



Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Effekt af pH på dannelse af flygtige klorbiprodukter i svømmebade

Rapport

Kamilla M.S. Hansen og Henrik R. Andersen,

Institut for vand og miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet

Effekt af pH på dannelse af flygtige klorbiprodukter i svømmebade

Titel:

Effekt af pH på dannelse af flygtige klorbiprodukter i svømmebade

Forfattere:

Kamilla M.S. Hansen og Henrik R. Andersen,

Institut for vand og miljøteknologi, Danmarks Tekniske Universitet

Udgiver:

Naturstyrelsen

Haraldsgade 53

2100 København Ø

www.nst.dk

År:

2012

ISBN:

978-87-7279-394-8

Indhold

1. Indledning	7
2. Forsøg	10
2.1 Dannelse af flygtige klororganiske stoffer	10
2.2 Dannelse af trikloramin (NCl ₃)	10
3. Analyser	11
3.1 THM og haloacetonitril analyse	11
3.2 Trikloramin (NCl ₃) analyse	11
4. Resultater	12
4.1 Reaktion med klor i eksperimenterne.....	12
4.2 Dannelse af klororganiske flygtige desinfektionsbiprodukter	13
4.3 Dannelse af trikloramin (NCl ₃)	15
5. Konklusion	17
6. Litteratur	18

Forord

Naturstyrelsen har i forbindelse med udstedelse af en ny bekendtgørelse om svømmebadsanlæg m.v. og disses vandkvalitet ønsket at få undersøgt, om pH-værdien kunne sænkes i svømmebade.

Naturstyrelsen har derfor rekvireret Danmarks Tekniske Universitet til at gennemføre en undersøgelse af pH-værdiens effekt på dannelse af flygtige klorbiprodukter i svømmebade.

Baggrunden er, at Danmarks Tekniske Universitet i et tidligere forsøg med reaktion af klor med simuleret organisk forurening fra badende (body fluid analog) har vist en kraftig forøget dannelse af klorbiprodukterne trikloramin og haloacetonitriler ved pH 6,5 i forhold til 7,0. Dette forsøg gav anledning til, at Naturstyrelsen ønskede belyst, hvordan effekten af pH på dannelse af disse klorbiprodukter var i tættere pH-intervaller.

Denne rapport beskriver undersøgelsen og konklusionerne.

Projektet har været fulgt af en styregruppe med følgende sammensætning:

Inger Bergmann, Naturstyrelsen
Lise-Lotte Nielsen, Naturstyrelsen
Anne-Marie Madsen, Naturstyrelsen
Henrik L. Hansen, Sundhedsstyrelsen
Carsten Larsen, Dansk Svømmebadsteknisk Forening
Jørn Jespersen, Dansk Miljøteknologi
Ole Grønborg, Dansk Miljøteknologi

Sammenfatning

Formålet med arbejdet der er beskrevet i denne rapport er at belyse sammenhængen mellem dannelse af klorbiprodukter og pH i svømmebadevandet. Det blev valgt alene at lave laboratorieeksperimenter for at kunne udelukke andre kilder til variation i dannelsen af klorbiprodukter, som forekommer i svømmehaller. Der blev udført forsøg med reaktion af klor med en simuleret badebelastning ved pH 6,5, 6,7, 6,8, 6,9, 7,0, 7,2 og 7,5. Forsøgene blev udført med en klorkoncentration på enten 35 mg/L eller 10 mg/L.

Mængden af tilsat klor havde indflydelse på koncentrationen af biprodukter. Når der blev tilsat mere klor, blev der dannet mere trihalometan og trikloramin, men dannelsen af haloacetonitril blev mindre med større klorkoncentration. Effekten af at tilsætte en højere koncentration af klor ved forsøgets start, frem for at fastholde en lav klorkoncentration over tid, som er realistisk for et svømmebad, blev undersøgt ved at tilsætte 10 mg/L klor enten som én dose i begyndelsen af forsøget eller som tre doser fordelt over forsøgets løbetid på 2 døgn. Det blev fundet, at denne variation i klortilsætningen ikke havde indflydelse på dannelsen af trihalometan eller haloacetonitril.

Som forventet blev der fundet en pH-afhængighed på dannelsen af de undersøgte klorbiprodukter. For kloroform, som repræsenterede trihalometanerne, blev der observeret øget dannelse ved pH-værdier større end 7,2, og ved lavere pH var dannelsen af kloroform lav og uafhængig af pH. Dannelsen af haloacetonitril, især dichloroacetonitril, steg ved pH under 6,8 i forsøget med 35 mg/L klor, mens dannelsen allerede steg ved pH 7,0 i forsøget med 10 mg/L klor. Der var en lav dannelse af trikloramin ved høj pH, og en øget dannelse blev observeret ved pH under 7,0 i forsøget med 35 mg/L klor, mens forøgelsen ved 10 mg/L klor først blev tydelig ved pH 6,8 og derunder.

