



**Miljø- og
Fødevareministeriet**
Miljøstyrelsen

Håndtering af fækale uheld i svømmebade

Miljøprojekt nr. 2062

Januar 2019

Udgiver: Miljøstyrelsen

Redaktion: Lisbeth Damkjær Christensen, Kim
Feldfoss og Jørgen Schou Hansen, Teknologisk
Institut

ISBN: 978-87-7038-026-3

Miljøstyrelsen offentliggør rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, som er finansieret af Miljøstyrelsen. 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.

Må citeres med kildeangivelse.

Indhold

1.	Forord	4
2.	Sammenfatning og konklusion	5
3.	Summary and conclusion	7
4.	Formål	9
5.	Projektbeskrivelse og baggrund	10
5.1	Projektbeskrivelse	10
5.2	Baggrund	11
6.	Anvendte metoder til håndtering af fækale uheld	13
6.1	Chokkloring	13
6.1.1	CT-værdi og betydningen af pH-værdi og temperatur	13
6.1.2	Erfaringer og anbefalet praksis ved chokkloring i ind- og udland	16
6.1.2.1	Danmark	16
6.1.2.2	Sverige	17
6.1.2.3	Tyskland	18
6.1.2.4	Holland	18
7.	Supplerende vandbehandling	24
7.1	Filtrering	24
7.2	UV- og ozonbehandling	25
7.3	Desinfektion med klordioxid	25
7.4	Opsamling	25
8.	Vurdering af best practice	26
8.1	Best practice	26
8.2	Begrundelse	26
9.	Test af best practice	27
9.1	Beskrivelse af test	27
9.2	Erfaringer fra gennemførelse af test	28
10.	Anbefalet metode	30
10.1	Anbefalet metode til håndtering af fækale uheld med løse fækalier eller opkast	30
10.1.1	Forud for chokkloring	30
10.1.2	Chokkloring	30
10.1.3	Afkloring	31
10.1.4	Idriftsættelse af bassin	32
10.1.5	Sikkerhed under udførelse af proceduren	32
10.2	Sammenligning med kontrolvejledningen	33
11.	Referencer	34

1. Forord

Denne rapport omhandler svømmebadspersonalets håndtering af forurening med løse fækalier i svømmebade. Der har i projektet været fokus på, hvordan fækal forurening med løse fækalier bedst håndteres under hensyntagen til sikkerhed for badende og personale samt økonomiske og praktiske aspekter.

Målgruppen for projektet er:

- Svømmebadspersonale
- Myndigheder, som kontrollerer og fastlægger regler for svømmebade
- Virksomheder, som rådgiver svømmebade.

Projektet er udarbejdet af en arbejdsgruppe bestående af:

Brian Krogh, Sektionsleder, Svømmebadsteknologi, Teknologisk Institut

Kim Feldfoss, Konsulent, Svømmebadsteknologi, Teknologisk Institut

Jørgen Schou Hansen, Seniorspecialist, Svømmebadsteknologi, Teknologisk Institut

Lotte Bjerrum Friis-Holm, Ph.d., mikrobiologi, Vand og Ressourcer, Teknologisk Institut.

Lisbeth Damkjær Christensen, cand.scient., mikrobiologi, Vand og Ressourcer, Teknologisk Institut.

Kathe Tønning, Seniorprojektleder, Sektion for Vand og Ressourcer, Teknologisk Institut

Der har for projektet været nedsat en følgegruppe bestående af:

Marie Blanner, Miljøstyrelsen

Helle Bach Rungø, Miljøstyrelsen

Marie Schmidt Møller, Miljøstyrelsen

Tanja Løvgren, Miljøstyrelsen

John Mogensen, Gribskov Kommune

Lars Norring, Dansk Svømmebadsteknisk Forening

Martin Hesselsøe, NIRAS (repræsentant for Dansk Svømmebadsteknisk Forening)

Jesper Poulsen, Odense Kommune

Knud Hansen, Odense Kommune

Morten Hinnerup, Dansk Svømmeunion

Nina Ank, Styrelsen for Patientsikkerhed

2. Sammenfatning og konklusion

Teknologisk Institut har i perioden 1. august – 7. december 2018 gennemført et projekt for Miljøstyrelsen med det formål at kvalificere Miljøstyrelsens grundlag for at vurdere, om der er belæg for at ændre den eksisterende vejledende procedure til håndtering af fækale uheld med løse fækalier. Idet de klorresistente, patogene mikroorganismer *Cryptosporidium* og *Giardia* potentielt kan spredes med løse fækalier, er målet for håndteringen, at uskadeliggøre eller bortrense disse mikroorganismer. Håndteringen bør foruden sikkerheden for de badende også tage højde for økonomiske og praktiske betragtninger.

Der er i projektet udført et litteraturstudie, som har belyst de eksisterende, anerkendte metoder, som finder anvendelse til rensning af bassin vand både nationalt og i hhv. Tyskland, Sverige og Holland. I samtlige lande håndteres fækale uheld med løse fækalier ved en opkloring af bassin vandet til en høj koncentration af frit klor, som opretholdes over en tidsperiode (chokkloring). Supplerende teknologier, herunder UV- og ozonbehandling samt filtrering har potentielle til at bidrage til inaktivering eller bortrensning af *Cryptosporidium* og *Giardia*, men for desinfektion af hele vandbehandlingsanlægget er chokkloring afgørende.

CT-værdier benyttes som et mål for desinfektionseffektivitet (CT= koncentration af frit klor \times behandlingstid). Retningslinjerne for chokkloring varierer landene imellem. På baggrund af den videnskabelige litteratur, vurderes, at chokkloring, som opnår CT = 9.600 min \times mg/L er tilstrækkeligt til inaktivering af *Cryptosporidium* og *Giardia* og dermed genoprettelse af badehygiejniske forhold. Dette dog under forudsætning af at pH-værdien under chokkloringen holdes inden for intervallet $\geq 6,8$ - ≤ 7 .

Fra en økonomisk betragtning er den påkrævede lukketid efter et fækalt uheld med løse fækalier en afgørende parameter. Anbefalingen til håndtering af fækale uheld bør derfor ikke have længere varighed, end hvad der kræves for at genoprette en høj sikkerhed for badende.

Den nuværende danske kontrolvejledning kræver manuel håndtering af kemikalier ved opkloringen. Det er vigtigt at manuel opkloring kan håndteres sikkert af det udførende personale, idet metoden omfatter betydelige faremomenter. Af samme grund er det af værdi i nogle sammenhænge at kunne gennemføre opkloringen automatisk, så manuel håndtering af kemikalier kan undgås.

På baggrund af ovenstående konklusioner, er der blevet udført en afprøvning af hhv. automatisk opkloring til 5 mg/L og manuel opkloring helt op til 50 mg/L samt efterfølgende afkloring af et terapibassin i Svømmehallen Bolbro d. 28. november 2018. Det blev fundet, at såvel automatisk som manuel opkloring kunne gennemføres sikkert såfremt svømmebadspersonalet er instrueret heri.

Afvejes hensyn til de badendes og personalets sikkerhed samt økonomiske og praktiske betragtninger, anbefales det, at fækale uheld med løse fækalier håndteres ved chokkloring. Forinden chokkloringen skal pH-værdien indstilles til $\geq 6,8$ - ≤ 7 . Der skal ved chokkloringen opnås en CT-værdi på $9.600 \text{ mg} \times \text{min/L}$. Dette kan opnås f.eks. ved at opretholde en koncentration af frit klor på 20 mg/L over 8 timer, men det vurderes også muligt at anvende andre kombinationer af koncentration af frit klor og behandlingstid, så længe en CT-værdi på $9.600 \text{ min} \times \text{mg/L}$ opnås. Det vurderes, at der kan anvendes koncentrationer af frit klor i intervallet ≥ 5 - $\leq 50 \text{ mg/L}$.

Anvendes der koncentrationer af frit klor, som kræver manuel håndtering af kemikalier, er det særligt vigtigt, at svømmebadspersonalet er grundigt instrueret heri og oplyst om sikkerhedsmæssige foranstaltninger under udførelsen.

3. Summary and conclusion

During the period from August 1 – December 7, 2018, Danish Technological Institute conducted a project for the Danish Environmental Protection Agency. The purpose of the project was to evaluate whether it is necessary to change the existing procedure for handling fecal incidents with watery stool. Since the chlorine-resistant, pathogenic microorganisms *Cryptosporidium* and *Giardia* can potentially spread through watery stool, the handling is aimed at inactivating or removing these microorganisms. The handling of fecal contamination with watery stool should consider not only the safety of the swimming pool visitors but also the safety of the personnel and the financial and practical aspects.

During this project, a literature review has been carried out, which identified the existing acknowledged methods for treatment of pool water applied nationally and in Germany, Sweden and the Netherlands. In all the countries mentioned, the fecal incidents with watery stools are handled by increasing the concentration of free chlorine in pool water and maintaining it over a certain period of time (hyperchlorination). Additional technologies, including UV-treatment, ozone treatment, and filtration have a potential to contribute to the inactivation or removal of *Cryptosporidium* and *Giardia*. However, hyperchlorination is necessary to ensure proper disinfection of the entire water treatment facility.

CT-values are used as a measure of disinfection efficiency (CT = concentration of free chlorine × time of exposure). The guidelines for hyperchlorination vary among the mentioned countries. According to the scientific literature, hyperchlorination, at a level of CT = 9,600 min×mg/L, is considered to be sufficient to ensure inactivation of *Cryptosporidium* and *Giardia* and thus the reestablishment of appropriate hygienic conditions in the pool. However, under the precondition that the pH-value should be kept within the interval $\geq 6,8 - \leq 7$ during the hyperchlorination.

From a financial point of view, the required time span during which the swimming pool should be closed after a fecal incident with watery stool is an important parameter. The recommendation for handling of fecal incidents should therefore not last longer than what is needed to inactivate *Cryptosporidium* and *Giardia* and reestablish a high level of hygienic safety in the swimming pool.

The existing Danish control instructions require that chemicals are handled manually at chlorination. It is important that this manual chlorination can be handled safely by the personnel since the method can be hazardous. For the same reason, it is in some cases beneficial to have the possibility of chlorinating the swimming pool water using the automatic dosing system to avoid manual handling of the chemicals.

Based on the conclusions above, testing of automatic dosing to a level of 5 mg/L, manual chlorination to a level of 50 mg/L, and subsequent downregulation of chlorine concentration was conducted in the public swimming pool in Bolbro on November 28, 2018. The test results showed that both the automatic dosing and manual chlorination could be conducted safely if the personnel are thoroughly instructed in the procedure.

When considering the safety of the swimming pool visitors and personnel as well as the financial and practical aspects, it is recommended that fecal incidents with watery stool are handled by hyperchlorination. Prior to the hyperchlorination, the pH-value should be regulated to $\geq 6,8 - \leq 7$. The hyperchlorination must meet a CT-value of 9,600 mg×min/L. This can be reached, for example, by sustaining a concentration of 20 mg/L free chlorine for 8 hours. It is, however, possible to use other combinations of free chlorine concentration and time of exposure, as

long as a CT-value of 9,600 mg×min/L is achieved. Concentrations of free chlorine within the interval ≥ 5 - ≤ 50 mg/L can be applied.

If free chlorine is applied in concentrations that require manual handling of chemicals, it is highly important that the personnel are thoroughly instructed in the procedure and are well-informed about the safety precautions during the work.

4. Formål

Det primære formål med nærværende projekt har været at vurdere behovet for at ændre den eksisterende procedure for håndtering af fækale uheld i svømmebade i Danmark.

Ved ophold i svømmebade eksponeres de badende for et stort antal mikroorganismer, hvoraf nogle kan være sygdomsfremkaldende. Imidlertid sikrer en blivende lav koncentration af frit klor desinfektion af badevandet og en høj hygiejnisk sikkerhed for de badende. Efter fækale uheld med løse fækalier spredes bakterier i stort antal, og der er risiko for massiv spredning af de infektiøse og særdeles klorresistente mikroorganismer *Cryptosporidium* og *Giardia*. Opretholdelse af en høj badesikkerhed kræver i disse tilfælde en procedure for effektiv desinfektion af hele vandmassen og det resterende bademiljø.

Projektet er udført i to faser, en teoretisk og en praktisk, og har til formål at kvalificere Miljøstyrelsens grundlag for at vurdere, om der er behov for en ændring af den eksisterende vejledning til håndtering af fækale uheld i svømmebade.

