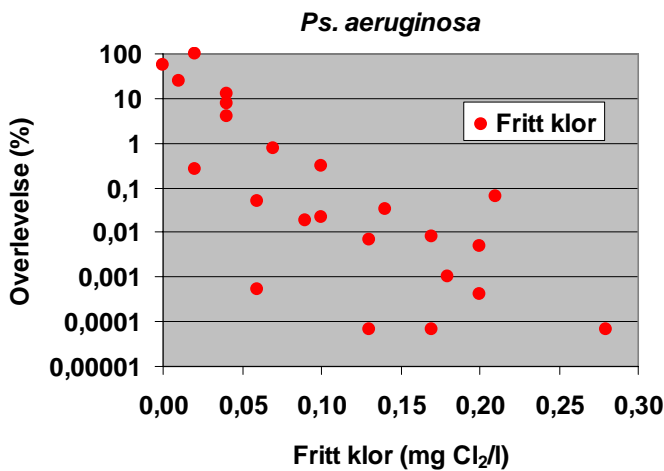


Figur 11. Omarbeiding av Figur 7 der det her er skilt mellom kort (10-20 min), høy (20-30 min) og ekstrem (30-90 min) lufting i forkant av tilsats av *Ps. aeruginosa*.

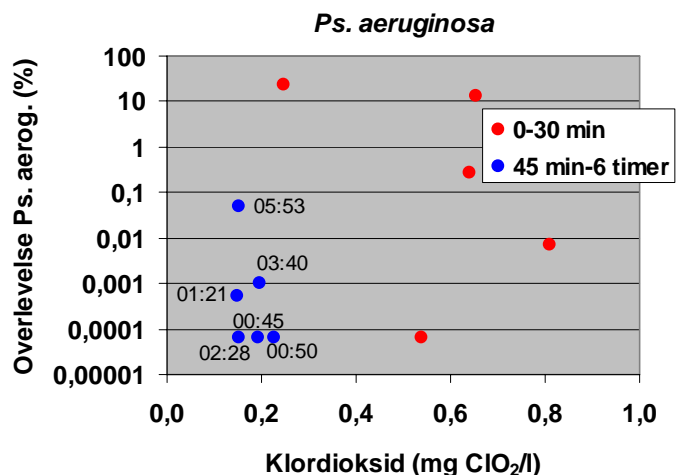
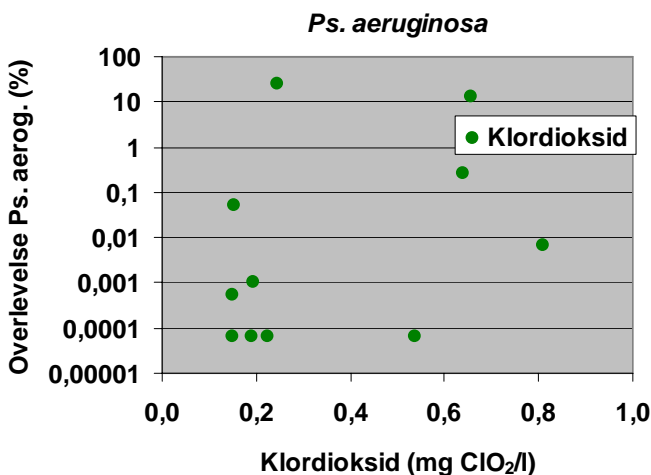
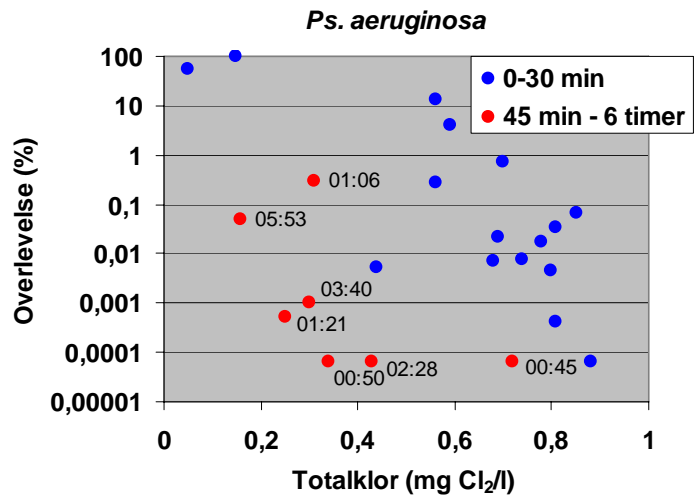
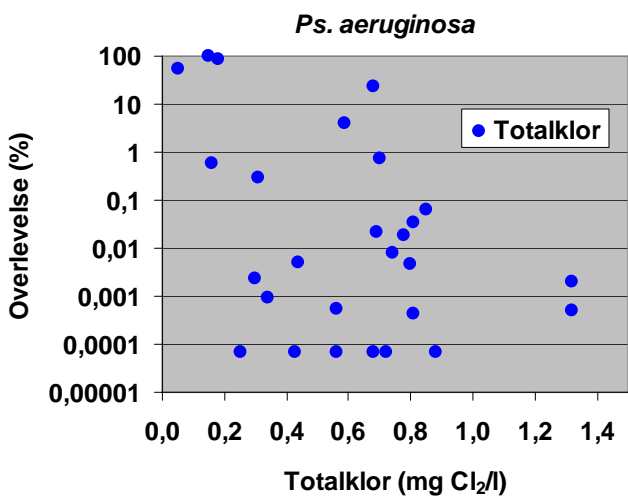
3.2.4 Måling av inaktiveringseffekt som fritt klor, totalchlor eller klordioksid?