Overordnet blev der ud fra de analyserede biprodukter og valgte forsøgsbetingelser identificeret et optimalt pH-område for minimal biprodukt dannelse på 7,0 – 7,2. I et lidt bredere område på 6,8 – 7,5 var effekterne af pH på dannelse af biprodukter minimal i forhold til andre faktorer, der må formodes at påvirke dannelsen af klorbiprodukter i svømmebade.

1. Indledning

I alle offentlige svømmebade anvendes klor som det primære desinfektions- og oxidationsmiddel for at beskytte de badende mod patogene mikroorganismer og holde vandet klart. Det har imidlertid været kendt i mange år, at klor danner mange forskellige biprodukter ved reaktion med organisk materiale. Over 100 forskellige biprodukter er blevet identificeret ved en undersøgelse af indendørs svømmebad (Richardson et al., 2010). Af disse er trihalomethanerne, haloeddikesyrerne, haloacetonitrillerne og kloralhydrat fundet til at udgøre halvdelen af den totale mængde af organiske klorforbindelser (Brunet et al., 2010). Da en del af klorbiprodukterne potentielt har sundhedsskadelige effekter, er det vigtigt at minimere dannelsen af biprodukter, så koncentrationen de badende udsættes for forbliver lav.

For at kontrollere koncentrationerne af biprodukter i svømmebade kan man

- Sikre effektiv afvaskning inden svømning.
- Løbende udskifte en del af bassinvandet med rent vand.
- Anvende så lav klorkoncentration og temperatur, som det er muligt af hensyn til den mikrobielle sikkerhed og de badendes komfort.
- Sikre en effektiv filtrering for at fjerne partikler af organisk materiale, inden de kan reagere med klor.
- Anvende dedikerede vandbehandlingstrin som aktivt kul filtrering, ozonering og UV-behandling.

For at sikre at disse metoder anvendes i tilstrækkeligt omfang, er der sat maksimum grænseværdier for koncentrationerne af trihalomethaner (THM) og bundet klor i offentlige svømmebade som indikatorer for alle biprodukter.

På baggrund af internationale resultater og især en lang tradition i Tyskland blev det afprøvet i Gladsaxe svømmebad i 2006 at anvende lavere pH end sædvanligt i badevandet. Formålet var at gøre det muligt ud fra et hygiejnisk perspektiv at anvende en lavere klorkoncentration i vandet (Kristensen et al., 2007). Dette er baseret på, at klor er mere aktivt som desinfektionsmiddel ved lavere pH, så man kan opnå tilfredsstillende desinfektion med en lavere klorkoncentration end sædvanligt. Desuden var der en forventning om, at lavere pH i sig selv formindsker dannelsen af trihalomethaner.

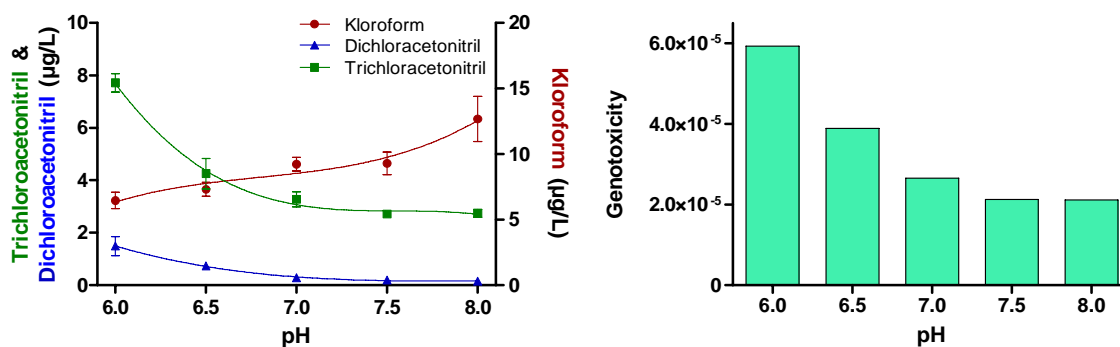
Forsøget bekræftede, at der ved lavere klorkoncentration opnås en lavere koncentration af trihalomethan og bundet klor (Kristensen et al., 2007). På baggrund af dette har det været overvejet at tillade anvendelse af lavere klorkoncentrationer og pH i svømmebade i forbindelse med en ny bekendtgørelse om regulering af svømmebade.

Manipulering af pH for at minimere dannelsen af desinfektionsbiprodukter har været forsøgt i forbindelse med klorering af drikkevand og mange former for industriel vandanvendelse. Et generelt problem med konceptet er, at dannelsen af kvælstofholdige organiske biprodukter forøges, når pH sænkes. For at undersøge, om dette også kunne være et problem i svømmebadevand, udførte vi på DTU forsøg med klorering af partikler fra svømmebade og en kunstig analog for belastningen af organisk stof fra badende. Vi undersøgte dannelsen af trihalomethan samt tre andre typer biprodukter, som reguleres i svømmebade eller drikkevand i andre lande, haloeddikesyre, haloacetonitriler og trikloramin.