5. Projektbeskrivelse og baggrund

5.1 Projektbeskrivelse

Spredning af de sygdomsfremkaldende mikroorganismer *Giardia* og *Cryptosporidium* i svømmebade vækker særlig bekymring både i og uden for Danmark på grund af organismernes høje klorresistens. Idet fækale uheld med løse fækalier potentielt kan forårsage massiv spredning af disse mikroorganismer, kræves særlig vandbehandling i disse tilfælde. "Vejledning om kontrol med svømmebade" (Naturstyrelsen, 2013) vil i nærværende rapport blive refereret til som "kontrolvejledningen". Kontrolvejledningen beskriver svømmebadets opbygning og drift og er tænkt som en hjælp til bl.a. personale i svømmebadsanlæg og kontrollerende myndigheder.

Den danske "Bekendtgørelse om svømmebadsanlæg m.v. og disses vandkvalitet" (BEK nr. 918 af 27/06/2016) (Miljøministeriet, 2016) regulerer kvalitetskrav og de hygiejniske forhold i danske svømmebade og vil i rapporten blive refereret til som "bekendtgørelsen". Hvor bekendtgørelsen ikke omtaler anvendelse af bestemte metoder eller teknologier, foreslår kontrolvejledningen retningslinjer til håndtering af fækale uheld. Kontrolvejledningen vejleder således svømmebade til overholdelse af bekendtgørelsens krav. Den nuværende kontrolvejledning skelner dels mellem fast og løs fækalieforurening, dels imellem små bassiner og store bassiner. Ved løse fækalier i vandet skal små bassiner rømmes, tømmes og desinficeres, inden de igen fyldes og tages i brug. Det anbefales dog, at hele anlægget, inkl. rørsystemer og vandbehandlingsanlæg desinficeres på tilsvarende måde som store bassiner. Store bassiner rømmes, hvorefter der udføres chokkloring, hvilket involverer, at det frie klorindhold hæves til 20 mg/L over en periode på 8 timer, dog mindst svarende til 6 gange omsætningstiden af den cirkulerende vandstrøm. Kontrolvejledningen beskriver således håndteringen af opkast samt fækale uheld med løse fækalier, men angiver ikke, hvordan chokkloringen praktisk gennemføres.

Det kræver solid faglig indsigt at gennemføre den foreskrevne procedure, idet procedurefejle kan medføre betydelige skader på vandbehandlingsanlægget og ikke mindst føre til alvorlige kemikalieuheld, idet håndtering af de relativt store mængder ætsende kemikalier (15 % natriumhypoklorit ("klor"), 30 % salt- eller 20 % svovlsyre, antiklor (natriumthiosulfat og natriumhydroxid)) kan medføre alvorlig personskade. Desuden er der risiko for dannelse af store mængder giftig klorgas, som er til risiko for personer, som opholder sig ikke kun i svømmehallen, men også i svømmehallens nærområde.

Derfor er det særligt vigtigt, at de personer, som arbejder med disse procedurer, har den fornødne uddannelse og erfaring til at kunne udføre procedurerne på den sikkerhedsmæssigt bedste måde.

Af faremomenter kan opstilles:

- Risiko for ætsning ved spild af syre
- Risiko for ætsning ved spild af klor
- Risiko for klorgas ved sammenblanding af klor og syre
- Risiko for klorgas ved en pH-værdi i bassinet under 4
- Risiko for kalkudfældning i bassin
- Risiko for kalkudfældning i vandbehandlingsanlæg
- Risiko ved ikke korrekt justeret pH-niveau ved tilsætning af antiklor
- Risiko for ulykker ved manuel transport af kemikalier uden for kemikalierum

- Risiko for fejlbedømmelse af, hvor stort et område som skal afspærres i forbindelse med evt. lukning af dele af svømmehallen.

Blandt andet på denne baggrund har nærværende projekt til formål at undersøge forskellige anvendte metoder til håndtering af fækale uheld med henblik på at kvalificere Miljøstyrelsens grundlag for vurderingen af den vejledende procedure.

Projektet er inddelt i to på hinanden følgende faser:

- Fase 1. Indledningsvist i projektet udføres et litteraturstudie, hvor nationale og internationale referencer vedrørende håndtering af fækale uheld gennemgås. Desuden undersøges praksis i en række europæiske lande, som vi normalt sammenligner os med. På baggrund af litteraturstudiets resultater beskrives en anbefalet procedure til håndtering af fækale uheld.
- Fase 2. I projektets anden fase vil proceduren, beskrevet i fase 1, blive testet i et dansk svømmebad. Erfaringer fra litteraturstudie og test vil afslutningsvis resultere i en samlet anbefaling.

5.2 Baggrund

I forbindelse med ophold i svømmebade eksponeres badende for et stort antal mikroorganismer, herunder bakterier, svampe, virusser og protozoer. Bassinvandet tilføres kontinuerligt store mængder mikroorganismer og andet organisk materiale fra bassinets brugere, som ved fuld kontakt afgiver afsondringer fra huden, slimhinder, kropsåbninger og hår til bassinvandet. De tilførte mikroorganismer kan udgøre en potentiel risiko for brugere af bassinet, hvorfor desinfektion og kontinuerlig vandrensning er nødvendig for at forebygge smittespredning.

Klorning ved lave koncentrationer er både nationalt og globalt den mest udbredte metode til desinfektion af bassinvand, idet mange mikroorganismer er klorfølsomme. I bekendtgørelsen stilles kvalitetskrav vedrørende indholdet af frit klor. Desinfektion med klor efter gældende kvalitetskrav vil slå de mest hyppige mikroorganismer ihjel på langt under et sekund ved et frit klorindhold på 1 mg/L og en pH-værdi på 7.

Klor udmærker sig som desinfektionsmiddel bl.a. ved at være langtids- og hurtigtvirkende, effektiv over for de mest relevante mikroorganismer og økonomisk overkommelig. Bekendtgørelsen stiller krav om automatisk klor- og pH-regulering og tillader kun brug af klor som desinfektionsmiddel i form af klorgas eller hypokloritopløsning. I mange svømmebade anvendes desuden elektrolyseanlæg til generering af hypokloritopløsning. Klor vil ved opløsning i bassinvand findes som hhv. hypoklorsyre (HOCl, klorundersyring) og hypoklorit (ClO⁻). Summen af disse to klorforbindelser udgør det frie klorindhold, og pH-værdien samt temperaturen afgør koncentrationsforholdet imellem de to forbindelser. Hypoklorsyre har den største desinfektionseffektivitet og er dominerende ved pH <7,53, mens hypoklorit dominerer ved pH >7,53 (pKa = 7,5 ved 30 °C). Den automatiske styring af klor og pH sikrer, dels at det frie klorindhold holdes på et tilstrækkeligt niveau for den pågældende bassintype, dels at desinfektionseffektiviteten er høj, og at badevandet dermed er sikkert.

Under normale omstændigheder vil klorning ved lave koncentrationer af klor, pH-regulering og korrekt kontinuerlig vandbehandling sikre overholdelse af bekendtgørelsens krav til vandkvalitet i svømmebade og dermed et højt niveau af sikkerhed for badegæster og personale. I situationer, hvor bassinvand forurenes med store mængder mikroorganismer, f.eks. fækale uheld og opkast, er der behov for særlig opmærksomhed fra svømmebadspersonalet. I de pågældende tilfælde skal det vurderes, om fækalier kan karakteriseres som faste eller løse fækalier. Opkast håndteres som løse fækalier. Ved uheld, hvor løse fækalier forurener bassinvandet, er der imidlertid risiko for, at de i praksis klorresistente mikroorganismer *Giardia* og *Cryptospori-*

dium spredes i vandet. På nuværende tidspunkt håndteres opkast og gylp efter samme metode som løse fækaler. De pågældende organismer spredes dog antageligvis ikke via opkast. Projektet har fokus på håndtering af fækale uheld med løse fækaler, da det er i disse tilfælde risikoen for spredning af *Giardia* og *Cryptosporidium* er nærliggende. Svømmebadspersonalet har på nuværende tidspunkt ikke mulighed for at vurdere, hvorvidt et fækalt uheld med løse fækaler er inficeret med *Giardia* eller *Cryptosporidium*. Af hensyn til den badehygiejniske sikkerhed udføres derfor i størstedelen af tilfælde af fækale uheld med løse fækaler en procedure, der sikrer inaktivering eller bortrensning af disse organismer.

Giardia og *Cryptosporidium* er begge coccoide slægter, der tilhører gruppen protozoer, og kontaminering af bassinvand med infektiøse arter kan således udgøre en smitterisiko for badende.

Den infektiøse parasit-art *Cryptosporidium parvum* er sammen med arten *Cryptosporidium hominis* årsag til cryptosporidiose – en sygdom kendetegnet ved diarré, kvalme, opkast og feber. Begge arter har gennem vandbåren smitte forårsaget talrige udbrud både via drikkevand og via bassinvand. Smitten foregår fækal-oralt, og efter smitte vil organismene inficere epitelceller i tyndtarmen. Her formerer *Cryptosporidium* sig under dannelse af deres passive stadie kaldet oocyster. Diarré giver anledning til udskillelse af talrige oocyster, og mikroorganismene kontaminerer således massivt det omgivende miljø og udgør en høj smitterisiko for dyr og mennesker. Oocysterne vil ved indtag bryde (excystere) i tyndtarmen, og 4 sporozoitter (aktivt livsstadie) per oocyst vil inficere tarmvæggens celler. Oocyster er særdeles modstandsdygtige over for stressfaktorer, herunder klorning ved lave niveauer af frit klor. Ved en koncentration af frit klor på 1 mg/L kræves en eksponeringstid på 11 dage for inaktivering af oocyster af *Cryptosporidium*. For opretholdelse af en høj grad af hygiejnisk sikkerhed for badende ifm. fækal forurening kræves der således andre metoder end klorning ved lav koncentration.

Sygdommen giardiasis er forårsaget af infektion med arten *Giardia lamblia*. *Cryptosporidium* og *Giardia* har mange biologiske fællestræk, og giardiasis er således også en tarminfektion, som giver anledning til mild diarré, kvalme og luft i maven. Cyster bliver dannet ved infektion i tarmepitelet, og ved spredning med fækaler frigives talrige cyster. Cysterne vil ved indtag excystere i tarmen og der vil frigøres to trophozoitter (aktivt livsstadie) per cyste, som kan inficere tarmvæggens celler og formere sig. Cyster af *Giardia* er ligesom oocyster fra *Cryptosporidium* hårdføre og er i stand til at overleve klorning ved lav koncentration. Ved en pH-værdi på 7 og et klorniveau på 1 mg/L vil inaktivering af cyster fra *Giardia* kræve en kontaktid på over 100 minutter. Cyster fra *Giardia* er altså langt mindre modstandsdygtige over for frit klor end oocyster fra *Cryptosporidium*, men opretholdelse af hygiejnisk sikkert bassinvand efter fækale uheld kræver dog mere end klorning ved lave klorkoncentrationer.

6. Anvendte metoder til håndtering af fækale uheld

6.1 Chokkloring

Chokkloring, også kaldet hyperkloring, er både nationalt og internationalt den absolut mest udbredte metode til håndtering af fækale uheld og opkast, idet frit klor er i stand til at inaktivere oocyster og cyster af hhv. *Cryptosporidium* og *Giardia*, forudsat at organismerne eksponeres i større grad end ved almindelig kloring af bassinvand. Kontrolvejledningen angiver således også vejledende retningslinjer for chokkloring ifm. fækale uheld. Ved chokkloring hæves koncentrationen af frit klor til et højt niveau, som opretholdes i et givent tidsrum.

6.1.1 CT-værdi og betydningen af pH-værdi og temperatur

Ved chokkloring og andre typer desinfektion anvendes CT-værdien ofte som et mål. Produktet af koncentrationen (i mg/L) og behandlingstiden (i minutter) kaldes CT-værdien og er blevet anvendt som et mål for bl.a. desinfektion.

CT-værdi

$$CT \left(\frac{\text{mg} \cdot \text{min}}{\text{L}} \right) = \text{koncentration}_{\text{frit klor}} \left(\frac{\text{mg}}{\text{L}} \right) * \text{behandlingstid (minutter)}$$

Når en fast CT-værdi anvendes som vejledning for desinfektion, åbner det muligheden for at variere enten koncentrationen af frit klor eller behandlingstiden.