I de ovenfor omtalte forsøkene ble inaktiveringsresultatene angitt i f.h.t. konsentrasjonen av fritt klor i vannet under eksponeringen. Som vil bli omtalt nærmere i kapittel 3.3, kan restmengder av VADEvann etter tilsats til testvannet også måles som totalchlor og klordioksid. Innledningsvis ble både fritt klor, totalchlor og klordioksid målt under inaktiveringsforsøkene for å finne ut hvilke av disse parameterene som ga best korrelasjon mellom økende konsentrasjon og økt inaktiveringseffektivitet. Figur 12 oppsummerer måleverdiene for fritt klor (øverst), totalchlor (midterst) og klordioksid (nederst) under disse forsøkene med inaktivering av *Ps. aeruginosa* i hovedbassengvann. Venstre side av figuren viser alle datene samlet, og her viser fritt klor en klart bedre korrelasjon med

inaktiveringseffekten enn både totalchlor og klordioksid. På høyre side av figuren er punktene adskilt mellom de forsøkene der testorganismen ble tilsatt i løpet av de første 30 min etter tilsats av VADEvann og de forsøkene der testorganismen ble tilsatt mellom 45 min og 6 timer etter tilsats av VADEvann. Resultatene indikerer her et klart skille, der VADEvann tilsynelatende er langt mer effektivt (samme effekt ved lavere dose eller bedre effekt ved samme dose) en viss tid etter tilsats. Totalchlor inkluderer det som går under samlebegrepet bundet chlor (f.eks kloraminer) i tillegg til det som dekkes av (det også generelle begrepet) fritt chlor. Som vil kommenteres nærmere i neste kapittel ble andelen bundet chlor betydelig redusert i den første perioden etter tilsats av VADEvann. De bundne klorforbindelsene som detekteres med totalchloranalysen er tydeligvis langt mindre effektive enn fritt chlor, og således vil totalchlor ikke være noen gunstig analysemetode for å måle resteffekt av VADEvann. Det samme resonnementet gjelder også for klordioksid, selv om det her ikke (i teorien) er snakk om bundet chlor.



Figur 12. Måleverdiene for fritt chlor (øverst), totalchlor (midterst) og klordioksid (nederst) under forsøkene med inaktivering av *Ps. aeruginosa* i hovedbassengvann. På høyre side av figuren er punktene adskilt mellom de forsøkene der testorganismen ble tilsatt i løpet av de første 30 min etter tilsats av VADEvann og de forsøkene der testorganismen ble tilsatt mellom 45 min og 6 timer etter tilsats av VADEvann.

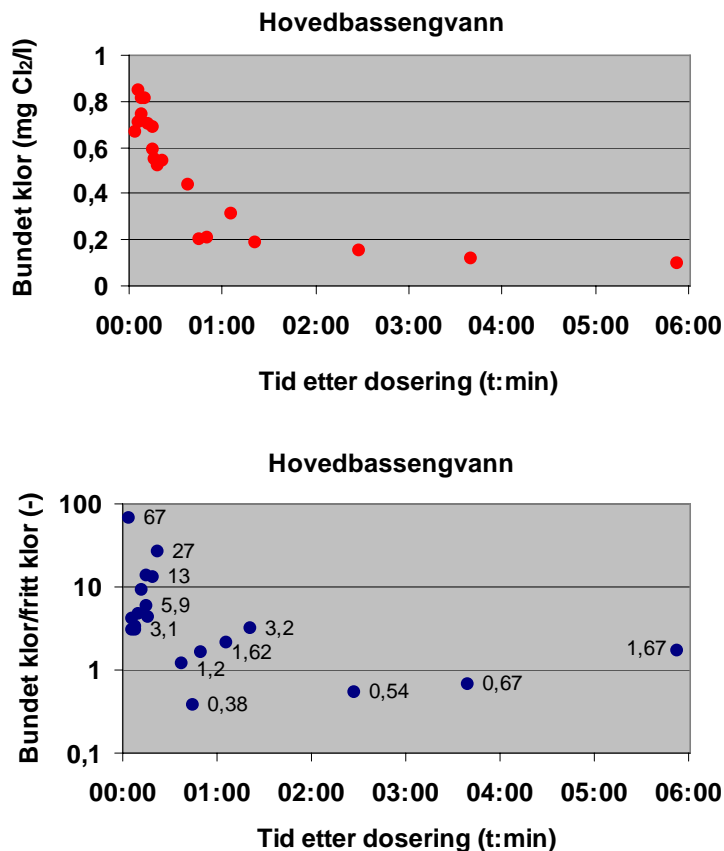


3.3 Rest-VADEvann under aktuelle badevannbetingelser

Hvordan VADEvann doseres og hvor lang tid etter dosering man måler restmengde VADEvann har betydning for måleresultatet. Ved bruk av hypokloritt som desinfeksjonsmiddel krever Badeanleggforskriften² at mengden bundet klor (differansen mellom fritt og totalchlor) i bassengvannet ikke overstiger 50 % av mengden fritt klor og alltid $<0,5 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$. Det er den bundne klore som i størst grad knyttes til de estetiske og helsemessige problemene man opplever ved bruk av hypokloritt, så man kan forvente at dette kravet også vil gjelde for VADEvann. Det følgende vil beskrive hvordan mengden rest-VADEvann utvikler seg over tid i de tre testvanntypene.

3.3.1 Rest-VADEvann i hovedbassengvann

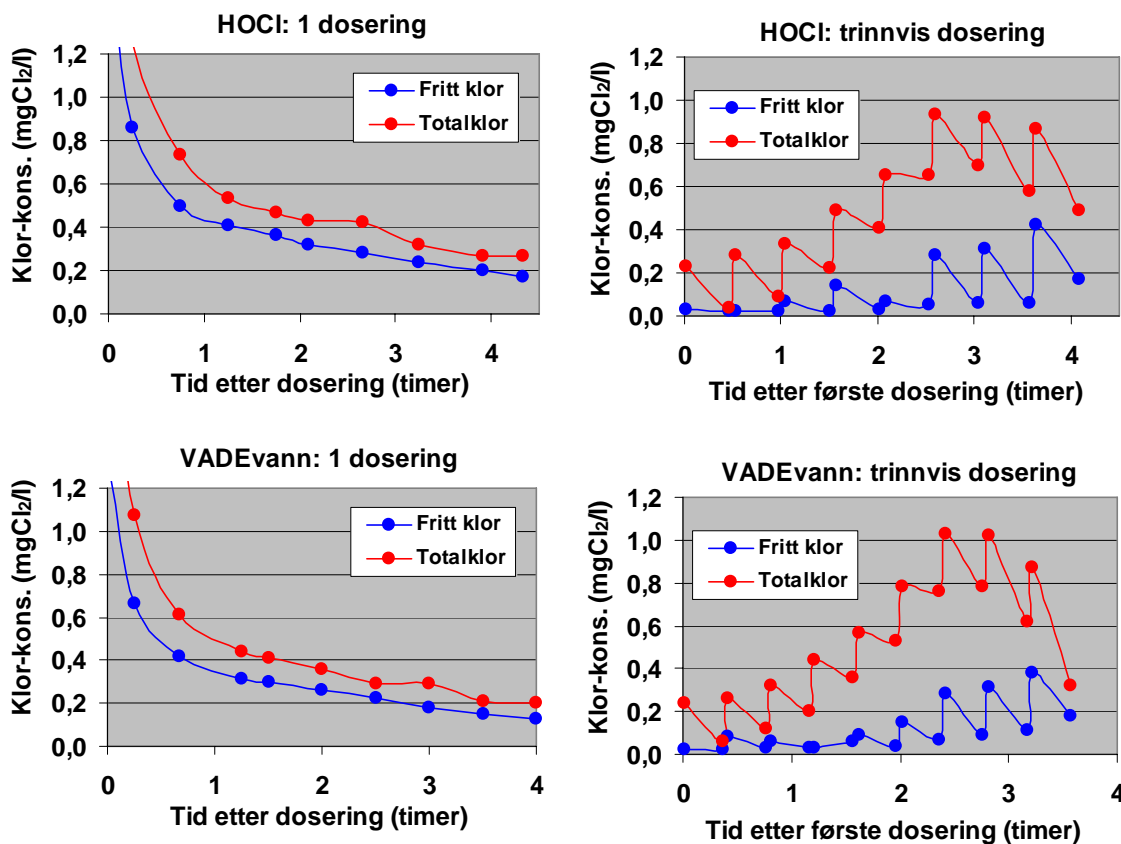
Som ble indikert i kapittel 3.2.4 og Figur 12 så økte – tilsynelatende – inaktiveringseffektiviteten til VADEvann når testorganismen ble tilsatt en viss tid etter at VADEvann var tilsatt hvis restmengden VADEvann ble målt som totalchlor. Hvis disse punktene fra Figur 12 plottes etter forholdet mellom konsentrasjonen av bundet klor (differansen mellom totalchlor og fritt klor) og tiden etter dosering av VADEvann som *Ps. aeruginosa* ble tilsatt, ser man en klar tendens til synkende mengde bundet klor i vannet (øvre delfigur i Figur 13) og synkende andel bundet klor mot fritt klor (nedre delfigur i Figur 13) når vannet får stå en stund etter dosering av VADEvann. Figur 13, som omhandler forholdene i hovedbassengvann, viser også at mengden bundet klor i vannet etter dosering med VADEvann er vesentlig over kravet på $<0,5 \text{ mg Cl}_2/\text{l}$ i den første perioden (ca 30 min) etter tilsats, men at den reduseres betydelig og til godt under kravet i perioden etter dette. Ved en gjennomsnittlig oppholdstid på 4 timer i hovedbassenget er det sannsynlig at maksimalkonsentrasjonskravet for bundet klor vil overholdes. Men, som Figur 4 også antyder, kan det være vanskelig å overholde %-kravet samtidig.