Desinfektionseffektiviteten ved chokkloring er ikke alene afhængig af disse to parametre, men også særligt af pH-værdien. pH-værdien påvirker koncentrationsforholdet imellem hypokloritionen og hypoklorsyre og dermed desinfektionseffektiviteten. Denne er størst ved lav pH (pH <7,53), idet den frie klor her fortrinsvist findes som hypoklorsyre. Kvalitetskravet for bassinvand er jf. bekendtgørelsen pH 6,8-7,6. I kontrolvejledningens beskrivelse af chokkloring angives det, at pH gerne fastholdes på 6,8 under behandlingen. Ved denne pH-værdi effektiviseres desinfektionen, idet langt hovedparten af det frie klorindhold vil bestå af hypoklorsyre.

Foruden pH-værdien har temperatur også betydning for desinfektionseffektiviteten. Temperaturen har betydning dels for koncentrationsforholdet imellem hypoklorsyre og hypoklorition, og dels for reaktionshastighederne. En højere temperatur vil betyde en relativt mindre andel af hypoklorsyre, hvilket svækker desinfektionseffektiviteten. Kvantitativt udgør dette dog en mindre effekt sammenlignet med pH-værdiens betydning beskrevet ovenfor. Samtidig har temperatur betydning for reaktionshastigheden imellem organisk materiale og den frie klor. Denne øges ved en øget temperatur. I praksis vil denne effekt være større end temperatureffekten på ligevægten imellem hypoklorsyre og hypoklorition, og øget temperatur formodes derfor som hovedregel at øge desinfektionseffektiviteten.

For at vurdere hvilken CT-værdi, der er påkrævet for inaktivering af oocyster og cyster af hhv. *Cryptosporidium* og *Giardia*, har man i flere studier undersøgt effektiviteten af frit klor ved laboratorieforsøg. Idet oocyster fra *Cryptosporidium* er langt mere klorresistente end cyster fra *Giardia*, er 3-log (99,9 %) inaktivering af oocyster fra *Cryptosporidium* succeskriteriet for chokkloring i disse studier og afgørende for de anvendte retningslinjer.

Den påkrævede CT-værdi for 3-log inaktivering af oocyster er undersøgt i studier, som stammer fra USA, idet *Cryptosporidium* længe har været en udfordring i drikkevandssystemer i USA og har givet anledning til alvorlige udbrud. Hovedvægten i det følgende vil være på to studier, som ligger til grund for de givne anbefalinger for chokkloring i bl.a. USA, Danmark, Sverige og England. De to studier giver anledning til anbefalede CT-værdier på hhv. 9.600 min×mg/L (Korich et al., 1990) og 15.300 min×mg/L (Shields et al., 2008). De to studier og deres væsentligste ligheder og forskelle vil blive beskrevet overordnet i det følgende.

Studiet af Korich et al., 1990 sammenlignede effekterne af desinfektion med hhv. klordioxid, klor, monokloramin og ozon på overlevelsen af oocyster fra *Cryptosporidium* med henblik på desinfektion af drikkevand. Overlevelsen af oocysterne blev analyseret både ved excystations- og infektivitetundersøgelse. Ved excystationsundersøgelser kvantificeres det, hvor stor en del af de behandlede oocyster som er i stand til at excystere (udvikle sig fra oocyststadiet til sporozoitstadiet). Ved infektivitetsundersøgelser undersøges det, hvor stor en del af de behandlede oocyster som kan forårsage infektion af et dyr (her neonatale mus).

Studiet sammenlignede effektiviteten ved forskellige behandlingstider ved en fast klorkoncentration på 80 mg/L. Der kunne ses en tydelig sammenhæng imellem behandlingstiden og effektiviteten af oocystinaktivering. 1-log inaktivering opnåedes ved en behandlingstid på 60 minutter i excystationsundersøgelsen. Ved infektivitetsundersøgelsen opnåedes mindre end 1-log inaktivering af oocyster ved 90 minutters behandlingstid. 3-log inaktivering af oocyster blev ikke opnået i studiet, men kan ekstrapoleres fra data til ca. 120 minutter, svarende til en CT-værdi på 9.600 mg×min/L.

Studiet af Shields et al., 2008 undersøgte ligeledes desinfektionseffektiviteten af klor på oocyster af *Cryptosporidium* af forskellig geografisk oprindelse og af forskellige aldre. For at bestemme overlevelsen af *Cryptosporidium* blev en vævskultur (encellet biologisk cellelag) forsøgt inficeret med behandlede oocyster, hvorefter andelen af infektiøse oocyster blev opgjort. Studiet behandlede udelukkende oocyster ved ca. 20 mg/L frit klor og analyserede den påkrævede behandlingstid for 2- og 3-log inaktivering.

Studiet indikerede, at oocysternes alder havde betydning for effektiviteten af kloringen. Yngre oocyster krævede således en længere behandlingstid. Forsøgene viste, at inaktiveringsraten af oocyster af forskellig geografisk oprindelse varierede signifikant. Således krævede en 3-log inaktivering en gennemsnitlig CT-værdi på 10.400 min×mg/L for oocyster fra Iowa, mens en CT-værdi på gennemsnitligt 15.300 min×mg/L var nødvendig for 3-log inaktivering af oocyster fra Maine.

TABEL 1. De væsentligste forskelle i forsøgsbetingelserne i de to studier af hhv. Korich et al., 1990 og Shields et al., 2008, som danner baggrund for vejledningen for håndtering af fækale uheld i USA og flere europæiske lande.

	Enhed	Korich et al., 1990	Shields et al., 2008
Foreslået CT-værdi (3-log inaktivering)	mg×min/L	9.600	15.300
Metode		Excystation og infektivitet	Vævskultur
pH		7,0	7,5-7,6

	Enhed	Korich et al., 1990	Shields et al., 2008
Temperatur	°C	25	21-24
Testede koncentrationer af frit klor	mg/L	80	20
Testede behandlingstider		0, 15, 30, 60, 90	0, 420, 480, 600, 720, 780

De to foreslåede CT-værdier fra de to studier varierer temmelig afgørende. En kombination af flere faktorer kan være forklarende for denne variation. Shields et al., 2008 inkluderer meget unge oocyster, og der sås en svag tendens til, at de unge oocyster var mere modstandsdygtige end ældre oocyster. CT-værdien på 15.300 min×mg/L er et gennemsnit af den påkrævede CT-værdi for 3-log inaktivering af 3-5 dage gamle oocyster. Alderen af oocyster kendes ikke i studiet af Korich et al., 1990. Studier, der fokuserer på desinfektion af drikkevand, vil dog ofte inkludere oocyster af mange forskellige aldre for at afspejle transporttid i distributionssystemer.

Et tredje lignende studie har indikeret påkrævet CT-værdi til 3-log inaktivering af oocyster. I dette studie af Driedger et al., 2000 undersøges inaktiveringen af oocyster ved kloring ved forskellige pH-værdier (6, 7,5 og 8,5). Fra data kan ekstrapoleres en CT-værdi på ca. 10.000 min×mg/L ved pH 6,8 ved 20 °C. Til sammenligning var den nødvendige CT-værdi til 3-log inaktivering af oocyster ved en pH-værdi på 7,5 ca. 16.000 mg×min/L. Inaktiveringen blev evalueret med en excystationsundersøgelse. Undersøgelsen påviser sammenhængen imellem desinfektionseffektiviteten og pH.

De to umiddelbart mest betydningsfulde faktorer, som varierer imellem de præsenterede studier er pH-værdien og temperaturen, der samlet påvirker desinfektionseffektiviteten. Sammenlignes en pH-værdi på 7, som anvendes i studiet af Korich et al., 1990 med en pH-værdi på 7,5, som anvendes i studiet af Shields et al., 2008, ses det, at andelen af hypoklorsyre er betydeligt højere ved en pH-værdi på 7 sammenlignet med andelen ved en pH-værdi på 7,5. (ca. 78 % mod 52 % ved 25 °C).

Temperaturen er desuden højere i studiet af Korich et al., 1990 end i både studiet af Shields et al., 2008 og Driedger et al., 2000, hvilket ligeledes bidrager til, at den påkrævede CT-værdi hos Korich et al., 1990 er lavere end i de to øvrige studier. Studiet af Shields et al., 2008 viste dog også, at klorresistensen for oocyster kan variere imellem oocyster af forskellig alder og oprindelse, og det kan ikke udelukkes, at dette ligeledes har betydning for de opnåede resultater.

For cyster fra *Giardia lamblia* er der udledt en ligning til beregning af CT-værdier, som tager højde for både temperatur, pH, kontakttid og klorindhold (WHO, 2004):

$$CT = 0,9847 * C^{0,1758} * pH^{2,7519} * temperatur^{0,1467}$$

Om end ligningen ikke kan overføres direkte til inaktivering af *Cryptosporidium* oocyster, vil der her være en lignende sammenhæng, hvor både klorconcentrationen, pH-værdien og temperaturen har indflydelse på CT-værdien. Det har ikke været muligt i litteraturen at finde en tilsvarende ligning, som kvantitativt beskriver sammenhængen imellem CT-værdi, temperatur, pH og frit klorindhold for oocyster fra *Cryptosporidium*. Bassinvand vil typisk have højere temperatur end temperaturerne, der er inkluderet i laboratoriestudierne præsenteret ovenfor. Det er dog vanskeligt at vurdere, hvad den kvantitative effekt på den påkrævede CT-værdi er.

Med afsæt i de præsenterede laboratoriestudier er der ikke belæg for at lempe kravet til CT-værdi ved chokkloringen i en anbefalet procedure til håndtering af fækale uheld. Såfremt pH-værdien under chokkloring er <7, vil en CT-værdi på 9.600 min×mg/L være tilstrækkelig til 3-log inaktivering af oocyster. Studierne understøtter desuden, at desinfektionseffektiviteten er

korreleret med CT-værdien snarere end med en bestemt behandlingstid og en bestemt klor-koncentration.

6.1.2 Erfaringer og anbefalet praksis ved chokkloring i ind- og udland

De to præsenterede CT-værdier på hhv. 9.600 min×mg/L og 15.300 min×mg/L fra hhv. Korich et al., 1990 og Shields et al., 2008 danner baggrund for forskelligartede anbefalinger i hhv. USA og flere europæiske lande. Vejledningen fra World Health Organization (WHO) lægger sig op ad studiet fra Korich et al., 1990, og en enslydende anbefaling gives for håndtering af både opkast og løse fækaler. Her anbefales det således, at bassinet omgående rømmes, hvorefter fækaler/opkast i videst muligt omfang fjernes manuelt. Herefter anbefales kloring ved 20 mg/L ved pH 7,2-7,5 i 8 timer eller mindst 6 gange omsætningstid. Efter chokkloring anbefales returskyllning af filtre, hvor returskyllevand ledes til kloak. Når normale værdier af frit klor og pH er nået, kan bassinet genåbnes (WHO, 2006).

Centers of Disease Control and Prevention (CDC) i USA anbefalede indtil 2008 en procedure til håndtering af løse fækaler tilsvarende WHO, baseret på Korich et al., 1990. Efter studiet af Shields et al., 2008 ændrede CDC imidlertid den anbefalede procedure i henhold hertil. Efter manuel fjernelse anbefaler CDC således nu, at klorniveauet hæves til et tilstrækkeligt højt niveau og over tilstrækkelig lang tid til, at en CT-værdi på 15.300 min×mg/L opnås. pH-værdien anbefales under chokkloringen at være 7,5 eller derunder. For eksempel vil der ved et indhold af frit klor på 20 mg/L under chokkloring kræves en kontakttid på 12 timer og 45 minutter. Desuden angives det, at chokkloringen optimalt udføres ved en vandtemperatur på 25 °C eller derover (CDC, 2016). Ændringen af den anbefalede procedure fra CDC blev begrundet med særligt det forhold, at der under studiet af Shields et al., 2008 blev anvendt pH-værdier (7,5-7,6), som er mere relevante for bassinvand.

I det følgende redegøres for retningslinjer for chokkloring, som i udvalgte europæiske lande officielt anbefales i forbindelse med chokkloring efter fækal forurening. Tabel 2 opsummerer anbefalet praksis i de omtalte lande.

6.1.2.1 Danmark

I Danmark er der ikke et indgående kendskab til forekomsten af *Cryptosporidium*. Typisk undersøges kun for disse sygdomme i forbindelse med diarré, som er vedvarende, opstået i forbindelse med rejser, eller som rammer immunkompromitterede. Der er desuden ikke pligt til anmeldelse af sygdomstilfælde. Den faktiske forekomst er derfor ikke kendt, men det vurderes bl.a. af Statens Serum Institut, at cryptosporidiose på nuværende tidspunkt er underdiagnosticeret i Danmark. Anvendelse af overfladevand som drikkevand øger risikoen for spredning af *Cryptosporidium* gennem fækal forurening af vandressourcen fra domestisk dyrehold. Risikoen for udbrud af cryptosporidiose er dermed formentlig lavere i Danmark, hvor drikkevand næsten udelukkende produceres fra grundvand.