Figur 13. Konsentrasjonen av bundet klor (øvre delfigur) og forholdet mellom bundet og fritt klor (nedre delfigur) ved ulike holdetider etter dosering av VADEvann. Oppsummering av flere forsøk med ulike VADEvann-doseringer til hovedbassengvann.

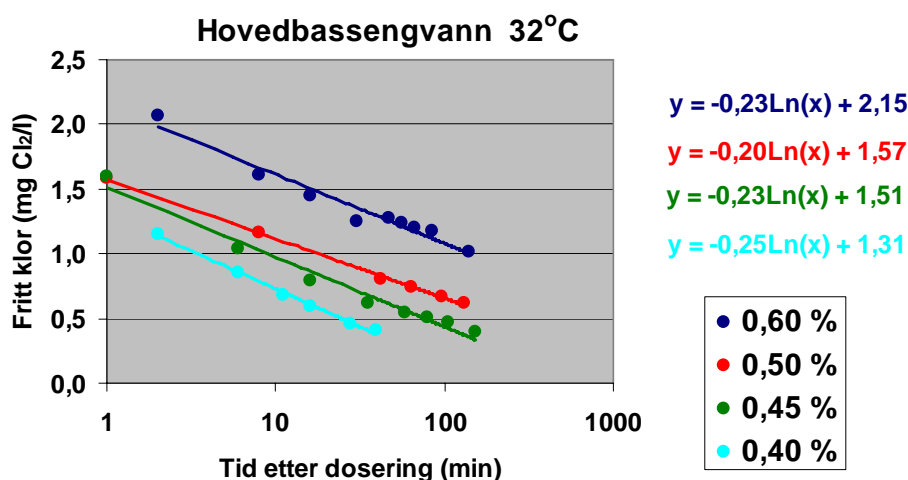
² FOR 1996-06-13 nr 592: Forskrift for badeanlegg, bassengbad og badstu m.v.