Der er foretaget kvantitative risikovurderinger af smitte med *Cryptosporidium* og *Giardia* i svømmebade (Miljøstyrelsen, 2006 og Naturstyrelsen, 2015). Studierne har bl.a. beregnet sandsynligheden for infektion med *Cryptosporidium* for forskellige bassintyper. Det er i risikovurderingerne antaget, at sandsynligheden for et fækalt uheld er uafhængigt af risikoen for i givet fald at udskille oocyster. Således forventes det ikke, at personer med diarré går i svømmebad. Risikoen ved løse fækaler er således ikke medtaget i disse studier, idet den antages at blive håndteret optimalt og ikke giver anledning til smitterisiko. Smitterisikoen, som risikovurderingen kvantificerer, repræsenterer således badendes risiko for at blive smittet med oocyster stammende fra fækale uheld med faste fækaler.

Der har, så vidt vides, ikke været tilfælde af udbrud af cryptosporidiose knyttet til fækale uheld i danske svømmebade. Risikoen for smitte med *Cryptosporidium* i svømmebade ved både løse og faste fækaler afhænger givetvis af sandsynligheden for fækale uheld fra en person

smittet med *Cryptosporidium*, idet sygdommen ikke overvåges, og den reelle forekomst er ukendt, vil prævalensen basere sig på en vurdering på baggrund af de data, der foreligger. Undersøgelsen fra 2006 identificerer selv prævalensen af infektionen som den største kilde til usikkerhed i risikovurderingen. I studiet fra 2006, vurderes en prævalens på 2 % for voksne og 3 % for børn. Undersøgelsen skelner desuden imellem svømmebassiner og varmtvandsbassiner og påpeger, at sandsynligheden for fækale uheld er omkring 20 gange større i varmtvandsbassiner end i svømmebassiner. Undersøgelsen fra 2015 bygger videre på undersøgelsen fra 2006 og medtager foruden risikoen ved uheld med faste fækalier smitterisikoen ved badegæsters mangelfulde afvaskning. Her konkluderes, at dette bidrag sandsynligvis er et vigtigere bidrag til smitterisiko med oocyster end fækale uheld (Naturstyrelsen, 2015).

Ved fækale uheld med løse fækalier eller opkast anbefaler den danske kontrolvejledning en procedure baseret på WHO's anbefaling. Ved chokkloring efter den danske vejledning øges frit klor til 20 mg/L og gerne ved en pH-værdi helt ned til 6,8 i 8 timer, dog mindst 6 gange omsætningstiden, svarende til en CT-værdi på 9.600 mg×min/L. Ved en pH-værdi på 6,8 vil langt hovedparten af det frie klorindhold udgøres af hypoklorsyre, og desinfektionseffektiviteten vil dermed være øget sammenlignet med desinfektionseffektiviteten ved pH 7,2-7,5.

De danske kommuner godkender og tilser svømmebade i Danmark. Kommunerne stiller krav om, at svømmebade har en procedure for håndtering af fækale uheld. Hvor nogle kommuner stiller krav om, at kontrolvejledningens anbefalinger på området følges, kræver andre kommuner blot en procedure, som menes at håndtere fækalieforurening på en måde, der sikrer overholdelse af bekendtgørelsens kvalitetskrav.

Praktiske udfordringer og faremomenter knyttet til manuel håndtering af kemikalier har inspireret Københavns Kommune til at undersøge, hvorvidt der kunne være andre muligheder for håndtering af fækale uheld, som muliggør, at kemikaliedoseringen kan håndteres af dose-ringsanlægget. Metoden, som har fundet godkendelse hos tilsynsmyndigheden, er ligeledes baseret på WHO's anbefalede procedure. Dog fastsættes ikke en fast klorkoncentration og en fast behandlingstid. Modellen åbner således op for, at svømmebade kan nedsætte klorkoncentrationen og behandle i længere tid, så længe en CT-værdi på 9.600 mg×min/L opnås. Herved kan manuel håndtering af kemikalier undgås, hvilket man i dette tilfælde har fundet afgørende.

6.1.2.2 Sverige

I Sverige, hvor drikkevand primært produceres fra overfladevand, forventes det, at forekomsten af *Cryptosporidium* er højere end i Danmark. Der er i Sverige dog ikke udfærdiget en risikovurdering for smitte med *Cryptosporidium*. I perioden 2002-2013 har der været flere tilfælde af udbrud af cryptosporidiose både via drikkevand (2 tilfælde) og via bassin vand (3 tilfælde) i svømmebade. Et udbrud af cryptosporidiose, som kunne knyttes til de inficeredes brug af et svømmebad, fandt blandt andet sted i Lidingö i 2002 (Socialstyrelsen, 2014).

I Sverige påpeger Socialstyrelsen i "Bassängbad. Hälsorisker, regler och skötsel", at der ved fækalieuheld bør foreligge rutiner, som sikrer, at vandkvaliteten i bassinet og i tilhørende rensningsanlæg kan opretholdes. Det beskrives på et meget overordnet niveau, at chokkloring kan være nødvendigt ved forhøjet indhold af mikroorganismer, og at chokkloringen kan foretages enten med hypoklorit eller klordioxid separat. Forøgelsen af det frie klorindhold samt behandlingstiden vurderes fra situation til situation. (Folkhälsomyndigheten, 2006). "Bassängbad. Hälsorisker, regler och skötsel" er et dokument, som anvendes af miljø- og sundhedsinspektører m.fl., som kontrollerer svømmebade, tilsvarende den danske "Vejledning om godkendelse af svømmebade" fra 2017 (Miljøstyrelsen, 2017).

Smittskydd Stockholm har imidlertid i 2010 udgivet mere specifikke rutiner til håndtering af fækalieuheld i svømmebade som supplement til "Bassängbad. Hälsorisker, regler och skötsel".

Her skelnes ligeledes imellem faste og løse fækalier, og metoden til håndtering af løse fækalier tager udgangspunkt i anbefalingen fra WHO. Således anbefales det, at det frie klorindhold hæves til 20 mg/L ved pH-værdi 7,2-7,5 i mindst 8 timer. Dog er det tilføjet, at der kan benyttes lavere indhold af frit klor, så længe kontakttiden forlænges, således at en CT-værdi på 9.600 min×mg/L opnås (Smittskydd Stockholm, 2010). Det fremgår ikke, om koncentrationen af frit klor alternativt må øges over en kortere behandlingstid.

6.1.2.3 Tyskland

Miljøstyrelsen i Tyskland (Umweltbundesamt, UBA) beskriver i "Hygieneanforderungen an Bäder und deren Überwachung" en metode til håndtering af synlig fækal forurening i svømmebade. Her skelnes ikke umiddelbart imellem løs og fast fækalieforurening, ligesom der heller ikke foreligger forskellige procedurer for forskellige bassinstørrelser. Efter manuel håndtering af fækalieforureningen anbefales ligeledes en chokkloring.

Chokkloringen udføres ved pH <7,5, og forud for chokkloringen skylles sandfiltre. I tysk sammenhæng beskrives chokkloring som en hævnning af frit klor til 10 mg/L i mindst 2 timer (Umweltbundesamt, 2006). Denne behandling giver anledning til en CT-værdi på blot 1.200 mg×min/L, hvilket er væsentligt lavere end anbefalingen fra både WHO og CDC. Ved litteraturundersøgelsen fandtes ikke eksperimentelt belæg for, at denne CT-værdi skulle være tilstrækkelig til inaktivering af *Cryptosporidium*. Flere tyske delstater henviser til anbefalingen fra de tyske miljømyndigheder, og metoden antages således at være i anvendelse i hovedparten af de tyske svømmebade.

Den bemærkelsesværdigt lave CT-værdi begrundes af de tyske miljømyndigheder med to væsentlige forhold. Der er i 2015 gennemført en risikoanalyse vedrørende *Cryptosporidium* og *Giardia* i tyske svømmebade, og det blev konstateret, at der i 46 bassinprøver a 250 L fra 18 forskellige svømmebade ikke fandtes hverken oocyster fra *Cryptosporidium* eller cyster fra *Giardia*. I samme undersøgelse fandt man i skyllevandet fra vandbehandlingen *Giardia*-cyster i 4/128 og *Cryptosporidium*-oocyster i 3/128 skyllevandsprøver a 10 L (Renner & Feuerpfeil, 2015). På denne baggrund vurderes det af de tyske miljømyndigheder, at forekomsten af parasitterne og dermed risikoen for smitte er tilpas lav. Vandbehandlingsanlæggene i de pågældende svømmebade udgøres i langt de fleste tilfælde af enten sand- eller pulverfiltre efterfulgt af kulfiltre, som i nogle tilfælde er pulverbaserede. De tyske miljømyndigheder påpeger, at effektiv desinfektion opnås i kombination med passende vandomsætning og effektiv bortfiltrering af parasitterne under vandbehandlingen. Der peges desuden på ultrafiltrering som en effektiv teknologi til reduktion af parasitterne, om end denne teknologi ikke på nuværende tidspunkt anvendes i særlig stort omfang i behandlingen af bassinvand.

6.1.2.4 Holland

I Holland er der ligeledes gennemført en undersøgelse af forekomsten af *Cryptosporidium* og *Giardia* i hollandske svømmebade i 2004. Her fandtes døde oocyster eller cyster i 11,8 % af prøverne af returskyllevand fra filtre. Der blev desuden fundet potentielt infektiøse oocyster og cyster i et svømmebassin samt i et børnebassin. Vejledningen til håndtering af fækale uheld fra National Institute of Public Health and Environment (RIVM) i Holland er baseret på studiet af Korich et al., 1990 og anbefaler således også chokkloring ved pH-værdi imellem 7,2 og 7,5, en koncentration af frit klor på 20 mg/L samt en behandlingstid på 8 timer eller minimum 6 gange omsætningstiden. Den hollandske vejledning tillader, at der anvendes andre kombinationer af klorkoncentration og behandlingstid, så længe en CT-værdi på 9.600 min×mg/L opnås. (RIVM, 2012).

TABEL 2. De givne vejledninger i forbindelse med håndtering af fækale uheld ved chokkloring i ind- og udland.

	CT-værdi (mg×min/L)	Koncentration af frit klor, hvis an- givet (mg/L)	Behandlingstid, hvis angivet (minutter)	pH-værdi, hvis angivet
WHO	9.600	20	480 (dog mindst 6 gange omsætningstid)	7,2-7,5
USA (CDC)	15.300	-	-	<7,5
Danmark	9.600	20	480 (dog mindst 6 gange omsætningstid)	6,8
Sverige	9.600	20*	480*	7,2-7,5
Tyskland	1.200	10	120	<7,5
Holland	9.600	20**	480** (3-4 gange omsætningstid)	7,2-7,5

* Der kan benyttes en lavere klorkoncentration, såfremt behandlingstiden øges derefter, således at en CT-værdi på 9.600 min×mg/L opnås.

** Der kan benyttes en anden kombination af klorkoncentration og behandlingstid, så længe en CT-værdi på 9.600 min×mg/L opnås.

6.1.3. Sammenligning

6.1.3.1. Sikkerhedsmæssige aspekter

Svømmebadspersonalet har ikke mulighed for endeligt at vurdere, om et fækalt uheld med løse fækalier er inficeret eller ej. Dette forårsager, at procedurer, der omfatter chokkloring af sikkerhedsmæssige hensyn, antageligvis bliver gennemført flere gange end antallet af faktisk inficerede fækale uheld. På nuværende tidspunkt er der så vidt vides ikke teknologi i anvendelse i svømmebade, som inden for en kort tidshorison (få timer) kan afgøre, hvorvidt et fækalt uheld er inficeret eller ej. Muligheden for at tage en sådan teknologi i brug er derfor ikke medtaget i vurderingen af best practice, om end den, hvis dokumenteret og tilpasset formålet, har potentiale til at nedsætte omkostningerne ved fækale uheld betragteligt.

Sammenlignes eksisterende anvendte metoder til håndtering af fækale uheld med løse fækalier i de udvalgte europæiske svømmebade ses, at chokkloring er det mest udbredte metodevalg. Fordele ved metoden er bl.a., at den sikrer desinfektion af hele vandbehandlingsanlægget, vandmassen, bassinvægge m.m., og at den er lavteknologisk og fleksibel.