Figur 14 nedenfor viser et eksempel på hvordan konsentrasjonen av fritt klor og totalchlor forandret seg med tiden etter tilsats av hypokloritt (HOCl) og VADEvann når de ble dosert som en engangsdose ved tid = 0 (venstre halvdel av figuren) og i 9 trinn med en 10-del av mengden ved hver tilsats jevnt fordelt over samme tidsperiode som engangsdoseforsøket ble testet over (høyre halvdel av figuren). Doseringen av Hypokloritt var tenkt å gi ca 0,4 mg fritt klor/l etter ca 4 timer og doseringen av VADEvann var tenkt å gi ca 0,2 mg fritt klor/l etter ca 4 timer. Som figuren indikerer forløp utviklingen av fritt klor og totalchlor ved dosering med VADEvann seg tilnærmet identisk tilsvarende forløp ved dosering med Hypokloritt. Det resultatene også indikerer er at mengden bundet klor (differansen mellom totalchlor og fritt klor) vil kunne øke betydelig ved en trinnvis/gradvis økning i fritt klor-konsentrasjonen i f.h.t en full dosering umiddelbart, men at den vil reduseres når man har nådd en viss fritt klor-konsentrasjon eller reduserer videre dosering for å kun vedlikeholde konsentrasjonen av fritt klor i vannet. Det er sannsynligvis den trinnvise doseringen som er mest likt det doseringsregimet man vil ha ved oppstart av dosering med VADEvann i svømmeanlegget pga den store fortyngningen i bassenget.



Figur 14. Full dosering og rask innblanding av hypokloritt (HOCl) og VADEvann ved tid = 0 (venstre delfigur) og trinnvis dosering av 10-del av mengden ved hver tilsats jevnt fordelt over samme tidsperiode (høyre delfigur).

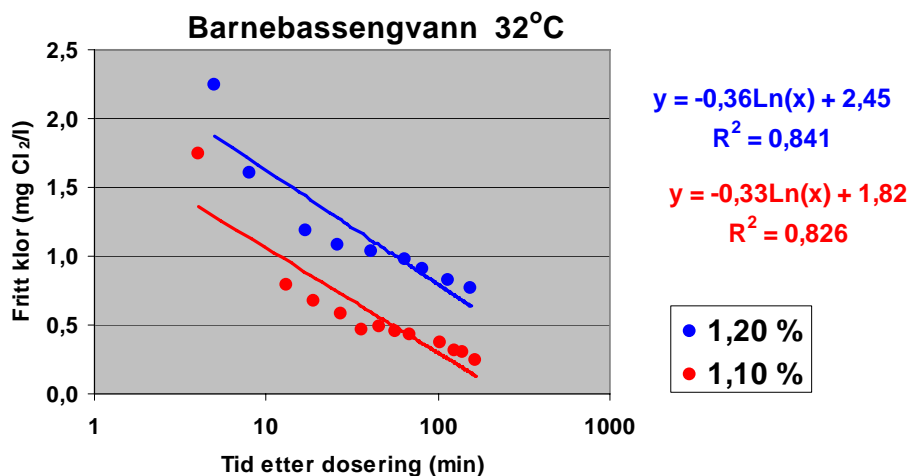
Figur 15 gir en indikasjon på utviklingen av fritt klor vil kunne være etter tilsats av ulike konsentrasjoner av VADEvann til hovedbassengvann. Plottet med logaritmisk x-akse (tiden etter dosering av VADEvann) vil konsentrasjonsnedgangen danne en rett linje.



Figur 15. Utviklingen av fritt klor etter tilsats av ulike konsentrasjoner av VADEvann til hovedbassengvann med 32°C.

3.3.2 Rest-VADEvann i barnebassengvann

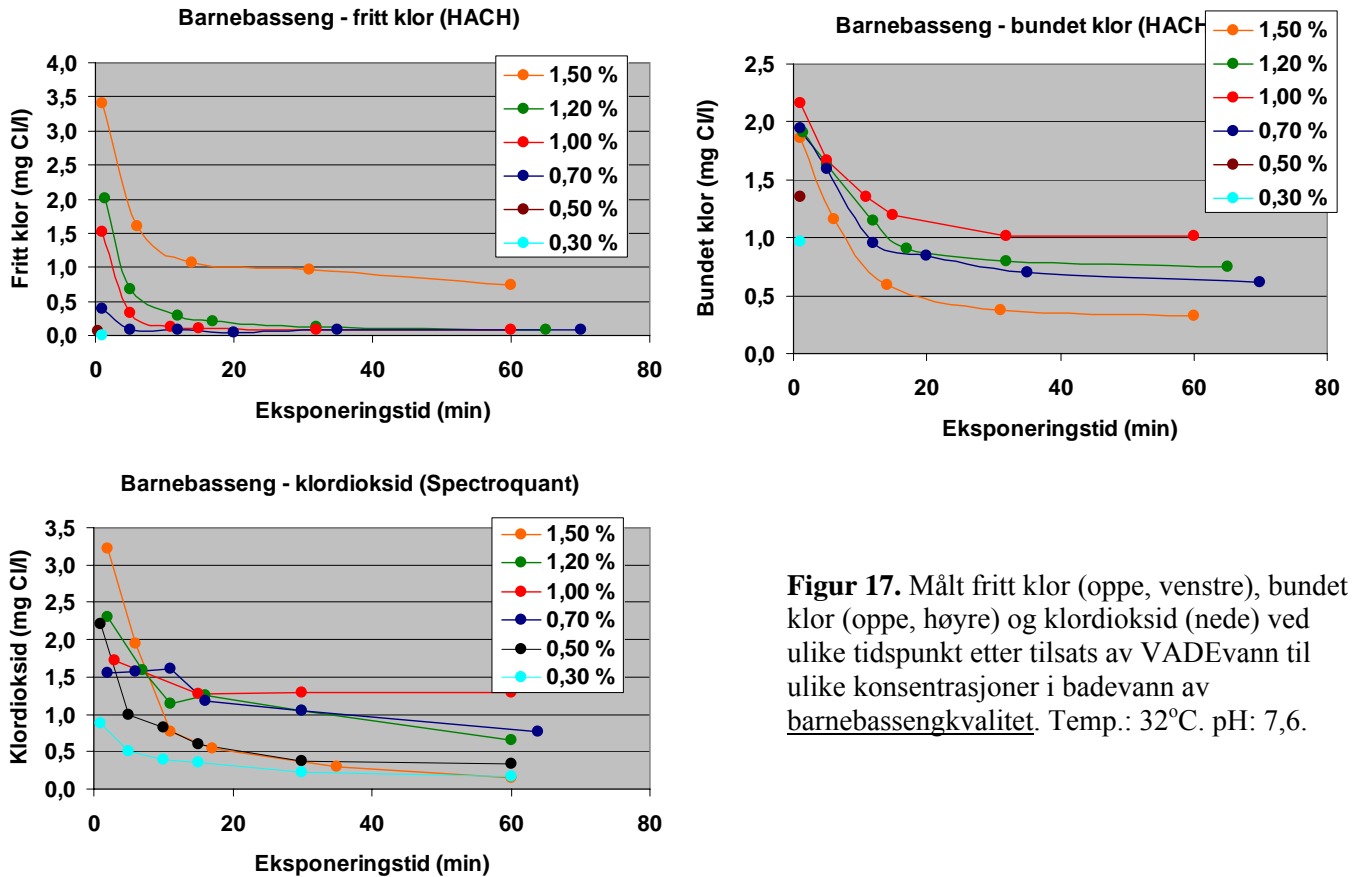
Tilsvarende til Figur 15 for hovedbassengvann er vist i Figur 16 for barnebassengvann. Den viktigste umiddelbare observasjonen å gjøre er at det må doseres vesentlig mer VADEvann til barnebassengvann enn hovedbassengvann for å oppnå den samme konsentrasjonen av fritt klor i testvannet. Samtidig heller de rette linjene noe brattere for barnebassengvannet enn for hovedbassengvannet (jfr a-leddet i $y = a\text{Ln}(x) + b$). Bakgrunnen for dette er det noe høyere innholdet av nitrogen og organisk stoff i barnebassengvann enn i hovedbassengvann (se Tabell 1).



Figur 16. Utviklingen av fritt klor etter tilsats av ulike konsentrasjoner av VADEvann til barnebassengvann med 32°C.

Dette er eksemplifisert videre i Figur 17, der tidsutvikling for fritt klor, bundet klor og klordioksid for barnebassengvann er vist for ulike doseringer av VADEvann ved 32°C og pH 7,6. Mens vi tidligere så at mengden bundet klor i hovedbasseng (se Figur 13) relativt raskt ble redusert til under "kravet" på 0,5 mg Cl₂/l, lå den klart over "kravet" i barnebassengvann for de fleste VADEvannsdoser. Interessant

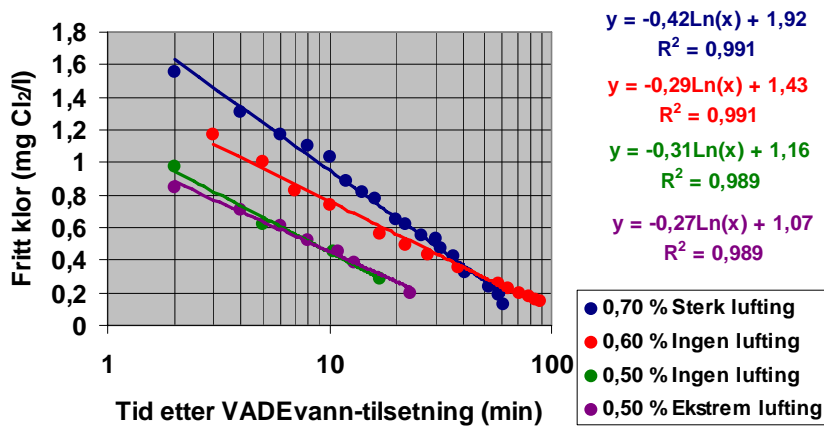
nok var det kun den høyeste VADEvannsdosen (1,5 %) som endte opp under 0,5 mg Cl₂/l i løpet av måleperioden på ca 1 time. Utviklingen av rest-VADEvann målt som klordioksid fulgte omtrent samme utvikling som bundet klor.