De anbefalede chokkloringsprocedurer i hhv. Danmark, Sverige og Holland sikrer alle, at en CT-værdi på 9.600 min×mg/L opnås. I Holland og Sverige er der mulighed for at anvende forskellige kombinationer af behandlingstid og koncentration af frit klor, hvorimod den danske kontrolvejledning angiver en behandlingstid på 8 timer (dog minimum 6 gange omsætningstid) og en koncentration af frit klor på 20 mg/L. En CT-værdi på 9.600 min×mg/L er jf. Korich et al., 1990 nødvendig for at opnå 3-log inaktivering af oocyster.

På baggrund af litteraturstudiet anses det for lige så optimalt at opretholde en koncentration af frit klor på 10 mg/L i 16 timer som hhv. 20 mg/L i 8 timer, 50 mg/L i 3 timer og 12 minutter eller andre kombinationer. Det er altså ift. desinfektionseffektiviteten ikke afgørende, at der chokklores ved netop 20 mg/L i netop 8 timer.

Efter tysk vejledning til chokkloring opnås en CT-værdi på 1.200 mg×min/L. På baggrund af litteraturstudiet vurderes det ikke sandsynligt, at denne behandling er tilstrækkelig til inaktive-

ring af oocyster. Sandfiltre i vandbehandlingsanlægget vil dog bortfiltrere en andel af de tilstedeværende oocyster, men denne behandling sikrer ikke inaktivering af oocyster i vandbehandlingsanlæg, på bassinvægge m.m. inden for den relevante tidsramme. Det kan på denne baggrund ikke anbefales, at CT-værdien ved chokkloring sænkes til et niveau under 9.600 min×mg/L som i Tyskland.

WHO, danske og hollandske miljømyndigheder angiver i deres respektive vejledninger, at chokkloringen skal pågå i minimum hhv. 6 gange omsætningstid og 3-4 gange omsætningstid. Denne type anbefalinger findes ikke i den svenske, den amerikanske og den tyske vejledning. Chokkloringen vil inaktivere tilstedeværende oocyster og uskadeliggøre dem ift. badende, hvor omsætning og filtrering vil fjerne oocysterne fysisk. Moderne sandfiltre tilbageholder effektivt (>99 %) oocyster (Naturstyrelsen, 2016), og 6 gange omsætningstid vil derfor teoretisk resultere i fjernelse af en meget stor andel af oocyster. Efter den gældende danske kontrolvejledning betyder kravet om 6 gange omsætningstid, at bassiner med omsætningstider længere end 1 time og 20 minutter chokklorer i længere tid, end 3-log inaktivering af oocyster kræver.

Personalets sikkerhed under udførelse af proceduren bør ligeledes være en vigtig parameter i metodevalget. Flere svømmebade har udtrykt bekymring over kravet om manuel håndtering af store mængder kemikalier i forbindelse med den nuværende procedure for chokkloring. Ved et almindeligt svømmebad på 25 m med 6 baner skal normalt anvendes ca. 100 liter 15 % natriumhypoklorit for at hæve det frie klorindhold i bassinvandet til 20 mg/L. Ved et 50 m konkurrencebassin skal der tilsættes mellem 300 og 500 liter. Det er således store mængder kemikalier, som skal tilvejebringes og håndteres. Derudover foreligger risikoen for frigivelse af det frie klor som klorgas, hvis pH-værdien i bassinet kommer under 4. Ovenstående understreger, at det kræver solid faglig indsigt at gennemføre chokkloring efter den nuværende procedure, og personalet skal være grundigt instrueret i proceduren for chokkloring for at kunne gennemføre denne sikkerhedsmæssigt forsvarligt.

Behovet for manuel håndtering af kemikalier skyldes, at flere doseringsanlæg ikke kan indstilles til det niveau, kontrolvejledningen foreslår. For nogle svømmebade vil det være af sikkerhedsmæssig stor betydning, at elektrolyseanlægget kan anvendes til dosering af klor ved håndteringen af fækale uheld frem for den manuelle dosering. Dette vil mindske risikoen for kemikalieuheld under udførelse af proceduren.

Hvor den svenske vejledning umiddelbart ikke lægger op til chokkloring ved højere klorconcentration over en kortere behandlingstid, så længe en CT-værdi på 9.600 min×mg/L opnås, er dette en mulighed efter den hollandske vejledning. Den danske vejledning beskriver chokkloring ved væsentlige overskridelser af krav til kimtal som "overkloring til frit kloroverskud på 20-50 mg/L". Chokkloring ved op til 50 mg/L vurderes at kunne foretages ligeså sikkerhedsmæssigt forsvarligt for svømmebadspersonalet som chokkloring ved 20 mg/L, hvis personalet er grundigt instrueret heri.

6.1.3.2 Økonomiske aspekter

Fækale uheld vil uundgåeligt have økonomiske konsekvenser for et svømmebad. Omkostningerne ved et fækalt uheld med løse fækalier afhænger af en lang række parametre, herunder svømmebadets størrelse, antallet af bassiner, der skal holdes lukket, bassinstørrelsen, klorconcentrationen under chokkloring, vandbehandlingsanlæggets størrelse m.v. For at beregne den økonomiske indvirkning, er der udarbejdet en formel på baggrund af et gennemsnitligt forbrug af de forskellige kemikalier, som anvendes til chokkloring pr. m³ bassinvand i ultimo 2018-priser. Formlen antager en CT-værdi på 9.600 mg×min/L.

Omkostning ved chokkloring

$$Omk. = k \times V_{bassin} \times Cl_{hævet} + Omk_{.time} \times t_{lukke} + Omk_{.returskyl}$$

hvor:

Omk. = den totale omkostning ved håndtering af det fækale uheld med løse fækalier (DKK).

$k = 0,243$. konstant for anvendt klor, syre, antiklor og lud (ultimo 2018-priser) (DKK/m³/(mg/L))

V_{bassin} = volumen af bassinet (m³)

$Cl_{hævet}$ = koncentrationen af frit klor under chokkloringen (mg/L)

$Omk_{.time}$ = omkostninger forbundet med nedlukning (f.eks. tab af indtjening, følgeomkostninger m.m.) (DKK).

t_{lukke} = lukketid beregnet som $160/Cl_{hævet}$ + bundsugningstid + opkloringstid + afkloringstid + returskylletid (timer).

$Omk_{.returskyl}$ = omkostninger forbundet med returskyl (herunder skyllevand, filterpulver, CIP-væske m.m.) (DKK).

Til eksemplificering er der i det følgende taget udgangspunkt i et svømmebassin med et volumen på 710 m³, en omsætningstid på 3,2 timer, et sandfilteranlæg med 11,5 m² filterareal og et kulfilterareal på 1,4 m². Der regnes desuden med en gennemsnitlig vandpris på 66 DKK/m³. Disse antagelser er gældende for følgende eksempler.

TABEL 3. Beregning af total omkostning ved håndtering af et fækalt uheld med løse fækalier, som håndteres efter den nuværende vejledning (dvs. opretholdelse af en koncentration af frit klor på 20 mg/L i 8 timer eller dog mindst 6 gange omsætningstid).

Eksempel	Procedure ved håndtering	Antagelser	Total omkostning
1	Nuværende vejledning med krav om mindst 6 gange omsætningstid	$t_{lukke} = 24,6$ timer $Omk_{.time} = 5.000$ DKK $Omk_{.returskyl} = 6.500$ DKK $Cl_{hævet} = 20$ mg/L	132.950 DKK

I Eksempel 1 (Tabel 3) er omkostningerne ved håndtering af et fækalt uheld med løse fækalier ved chokkloring af det pågældende bassin efter den nuværende danske vejledning beregnet. Indholdet af frit klor øges til 20 mg/L i 8 timer, dog mindst 6 gange omsætningstid. I dette tilfælde svarer 6 gange omsætningstid til 19,2 timer. Scenariet i svømmebadet vurderes da at give anledning til en total omkostning på 132.950 DKK.

Sverige og USA har ikke et minimumskrav om antallet af omsætningstider, chokkloringen skal pågå. I det chokkloring ved en CT-værdi på 9.600 min×mg/L sikrer inaktivering af oocyster, anses metoderne dog stadig for at være sikre. For bassiner af en vis størrelse (med en vis omsætningstid) vil fjernelse eller lempelse af kravet give anledning til større besparelser for svømmebadet. I eksempel 2 (Tabel 4) regnes på den totale omkostning ved håndtering af løse fækalier med en metode, hvor der ikke stilles krav til antallet af omsætningstider, chokkloringen skal påstå. Der chokklores i eksemplet således kun i netop 8 timer ved 20 mg/L, så CT-værdien på 9.600 min×mg/L er opnået.

TABEL 4. Beregning af den totale omkostning ved håndtering af et fækalt uheld med løse fækalier efter den nuværende vejledning, dog uden et krav om, at chokkloringen skal påstå i minimum 6 gange omsætningstid.

Eksempel	Procedure ved håndtering	Antagelser	Total omkostning
2	Nuværende vejledning uden krav om mindst 6 gange omsætningstid.	$t_{\text{lukke}} = 13,7$ timer Omk. _{time} = 5.000 DKK Omk. _{returskyl} = 6.500 DKK $C_{\text{hævet}} = 20$ mg/L	78.450 DKK

Fjernes kravet om varighed af chokkloring på minimum 6 gange omsætningstid, kan der altså for det pågældende bassin opnås en besparelse på 54.500 DKK.

Ovenstående eksempler viser, at lukketiden er en meget betydningsfuld faktor ift. den samlede omkostning ved håndtering af et fækalt uheld. Lukketiden er påvirket dels af kravet om varighed af chokkloring på minimum 6 gange omsætningstid, men også af, hvilken klorkoncentration der kan anvendes under chokkloringen. Den svenske og i særdeleshed den hollandske vejledning giver mulighed for at variere koncentrationen af frit klor under chokkloringen, så længe behandlingstiden justeres tilsvarende, så en CT-værdi på 9.600 min×mg/L opnås.

Denne mulighed kan give anledning til scenarier, hvor en kort chokkloring ved høj koncentration (50 mg/L) anvendes. Dette kunne f.eks. være relevant for stærkt besøgte svømmebade, som mister stor indtjening på nedlukning. Et sådant eksempel er der regnet på i Eksempel 3 (Tabel 5). En chokkloring ved 50 mg/L efter en CT-værdi på 9.600 min×mg/L vil således give anledning til en omkostning på 295.127 DKK. Efter den nuværende vejledning ville et tilsvarende scenarie give anledning til en omkostning på 669.950 DKK (Eksempel 3.1).

TABEL 5. Beregning af den totale omkostning ved håndtering af et fækalt uheld med løse fækalier ved chokkloring med hhv. 50 mg/L frit klor uden krav om mindst 6 gange omsætningstid (Eksempel 3), nuværende procedure (dvs. 20 mg/L frit klor med krav om mindst 6 gange omsætningstid) (Eksempel 3.1), og 5 mg/L uden krav om mindst 6 gange omsætningstid (Eksempel 4).

Eksempel	Procedure ved håndtering	Antagelser	Total omkostning
3	Chokkloring ved 50 mg/L uden krav om mindst 6 gange omsætningstid.	$t_{\text{lukke}} = 11,2$ timer Omk. _{time} = 25.000 DKK Omk. _{returskyl} = 6.500 DKK $C_{\text{hævet}} = 50$ mg/L	295.127 DKK
3.1	Nuværende vejledning med krav om mindst 6 gange omsætningstid	$t_{\text{lukke}} = 26,4$ timer Omk. _{time} = 25.000 DKK Omk. _{returskyl} = 6.500 DKK $C_{\text{hævet}} = 20$ mg/L	669.950 DKK
4	Chokkloring ved 5 mg/L uden krav om mindst 6 gange omsætningstid	$t_{\text{lukke}} = 38$ timer Omk. _{time} = 5000 DKK Omk. _{returskyl} = 6.500 DKK $C_{\text{hævet}} = 5$ mg/L	197.363 DKK

Muligheden for at variere klorkoncentrationen og behandlingstiden giver dog også mulighed for, at svømmebade kan vælge at choklore ved lav koncentration over en lang behandlingstid, hvilket muliggør automatisk dosering af klor. Givetvis øges den økonomiske omkostning herved, men kan være at foretrække for nogle svømmebade. Omkostningerne ved at choklore ved 5 mg/L til en CT-værdi på 9.600 min×mg/L er således 197.363 DKK som beregnet i Eksempel 4 (Tabel 5).

7. Supplerende vandbehandling

I vandbehandlingsanlægget kan en række teknologier bidrage til fjernelse og inaktivering af *Cryptosporidium* og *Giardia*. Disse anses dog samlet set som supplementer til chokkloring.

Dette skyldes til dels en forudsætning om, at håndteringen af fækale uheld foregår på en måde, som sikrer, at hele vandmassen er hygiejnisk sikker. Dette kræver, at inaktivering/fjernelsen af oocyster og cyster nødvendigvis må foregå fra hele vandmassen fra de(t) pågældende bassin(er). I recirkuleringen af bassinvand er der risiko for 'døde zoner', dvs. områder i bassinet, hvorfra vandet ikke recirkuleres effektivt til vandbehandlingsanlægget. Desuden anvendes nogle af de supplerende teknologier kun på en delstrøm.

Oocyster og cyster kan formentlig efter et fækkalt uheld findes ikke blot i vandmassen, men også afsat i biofilm på bassinvægge og -gulve, i rørsystemet, i udligningstanke m.v. Afsætning og tilbageholdelse af oocyster i biofilm er en velkendt problematik fra drikkevandssystemer (Searcy et al., 2006). Oocyster, som tilbageholdes i biofilm i bademiljøet vil ikke blive berørt af teknologier, som alene indgår i vandbehandlingsanlægget (filtrering, ozonering, UV-behandling). Dette afspejles ligeledes i den eksisterende kontrolvejlednings procedure, hvor det anbefales, at hele anlægget inkl. vandbehandlingsanlægget desinficeres ved chokkloring ved fækale uheld i mindre bassiner. Chokkloring er dermed nødvendig som hovedbehandling, idet både vandbehandlingsanlægget og det resterende bademiljø herved desinficeres.

7.1 Filtrering

Den absolut mest gængse behandling af bassinvand i Danmark og internationalt omfatter filtrering med sandfiltre. Alternativt anvendes pulver- eller tromlefiltre. Kontinueret recirkulering af bassinvand sikrer, at vandmassen løbende renses for partikulær forurening. Sandfiltre, pulverfiltre og tromlefiltre har således en vis kapacitet til at tilbageholde oocyster og cyster, hvilket også bekræftes af de omtalte fund af oocyster i returskyllevand fra sandfiltre.

Vandmassen tilsættes inden sandfiltrering flokkuleringsmiddel. Ved tilsætning af flokkuleringsmiddel vil små partikler koagulere til større, hvorved effektiviteten ved filtrering øges. Der er gennemført flere forsøg, hvor tilbageholdelsen af oocyster i filtre (sandfiltre, pulverfiltre, membranfiltre, glasfiltre m.v.) er blevet vurderet. I forsøgene anvendes ofte plasticpartikler af samme størrelse (ca. 5 µm) som oocyster frem for oocyster. Sandfiltrering efter optimal flokkulering har i flere studier vist en tilbageholdelse på >99 %. Det er dog også påvist, at sandfiltreringen er mindre effektiv i tilbageholdelsen af partikler umiddelbart efter returskylling af sandfiltret (Naturstyrelsen, 2016).

Med baggrund i ovenstående forventes det, at sandfiltrene i stort omfang er i stand til fjerne oocyster fra bassinvandet under vandbehandlingen. Ved sandfiltrering kan filtreringseffektiviteten dog variere over tid og er særdeles afhængig af filterets drift og vedligeholdelse. Den hygiejniske sikkerhed afhænger desuden af, at hele vandmassen når vandbehandlingsanlægget. Endelig giver filtreringsteknologier i vandbehandlingsanlægget ikke sikkerhed for, at oocyster i det resterende svømmebadsmiljø fjernes. Med afsæt i dette kan det derfor ikke anbefales, at filtrering anvendes som det primære værn mod smitte med *Cryptosporidium* og *Giardia*.

7.2 UV- og ozonbehandling

UV- og ozonbehandling anvendes i et begrænset antal svømmebade til reduktion af bundet klor. Teknologierne anvendes hovedsageligt som supplerende behandling i en delstrøm, om end der også er tilfælde, hvor hovedstrømmen behandles med UV eller ozon. Foruden evnen til at rense vandet for bundet klor har både UV- og ozonbehandling potentiale til at desinficere den passerende delstrøm. Desinfektionen med UV- og ozonbehandling kan effektivt inaktivere oocyster fra *Cryptosporidium* og cyster fra *Giardia*.

I forbindelse med håndtering af fækale uheld, har teknologierne dog deres begrænsninger, hvorfor de kun anvendes som supplement til chokkloring. Dels anvendes teknologierne hovedsageligt på en delstrøm af hovedstrømmen, hvorfor mange gange omsætningstid er påkrævet, for at hele vandmassen teoretisk er behandlet. Dels gælder det som for filtreringsteknologierne, at det resterende svømmebadsmiljø ikke desinficeres gennem UV-/ozonbehandling af den passerende vandstrøm i vandbehandlingsanlægget.

7.3 Desinfektion med klordioxid

Klordioxid har en stærkere oxiderende og desinficerende effekt end både hypoklorsyre og hypokloritioner og kan derfor effektivt bidrage til inaktivering af oocyster og cyster fra *Cryptosporidium* og *Giardia*. Anvendelse af klordioxidtabletter er blevet testet i laboratorieskala i et studie af Murphy et al., 2014. Her blev klordioxid alene samt klordioxid i kombination med frit klor testet for evnen til at inaktivere oocyster. Klordioxid blev anvendt i koncentrationen 5 mg/L, mens koncentrationen af frit klor var øget til 2,6 mg/L. Ved disse forsøg fandt man, at 3-log inaktivering af oocyster krævede kontakttider på hhv. 128 minutter og 105 minutter for klordioxid alene og kombinationsdesinfektion respektivt. Forsøgene blev ligeledes udført med lavere koncentrationer af klordioxid (1,4 mg/L) kombineret med frit klor (3,6 mg/L), hvilket resulterede i en påkrævet kontaktid på 294 minutter. Til sammenligning simulerede man i studiet chokkloring ved 21 mg/L frit klor ved pH-værdier på 7,5, hvilket i dette studie krævede en kontaktid på 455 minutter for 3-log inaktivering af oocyster (Murphy et al., 2014).

Klordioxid anvendes på nuværende tidspunkt i flere lande i meget lave doser i kombination med klor som almindelig desinfektion af bassinvand. Der er meget få eksempler på, at desinfektion med klordioxid anbefales direkte som alternativ til alle de ovenfor beskrevne procedurer baseret på frit klor. I New South Wales i Australien kan svømmebade dog anvende desinfektion med klordioxid til en CT-værdi på 70 min×mg/L som alternativ til chokkloring med frit klor til en CT-værdi på 15.300 min×mg/L (NSW Government, 2015).

Anvendelse af klordioxid ville kunne nedbringe behandlingstiden drastisk efter fækale uheld. Klordioxid er dog en giftig forbindelse. Anvendelse kræver således, at man kan opretholde en sikker afstand imellem det nødvendige niveau ved håndtering af fækale uheld og et niveau, hvor der kan opstå sundhedsskadelige effekter hos badende og personale. På nuværende tidspunkt er det jf. bekendtgørelsen kun tilladt at bruge klor til desinfektion, hvorfor anvendelse af klordioxid ydermere vil kræve en ændring i bekendtgørelsen.

7.4 Opsamling

Filtrering indgår i vandbehandlingen som teknologi til partikelfjernelse fra hovedstrøm og har stort potentiale til at tilbageholde oocyster fra den passerende vandmasse. Nogle svømmebade anvender UV- eller ozonbehandling til fjernelse af bundet klor, men teknologierne inaktiverer ligeledes effektivt oocyster og cyster. Teknologierne anvendes enten i del- eller hovedstrøm. De præsenterede teknologier betragtes dog som supplerende til chokkloringen, idet chokkloring kræves for at inaktivere oocyster afsat på f.eks. bassinvægge og i det resterende vandbehandlingsanlæg.

8. Vurdering af best practice

8.1 Best practice

På baggrund af det gennemførte litteraturstudie, er en vurdering af best practice foretaget. Ved fækale uheld med løse fækalier skal der udføres chokkloring for at sikre tilstrækkelig desinfektion af bassinvand, bassinvægge og vandbehandlingsanlæg. Forinden chokkloringen skal pH-værdien indstilles til $\geq 6,8$ - ≤ 7 . Der skal ved chokkloringen opnås en CT-værdi på $9.600 \text{ mg} \times \text{min/L}$.

Dette kan opnås f.eks. ved at opretholde en koncentration af frit klor på 20 mg/L over 8 timer. Det er muligt at anvende andre kombinationer af koncentration af frit klor og behandlingstid, så længe en CT-værdi på $9.600 \text{ min} \times \text{mg/L}$ opnås. Der kan anvendes koncentrationer af frit klor i intervallet ≥ 5 - $\leq 50 \text{ mg/L}$.

Anvendes der koncentrationer af frit klor, som kræver manuel håndtering af kemikalier, er det særligt vigtigt, at svømmebadspersonalet er grundigt instrueret heri.

Ovenstående udgør de generelle forhold vedr. anbefalingen til håndtering af fækale uheld med løse fækalier i svømmebade.

8.2 Begrundelse

Ovenstående anbefaling til håndteringen af fækale uheld er givet ud fra følgende ræsonnementer:

- Der er behov for chokkloring til håndtering af fækale uheld for at sikre, at oocyster i bassinvand, bassin og i vandbehandlingsanlægget inaktiveres. Dette gælder uanset bassinstørrelse og -type.
- Chokkloring efter en CT-værdi på $9.600 \text{ min} \times \text{mg/L}$ er tilstrækkelig til at inaktivere og uskadeliggøre oocyster, hvis pH-værdien holdes inden for intervallet $\geq 6,8$ til ≤ 7 .
- Forskellige kombinationer af koncentration af frit klor og behandlingstid kan sikre inaktivering af oocyster, så længe en CT-værdi på $9.600 \text{ min} \times \text{mg/L}$ opnås.
- Lukketiden ved håndtering af fækale uheld kan være en afgørende økonomisk faktor for et svømmebad. Chokkloringen bør derfor ikke pågå længere tid, end hvad der er nødvendigt for inaktivering af oocyster.
- I nogle situationer er der behov for mulighed for at gennemføre chokkloring ved brug af automatisk dosering, dvs. ved lavere koncentrationer af frit klor over en længere behandlingstid. I andre situationer er det afgørende, at proceduren kan gennemføres inden for en kortere periode, hvor velinstrueret personale gennemfører chokkloringen ved høje koncentrationer af frit klor ($20\text{-}50 \text{ mg/L}$). Af sikkerhedsmæssige grunde er det hensigtsmæssigt at have en øvre grænse for koncentrationen af frit klor. 50 mg/L er valgt som øvre grænse med henvisning til nuværende kontrolvejlednings beskrivelse af chokkloring.
- Flexibilitet i anbefalingen er af værdi, idet den giver det pågældende svømmebad mulighed for at handle på en måde, der ikke går på kompromis med sikkerheden, men tager hensyn til økonomi, personalekvalifikation og kontekst.

9. Test af best practice

Best practice, som vurderet på baggrund af litteraturstudiet, blev i projektet afprøvet med henblik på at sikre procedurens anvendelighed samt de praktiske og sikkerhedsmæssige aspekter ved udførelse af proceduren. For at belyse både opkloring ved brug af det automatiske reguleringsudstyr og ved en manuel opkloring, er der opkloret med det automatiske udstyr op til 5 mg/L og herefter manuelt opkloret til 50 mg/L.

Hvis chokkloring efter et uheld med løse fækallier ønskes håndteret ved automatisk dosering og ved en koncentration af frit klor på 5 mg/L, vil denne koncentration skulle opretholdes i 32 timer for at opnå en CT-værdi på 9.600 min×mg/L. Udføres chokkloringen manuelt og ved en koncentration af frit klor på 50 mg/L, skal denne opretholdes i 3 timer og 12 minutter for at opnå en CT-værdi på 9.600 min×mg/L. I forbindelse med testen var fokus på praktiske og sikkerhedsmæssige aspekter ved opkloring og afkloring. Under testen har man af denne grund ikke opretholdt koncentrationerne i de påkrævede tidsintervaller.

9.1 Beskrivelse af test

Testen af den foreslåede procedure blev foretaget i terapibassinet i Svømmehallen Bolbro i Odense. Bassinet har et samlet vandvolumen på ca. 96 m³ og en tilhørende omsætningstid på ca. 0,9 timer.