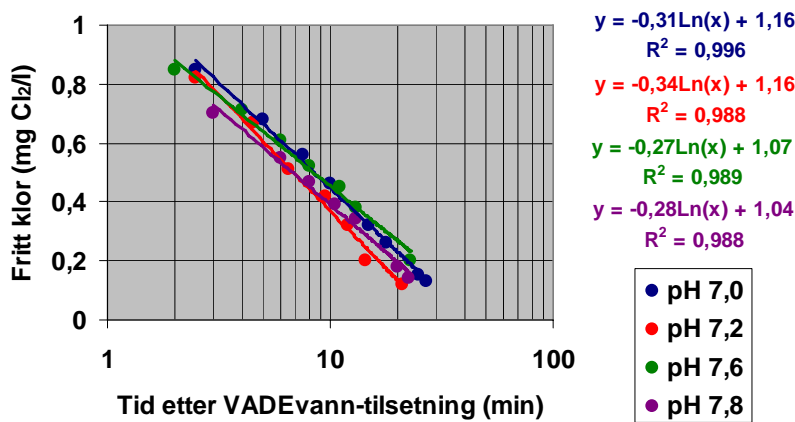
Figur 17. Målt fritt klor (oppe, venstre), bundet klor (oppe, høyre) og klordioksid (nede) ved ulike tidspunkt etter tilsatt av VADEvann til ulike konsentrasjoner i badevann av barnebassengkvalitet. Temp.: 32°C. pH: 7,6.

3.3.3 Rest-VADEvann i boblebadvann

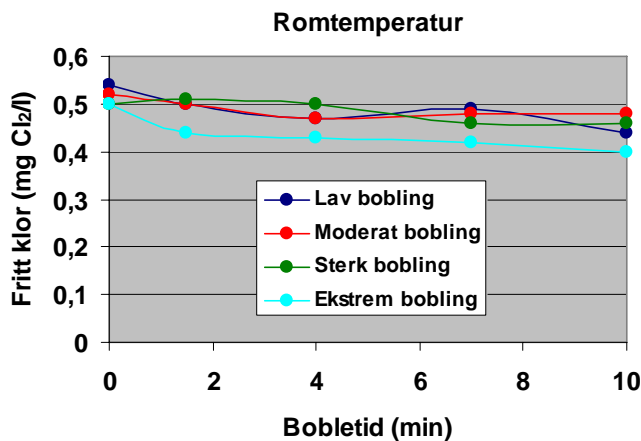
Utviklingen av fritt klor ved ulik grad av lufting av boblebadvann er vist i Figur 18. Ved lav VADEvannsdose var det tilsynelatende ingen signifikant forskjell mellom ingen lufting og ekstrem lufting, men når VADEvannsdosen økte så tapet av fritt klor til å øke noe med sterk lufting. Som Figur 19 antyder hadde pH i området 7,0-7,8 ingen signifikant betydning for den tidsavhengige reduksjonen av fritt klor ved kraftig lufting. Ved tilsvarende forsøk med VADEvann tilsatt deionisert vann (0,11 %) var tapet av fritt klor beskjedent over tidsintervallet på 10 min og tilnærmet uavhengig av grad av lufting (se Figur 20). Temperaturen kan ha stor betydning for reduksjonen i fritt klor ved bobling. Det var vanskelig å holde temperaturen oppe i testkolonnene som ble benyttet i forsøket.



Figur 18. Utviklingen av fritt klor ved ulik grad av lufting av boblebadvann tilsatt 0,5 %-0,7 % VADEvann ved 37°C.



Figur 19. Utviklingen av fritt klor ved ulik pH og kraftig av lufting av boblebadvann etter dosering av 0,5 % VADEvann ved 37°C.



Figur 20. Utviklingen av fritt klor ved ulik grad av lufting av deionisert vann etter dosering av 0,11 % VADEvann ved romtemperatur.

3.4 Lagring av VADEvann

Det ble gjort et enkelt lagringsforsøk med VADEvann i ulike flasker og under ulike temperatur- og lysforhold. Tapet i effekt etter 49 døgns lagring, målt som mengde fritt klor målt etter 5 min, 60 min og 4 timers holdetid etter dosering i hovedbassengvann ved 32°C, er gitt i Tabell 3. Det ble ikke observert noe tap i effekt ved lagring mørkt ved 4°C i en brun glassflaske i forhold til utgangs-

VADEvannet (resultat ikke vist), mens det ved alle de øvrige lagringsbetingelsene ble observert betydelige tap i effekt.

Tabell 4. Konsentrasjonen av fritt klor etter en holdetid på 5 min, 60 min og 4 timer ved dosering av VADEvann lagret i 49 dager i ulike emballasjer under ulike lys- og temperaturforhold. Det ble benyttet en VADEvann-dose på 0,55 % til hovedbassengvann ved 32°C.

Lagringsmåte			Fritt klor		
Flasketype	Lys/mørke	Temperatur	5 min	60 min	4 timer
Brunt glass	Mørkt	4°C	1,19	0,44	0,18
Brunt glass	Mørkt	Romtemp	0,07	0,00	0,01
Lyst glass	Lyst	4°C	0,13	0,02	0,03
Lyst glass	Lyst	Romtemp	-	-	-
Plast	Mørkt	4°C	0,01	0,03	0,00

3.5 Uheldige biprodukter ved bruk av VADEvann

I forsøket der VADEvann og Hypokloritt ble dosert som en engangsdose ved tid = 0 (venstre halvdel av figuren) og i 9 trinn med en 10-del av mengden ved hver tilsats jevnt fordelt over samme tidsperiode som engangsdoseforsøket, beskrevet i kapittel 3.3.1 og vist resultater fra i Figur 14, ble det også tatt ut prøver for bestemmelse av trihalometaner (THM). Dette er forbindelser som er potensielt kreftfremkallende og derfor ikke ønsket i bassengvann. I badeanlegg har man vist størst besymring for den THM som befinner seg i luftlaget rett over vannskorpen, som de badende puster inn. Konsentrasjonen av THM man finner i vannet vil likevel gi en indikasjon på hva man kan forvente å finne i dette luftlaget. Luftprøver er det mest hensiktsmessig å ta ved fullskalauttesting.

Tabell 5 viser THM-resultatene fra forsøket. Med unntak av triklormetan (CHCl_3) var alle analyseverdiene lave og utenfor det området som kan anses som beskyrningsfullt (<50 µg/l for total THM). Triklormetan-analysene bør tas med en stor klype salt, spesielt de som er gitt for hovedbassengvann. Det er lite sannsynlig at det vil være dannet mer THM her enn i barnebassengvann, da det organiske stoffet, som utgjør utgangsstoff for å få dannet THM, finnes i lavere konsentrasjoner i hovedbassengvann enn i barnebassengvann. Men det er verdt å legge merke til at det i all hovedsak (ett unntak) ble funnet høyere konsentrasjoner av THM i vann tilsatt VADEvann enn tilsatt hypokloritt. Og det er verdt å legge merke til at den trinnvise doseringen ga gjennomgående lavere THM-konsentrasjoner enn engangsdosen.

Tabell 5. Resultater fra forsøk med engangsdosering og trinnvis dosering av til sammen samme mengde hypokloritt og VADEvann til hovedbassengvann og barnebassengvann.

Prøve	CCl_4	CHBr_3	CHCl_3	Br_2ClCH	Cl_2BrCH	TCE	TECE	TRCE
	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l	µg/l
Hovedbasseng								
1 trinn – hypokloritt	<0,1	<0,1	36*	<0,1	1,9	<0,5	<0,1	<0,1
10 trinn – hypokloritt	<0,1	<0,1	25*	<0,1	1,5	<0,5	<0,1	<0,1
1 trinn – VADEvann	<0,1	0,16	29*	0,29	2,0	<0,5	<0,1	<0,1
10 trinn – VADEvann	<0,1	0,18	17*	0,28	1,3	<0,5	<0,1	<0,1
Barnebassengvann								
1 trinn – hypokloritt	<0,1	<0,1	18*	<0,1	1,1	<0,5	<0,1	<0,1
10 trinn – hypokloritt	<0,1	<0,1	4,9	<0,1	0,32	<0,5	<0,1	<0,1
1 trinn – VADEvann	<0,1	0,54	18*	0,61	1,6	<0,5	<0,1	<0,1
10 trinn – VADEvann	<0,1	0,41	5,6	0,44	0,71	<0,5	<0,1	<0,1

* Det er knyttet større usikkerhet enn normalt til kvantifiseringen.