Forud for chokkloringen blev hovedfilteranlægget samt kulfiltre returskyllet efter badets normale skylleprocedure. Hovedfilteranlægget blev efterfølgende sat i normaldrift, mens kulfiltrrets til- og afgangsventiler blev lukket. Bassinpumpen var i drift med en cirkulerende vandstrøm svarende til normaldrift.

Under opkloring (automatisk og manuel) var pH-værdien i intervallet $\geq 6,8$ til $\leq 7,6$. pH-justering blev foretaget med 20% svovlsyre ved hjælp af svømmebadets syredoseringspumpe samt med 27% natriumhydroxid, som doseredes ved hjælp af otal-hævert og justerbar slangeklemme. Der blev anvendt klorelektrolyse ved automatisk dosering (ca. 2% opløsning). Ved manuel opkloring anvendtes natriumhypoklorit (15%).

Opkloring ved hjælp af det automatiske reguleringsudstyr til en koncentration af frit klor på 5 mg/L blev foretaget. Efterfølgende blev manuel opkloring fra en koncentration af frit klor på 5 mg/L til en koncentration på 50 mg/L gennemført. Forinden opkloring blev tilgangsventilen til klorreguleringsudstyrets tilgangsventil til målecellen ved det automatiske klor- og pH-reguleringsudstyr lukket. Ved dosering af natriumhypoklorit anvendtes otal-hævert og justerbar slangeklemme. Herved kan doseringsmængden over tid reguleres. Dosering af både natriumhypoklorit (opkloring) og natriumthiosulfat (afkloring) foregik umiddelbart over en bundindløbsdyse placeret midt i bassinet for at sikre bedst mulig opblanding. Under opkloringen blev der løbende målt værdier for hhv. frit klor og pH.

Efter chokkloring til en koncentration af frit klor på 50 mg/L blev der gennemført en afkloring af bassinet. Tilgangen til målecellen på det automatiske klor- og pH-reguleringsudstyr holdtes lukket under afkloring. Ligeledes var der under afkloring ikke vandtilførsel til kulfilteret.

pH under afkloring var justeret til 7,2-7,4 ved manuel tilførsel af 27% natriumhydroxid. Afkloring blev foretaget ved manuel dosering af natriumthiosulfat (antiklor) ved hjælp af otal-hævert og justerbar slangeklemme. Antiklor blev afvejet og opløst fuldstændigt i vandværksvand og herefter doseret. Under afkloringen blev der løbende målt værdier for hhv. frit klor og pH.

Ved testens afslutning, blev klorkoncentration og pH-værdi (gældende under normaldrift for det pågældende bassin) opnået. Kulfilteranlægget blev sat i normaldrift, og der åbnes for tilgang til målecelle på klor- og pH-reguleringsudstyr. Da dette viste korrekt klor- og pH-værdier blev automatiske klor- og syredoseringspumper tilsluttet.

Ved håndtering af natriumhypoklorit, svovlsyre, natriumhydroxid og antiklor blev anvendt foreskrevne personværnemidler i form af sikkerhedshandsker, forklæde, ansigtssvævn, gummistøvler. Desuden var der under testen let adgang til klogasmaske, øjensskylleflasker og rindende vand.

9.2 Erfaringer fra gennemførelse af test

Ved afprøvning af best practice var fokus på opklaring af et bassin ved hhv. automatisk dosering (5 mg/L) og manuel dosering (50 mg/L) samt afklaring.

Der blev under testen ikke oplevet problemer ift. den praktiske udførelse af hverken den automatiske dosering eller den manuelle dosering af natriumhypoklorit. Et meget vigtigt element i udførelsen af proceduren, hvad enten dosering foregår automatisk eller manuelt, er kontrol med pH-værdien i bassinvandet under opklaring og afklaring.

Ved tilsætning af syre og antiklor vil bassinets pH-værdi reduceres. Utilstrækkelig kontrol med pH-værdien kan i disse tilfælde føre til frigivelse af klogas. Under opklaring og afklaring er det derfor af meget stor vigtighed, at pH-værdien løbende måles og justeres. Under opklaringen skal pH-værdien være i intervallet $\geq 6,8$ til $\leq 7,6$. Under selve chokkloringen skal pH-værdien holdes inden for intervallet $\geq 6,8$ til ≤ 7 . Da tilsætning af antiklor vil reducere pH-værdien, er det vigtigt, at pH-værdien inden tilsætning af antiklor opjusteres, så den er inden for intervallet $\geq 7,2$ til $\leq 7,4$.

Vigtigheden af at kontrollen med pH udføres korrekt, samt at der for svømmebadsanlægget er udarbejdet en beredskabsplan for klorudslip, er afgørende for en sikker gennemførelse af chokkloring for såvel personale som omkringliggende områder. Denne bemærkning knytter sig ikke særligt til den foreslåede procedure, men gælder i ligeså høj grad for den nuværende procedure (kontrolvejledningen).

Under hele testforløbet kunne der ikke registreres øget klorkoncentration i badet. Det understreges dog, at der under testen ikke blev foretaget arbejdsmiljørelaterede målinger af luft over svømmebadet. For at et højt niveau af sikkerhed for personalet kan opnås, er det afgørende, at personalet benytter sig af personlige værnemidler ved håndtering af kemikalier.

I forbindelse med testen af proceduren blev tidsforbruget til procedurens forskellige elementer registreret (Tabel 6).

TABEL 6. Tidsforbrug for elementer i den foreslåede procedure.

Element	Medgået tid
Automatisk dosering af klor samt pH-justering	73 minutter
Manuel dosering af klor samt pH-justering	119 minutter
Manuel dosering af antiklor samt pH-justering	122 minutter
Indregulering og opstart af bassin	60 minutter

På baggrund af disse erfaringer er der udarbejdet estimater for de påkrævede lukketider efter uheld med løse fækcalier i et svømmebad ved anvendelse af følgende metoder (Tabel 7).

- Automatisk styret klordosering op til 5 mg/L
- Manuel dosering af klor op til 20 mg/L
- Manuel dosering af klor op til 50 mg/L

TABEL 7. Estimeret tidsforbrug for elementer i den foreslåede procedure.

	Automatisk dose- ring til 5 mg/L	Manuel dosering til 20 mg/L	Manuel dosering til 50 mg/L
Handling	Medgået tid (ti- mer)	Medgået tid (ti- mer)	Medgået tid (ti- mer)
Bundsugning med samtidig returskylning af sand- og aktivt kulfilter	0,5	0,5	0,5
Klordosering inkl. returskylning af sand- og aktivt kulfilter	1,5	1,5	2,5
Desinfektionstid	32	8	3,2
Antiklorning inkl. pH-justering	0,5	1	2
Indregulering og opstart af bassin	1	1	1
Antal timer hvor bemanning er påkrævet, minimum	3,5*	4*	6*
Antal timer hvor bassinet er lukket, minimum	35,5	12	9,2

* Medgået tid til opfølgende kontrolmålinger af hhv. klor- og pH-værdier i desinfektionstiden er ikke medregnet her, idet klorforbruget i desinfektionsperioden i høj grad er afhængigt af bassintypen. Frekvensen af kontrolmålinger bør fastsættes i hvert enkelt tilfælde, så det sikres, at krav til CT-værdien overholdes.

Den tid som medgår til udførelse af procedure for håndtering af fækalforurenede bassinvand er i høj grad afhængig af bassinets volumen og tilhørende omsætningstid og af hvorvidt der stilles krav til at en desinfektionstid som minimum svarer til 6 gange omsætningstiden. Desuden har graden af den rutine som personalet har oparbejdet i håndtering af fækalforurenede bassinvand stor betydning for udførelsestiden.

Af Tabel 7 fremgår det, at metodevalget har stor betydning for den påkrævede lukketid samt for den tid, hvor bemanning er påkrævet i svømmebadet.

10. Anbefalet metode

De samlede erfaringer fra litteraturstudiet og afprøvning af den foreslåede metode i Svømmehallen Bolbro har skabt grundlag for en vurdering af, hvordan håndtering af fækale uheld med løse fækalier bedst kan håndteres under hensyntagen til sikkerhed for badende og personale, økonomi og praktiske omstændigheder.

Best practice, som vurderet på baggrund af litteraturstudiet, imødekommer behov for sikkerhed for badende og personale og giver en efterspurgt mulighed for fleksibilitet i responsen på fækale uheld med løse fækalier. Metodens anvendelighed blev evalueret ved at afprøve denne med et fokus på manuel opklaring og afløring, som potentielt kan indebære sikkerhedsrisikoer og praktiske vanskeligheder for personalet. Desuden blev tidsforbruget under de forskellige delelementer af metoden registreret.

I gennemførelsen af den i litteraturstudiet anbefalede metode, fandtes det, at både den automatiske opklaring til 5 mg/L og den manuelle opklaring til 50 mg/L samt den efterfølgende afløring kunne gennemføres uden øget risiko for svømmebadets personale. Forudsætningen for dette er imidlertid passende uddannelse af personale, grundig praktisk vejledning og brug af foreskrevne personlige værnemidler.

10.1 Anbefalet metode til håndtering af fækale uheld med løse fækalier eller opkast

Ved uheld med løse fækalier eller opkast skal der udføres en chokkløring af såvel bassin som vandbehandlingsanlæg.

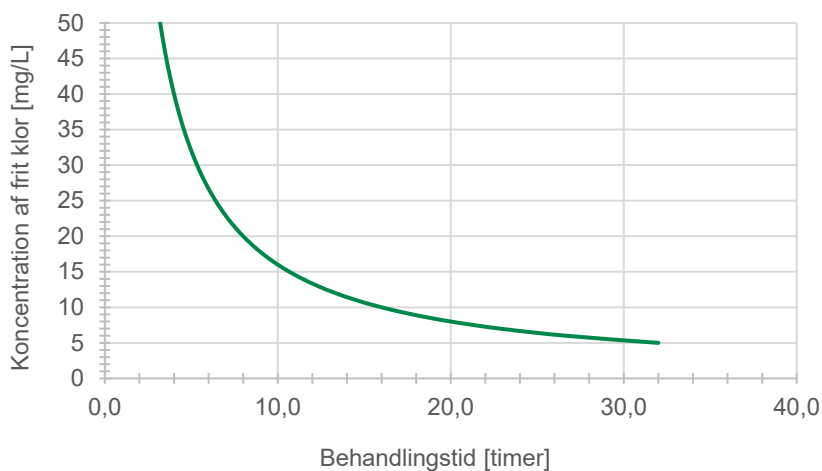
10.1.1 Forud for chokkløring

- Bassinet skal rømmes for badende. Der skal træffes foranstaltninger, som sikrer, at bassinområdet holdes lukket for publikum, og om nødvendigt skal hele svømmeanlægget lukkes. Bassinet må først tages i brug, når hele proceduren for håndtering af fækalforurening er afsluttet.
- Mest muligt af materialet (fækalier eller opkast) skal fjernes med net og ved det centrale bundsugeranlæg eller selvkørende bundsuger. I begge tilfælde skal returvand fra bundsugning ledes til kloak.
- Hovedfilteranlægget returskylles efter normal skylleprocedure, hvorefter filteranlægget sættes i normaldrift.
- Evt. aktive kulfiltre returskylles efter normal skylleprocedure, hvorefter kulfiltrenes til- og afgangsventiler lukkes.
- Evt. UV-anlæg og AOP-anlæg afbrydes elektrisk. Der må ikke lukkes for vandgennemstrømningen i UV-/AOP-anlæggene.

10.1.2 Chokkløring

- Bassinet og alle øvrige overflader, som har været i kontakt med det fækalforurenede vand, herunder anlæg med vandruksjebaner, massagedyser m.m., skal desinficeres ved chokkløring. Banetove, svømmeplader, legetøj m.m., som har været i kontakt med det forurenede bassinvand, skal forblive i bassinet, idet disse også skal desinficeres.
- Når chokkløringen pågår, skal krav om en CT-værdi på $\geq 9.600 \text{ min} \times \text{mg/L}$ overholdes. Valg af klorværdi under chokkløring skal ligge i intervallet $\geq 5 \text{ mg/l}$ og $\leq 50 \text{ mg/l}$ (Figur 1). Valg af pH-værdi under chokkløring skal ligge i intervallet $\geq 6,8$ - $\leq 7,0$.

Kombinationer af koncentration af frit klor og behandlingstid, der sikrer $CT = 9.600 \text{ min} \times \text{mg/L}$



Figur 1. Kombinationer af behandlingstid (3,2 – 32 timer) og koncentrationer af frit klor (5-50 mg/L), der sikrer, at der ved chokkloring opnås en CT-værdi på 9.600 min×mg/L.

- Under dosering af klor skal bassinvandets pH-værdi være $\geq 6,8$ og $\leq 7,6$, og klorkoncentrationen må ingen steder overstige 50 mg/L. Dosering af klor kan ske manuelt eller automatisk. Ved automatisk klordosering skal det ved overvågning på stedet sikres, at grænser for det pågældende klorreguleringsudstyrs måle-/reguleringsområde overholdes.
- Er bassinet forsynet med termotæppe, må termotæppet ikke lægges ud på bassinet, før chokkloring, antykloring og efterfølgende justering af frit klor og pH-værdi til normalt niveau er afsluttet.
- Under chokkloring skal bassinpumpen køre med en cirkulerende vandstrøm, som svarer til normaldrift i svømmehallens åbningstid.
- pH-justering skal ske ved dosering af 30 % saltsyre eller 20 % svovlsyre. Ved dosering af syre må pH-værdien ingen steder være $\leq 6,8$ og $\geq 7,6$. Dosering af syre kan ske manuelt eller automatisk. Ved automatisk syredosering skal det ved overvågning på stedet sikres, at grænser for det pågældende syrereguleringsudstyrs måle-/reguleringsområde overholdes.
- Er anlægget forsynet med doseringspumpe for flokkuleringsmiddel, skal denne være i drift, når hovedfiltret er i drift.
- Ved klorkoncentration større end klorreguleringsudstyrets øvre grænse for måleområde skal tilgangsventil til målecellen ved det automatiske klor- og pH-reguleringsudstyr lukkes.
- Bundsugerudstyret desinficeres ved at starte bundsugerudstyret, og det skal være i drift under hele chokkloringen. Returvandet fra bundsugeren skal ledes til filteranlægget.
- Evt. aktive kulfiltre returskylles efter chokkloringen på ny med det chokklorerede bassinvand i 15 minutter, hvorefter kulfiltrenes til- og afgangsventiler lukkes.
- Hovedfilteranlægget returskylles efter normal skylleprocedure.

10.1.3 Afkloring

- Under antykloring skal vandtilførslen til følgende komponenter i vandbehandlingsanlægget være afspærret:
 - Målecellen ved det automatiske klor- og pH-reguleringsudstyr.
 - Evt. aktivt kulfilter.

- Bassinvandes pH-værdi justeres til pH 7,2-7,4. pH-værdien øges ved at tilsætte en ca. 27 % natriumhydroxidopløsning (natronlud). Natriumhydroxidopløsningen tilsættes manuelt. pH-værdien må på intet tidspunkt overstige 7,6.
- Den korrekte mængde antiklor beregnes, afvejes og opløses helt i vandværksvand.
 - OBS: Under tilsætning af antikloropløsningen vil bassinvandets pH-værdi falde. Bliver pH-værdien for lav, er der risiko for dannelse af giftig klorgas.
- Under dosering af antiklor må pH-værdien ikke blive mindre end 6,8.
- Det opløste antiklor tilsættes manuelt til bassinet i et område, hvor der er god vandcirkulation, f.eks. over en indløbsdyse.

10.1.4 Idriftsættelse af bassin

- Når korrekt klorværdi er opnået, justeres til den pH-værdi, som er gældende for normaldrift for det pågældende bassin.
- Evt. aktivt kulfilteranlæg sættes i normaldrift.
- Evt. UV- og AOP-anlæg sættes i normaldrift.
- Der åbnes for målevandet til klor- og pH-målecellen.
- Når det automatiske klor- og pH-reguleringsudstyr viser korrekt klor- og pH-værdi, tilsluttes klor- og syredoseringspumperne elektrisk. Om nødvendigt skal der foretages en kalibrering af det automatiske klor- og pH-reguleringsudstyr, inden bassinet tages i brug.
- Når anlægget er omstillet til normaldrift og bassinvandets pH-værdi og klorindhold er korrekt, kan bassinet atter tages i brug.

10.1.5 Sikkerhed under udførelse af proceduren

Ved håndtering af klor, syre og natriumhydroxid og natriumthiosulfat (antiklor) skal anvendes foreskrevne personværnemidler, dvs.:

- egnede sikkerhedshandsker
- egnet forklæde
- egnet ansigtsskærm
- egnede gummistøvler

Desuden skal der være let adgang til klorgasmaske, øjenskylleflasker og rindende vand.

Det kræver solid faglig indsigt at gennemføre den foreskrevne procedure, idet procedurefejll kan medføre betydelige skader på vandbehandlingsanlægget og ikke mindst føre til alvorlige kemikalieuheld, idet håndtering af de relativt store mængder ætsende kemikalier (15 % natriumhypoklorit ("klor"), 30 % salt- eller 20 % svovlsyre, antiklor (natriumthiosulfat og natriumhydroxid)) kan medføre alvorlig personskade. Desuden er der risiko for dannelse af store mængder giftig klorgas, som er til risiko for personer, der opholder sig ikke blot i svømmehallen, men også i svømmehallens nærrområde.

Derfor er det særligt vigtigt, at de personer, som arbejder med disse procedurer, har den fornødne uddannelse og erfaring til at kunne udføre dette på den sikkerhedsmæssigt bedste måde.

Det skal sikres, at Arbejdstilsynets bekendtgørelse om arbejdets udførelse følges, herunder § 11:

Hvis den ansatte går alene ved en arbejdsproces, og dette kan medføre en særlig fare for den pågældende, skal arbejdet tilrettelægges således, at denne fare imødegås. Kan faren ikke imødegås, må den ansatte ikke arbejde alene.

Stk. 2. Det skal sikres, at kun ansatte, der har fået passende instruktion, har adgang til områder, hvor der er en særlig fare.

10.2 Sammenligning med kontrolvejledningen

Den givne anbefaling ovenfor omfatter i lighed med den nuværende kontrolvejledning chokkloring til håndtering af uheld med løse fækalier. På følgende punkter adskiller den ovenfor beskrevne procedure sig fra den nuværende vejledning:

- Der gives mulighed for fleksibilitet i valget af klorkoncentration (5-50 mg/L) og tilhørende behandlingstid (3,2-32 timer) under chokkloring.
- Kravet om chokkloring i mindst 6 gange omsætningstid er fjernet. Kravet bidrager ikke væsentligt yderligere til sikkerheden for de badende, idet korrekt chokkloring og filtrering under inden for behandlingstiden effektivt vil inaktivere og bortrense patogene oocyster. Kravet har derimod store økonomiske konsekvenser for svømmebade.
- Den anbefalede procedure indeholder konkret og praktisk information om udførelsen af arbejdet i svømmebadet.
- Den anbefalede procedure gør opmærksom på og stiller krav til de sikkerhedsmæssige forhold under udførelse af proceduren.

11. Referencer

- Centers for Disease Control. (2016). Fecal Incident Response Recommendations for Aquatic Staff, 1–4. Retrieved from <https://www.cdc.gov/healthywater/swimming/pdf/fecal-incident-response-guidelines.pdf>
- Driedger, A. M., Rennecker, J. L., & Mariñas, B. J. (2000). Sequential inactivation of *Cryptosporidium parvum* oocysts with ozone and free chlorine. *Water Research*, 34(14), 3591–3597. [https://doi.org/10.1016/S0043-1354\(00\)00097-X](https://doi.org/10.1016/S0043-1354(00)00097-X)
- Folkhälsomyndigheten. (2006). Bassångbad Hälsorisker, regler och skötsel. Retrieved from <https://www.folkhalsomyndigheten.se/pagefiles/12930/bassangbad-halsorisker.pdf>
- Korich, D. G., Mead, J. R., Madore, M. S., Sinclair, N. A., & Sterling, C. R. (1990). Effects of ozone, chlorine dioxide, chlorine, and monochloramine on *Cryptosporidium parvum* oocyst viability. *Applied and Environmental Microbiology*, 56(5), 1423–1428.
- Miljøministeriet. (2016). Bekendtgørelse om svømmebade m.v. og disse vandkvalitet, 2016 (918), BEK 623. Retrieved from <https://www.retsinformation.dk/forms/R0710.aspx?id=142195>
- Miljøstyrelsen. (2006). Risikovurdering af *Cryptosporidium* og *Giardia* i vand. Miljøprojekt nr. 1070.
- Miljøstyrelsen. (2017). Vejledning om godkendelse af svømmebade. Vejledning nr. 23.
- Murphy, J. L., Haas, C. N., Arrowood, M. J., Hlavsa, M. C., Beach, M. J., & Hill, V. R. (2014). Efficacy of Chlorine Dioxide Tablets on Inactivation of *Cryptosporidium* Oocysts.
- Naturstyrelsen. (2013). Vejledning om kontrol med svømmebade. Retrieved from http://naturstyrelsen.dk/media/nst/66835/vejledning_kontro_svoemmebade_9-4-2013.pdf
- Naturstyrelsen. (2015). Udvikling af ny keramisk membran som barriere mod *Cryptosporidium* i svømmebade.
- Naturstyrelsen. (2016). Overvågning af vandkvalitet og sikring af hygiejnisk vandkvalitet i svømmebade.
- NSW Government. (2015). Faecal Incident Solid Stool in Pool Response Plan.
- Renner, P. & Feuerpfel, I. (2015). Parasitendauerformen in Beckenbädern. *AB Archiv des Badewesens* (03/2015). 151–164.
- RIVM. (2012). *Cryptosporidium* and *Giardia* in swimming pools in the Netherlands, RIVM rapport 250931001.
- Searcy KE, Packman AI, Atwill ER, Harter T. Capture and retention of *Cryptosporidium parvum* oocysts by *Pseudomonas aeruginosa* biofilms. *Appl Environ Microbiol*. 2006;72(9):6242-7.
- Shields, J. M., Hill, V. R., Arrowood, M. J., & Beach, M. J. (2008). Inactivation of *Cryptosporidium parvum* under chlorinated recreational water conditions. *Journal of Water and Health*, 6(4), 513–520. <https://doi.org/10.2166/wh.2008.068>

Smittskydd Stockholm. (2010). Rutiner för handläggning av fekalier i allmänna bassängvatten, ett komplement till Socialstyrelsens allmänna råd om bassängbad SOSFS 2004:7

Umweltbundesamt. (2006). Hygieneanforderungen an Bäder und deren Überwachung. Bundesgesundheitsblatt - Gesundheitsforschung - Gesundheitsschutz, 49, 926–937. <https://doi.org/10.1007/s00103-006-0030-8>

WHO. (2006). Guidelines for safe recreational water. *Environments*, 2, 3505–3518.

Håndtering af fækale uheld i svømmebade

Teknologisk Institut har i perioden 1. august – 7. december 2018 gennemført et projekt for Miljøstyrelsen med det formål at kvalificere Miljøstyrelsens grundlag for at vurdere, om der er belæg for at ændre den eksisterende vejledende procedure til håndtering af fækale uheld med løse fækalier. Målet er at opnå den bedste håndtering under hensyntagen til sikkerheden for badende og personale samt økonomiske og praktiske aspekter. *Cryptosporidium* og *Giardia* er klorresistente, patogene mikroorganismer, der potentielt kan spredes med fækalier og håndteringen skal derfor også uskadeliggøre disse mikroorganismer.

Rapporten beskriver, hvordan der i projektet er udført et litteraturstudie, som belyser eksisterende metoder til rensning af badevand. Generelt benyttes en metode med opkloring til høj koncentration af frit klor (chokkloring) som opretholdes over en længere periode. Dette suppleres med teknologier til inaktivering eller bortrensning, men for desinfektion er chokkloring afgørende. Rent økonomisk bør håndteringen af fækale uheld ikke have længere varighed end, hvad der kræves for at genoprette en høj sikkerhed for badende. Den nuværende danske kontrolvejledning kræver manuel håndtering af kemikalier ved opkloring. Da dette indebærer flere faremomenter, er det vigtigt at kemikalierne håndteres med sikkerhed og en eventuel automatisk opkloring kunne være at foretrække. På baggrund af rapportens ovenstående konklusioner, blev der foretaget hhv. automatiske og manuelle opkloringer og efterfølgende afkloring. Rapporten konkluderer at det af hensyn til sikkerheden for de badende og personalet samt økonomiske betragtninger anbefales at fækale uheld håndteres ved chokkloring. Ved koncentrationer af klor, der kræver manuel håndtering, er det særlig vigtigt at svømmebadspersonalet er grundigt instrueret.



Miljøstyrelsen
Haraldsgade 53
2100 København Ø

www.mst.dk