Undersøgelse af systematisk variation af pH og aktivt klorkoncentration over et stort område bekræftede den generelle effekt, at både reduktion af pH og klorkoncentrationen formindskede dannelsen af trihalomethan, men påpegede, at dannelse af andre toksikologisk relevante flygtige klorbiprodukter, trikloramino og haloacetonitriler, udviste en modsat sammenhæng med pH (figur 1; Hansen et al., 2011a; Hansen et al., 2011b; Hansen et al., 2012a; Hansen et al., 2012b).

De udførte forsøg (figur 1) dækkede et større pH område (pH 6,0 – 8,0), end der anvendes i mange svømmebade i dag (pH 7,2-7,8)¹ for at kunne påvise effekterne klart. Der var derfor relativt store spring i de undersøgte pH værdier, dvs spring på 0,5 pH enhed.

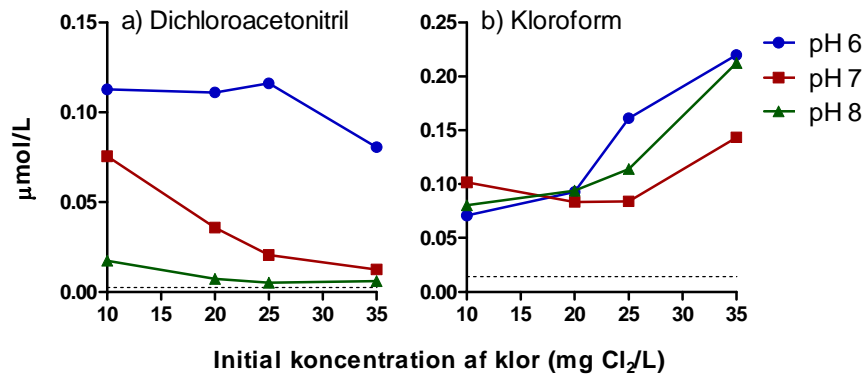
Dette gør det svært at se af resultaterne præcis ved hvilken pH værdi, dannelsen af de kvælstofholdige biprodukter begynder at stige, og hvor trihalomethan dannelsen er begrænset signifikant.



Figur 1. Venstre: Dannelsen af kloroform og haloacetonitril ved forskellige pH værdier. Højre: Den beregnede genotoksicitet af de målte biprodukter. Forsøgsbetingelser: dosis af badebelastningsanalog = 1 mg/L total organisk kulstof, klordose = 35 mg/L, temperatur = 25 °C og reaktionstid = 48 timer (fra Hansen et al., 2011b).

Desuden er forsøgene udført med et fast forhold mellem klor og organisk stof. Denne faktor varierer dog formodentligt meget i svømmebade, og samtidig er det alment kendt, at dannelsen af biprodukter ved klorering afhænger af forholdet mellem koncentrationerne af klor og det organiske stof (figur 2).

¹ Svømmebade, som er godkendt efter bekendtgørelse nr. 288 af 14. april 2005 om svømmebassiner m.v. og disses vandkvalitet, og tidligere bekendtgørelser, hvor den vejledende pH-grænse var 7,2 – 7,6.



Figur 2. Dannelsen af haloacetonitrilen, dichloroacetonitril, og kloroform ved forskellige klordoser. Forsøgsbetingelser: dosis af badebelastningsanalog = 1 mg/L total organisk kulstof, temperatur = 25 °C og reaktionstid = 48 timer (fra Hansen et al., 2012b).

For at adressere disse begrænsninger og skaffe et bedre estimat af, hvor lavt pH kan være i svømmebadevand, før de negative effekter fra dannelse af de uregulerede biprodukter bliver væsentlige i forhold til den reducerede dannelse af trihalomethan, blev dette studie lavet. Formålet var at skaffe mere detaljerede resultater med hensyn til effekten af pH i området 6,7 til 7,2 for at understøtte valget af en nedre grænse af pH for drift af svømmebade. Desuden blev der lavet en yderligere undersøgelse af effekten af forholdet mellem klor og kulstof i reaktionsblandingen ved teknisk relevante niveauer. Endelig er der lavet et forsøg, der belyser betydningen af de hidtil anvendte forsøgsbetingelser, hvor hele klordosis tilsættes ved forsøgets start, hvorimod klore i svømmebade fastholdes på en fast lav koncentration ved hjælp af doseringsautomatik.

2. Forsøg

2.1 Dannelse af flygtige klororganiske stoffer

Til forsøgene blev der brugt fosfat bufferet demineraliseret vand. Natriumhydroxid og svovlsyre blev brugt til at indstille pH til 6,5, 6,7, 6,8, 6,9, 7,0, 7,2 og 7,5. Forsøget blev udført i 40 ml glasflaske, der var udglødet inden brug for at fjerne organisk materiale. Til simulering af organisk forurening fra badende blev der benyttet en kunstig analog for badebelastning bestående af ammonium klorid (2,0 g/L), urea (14,8 g/L), creatinin (1,80 g/L), histidin (1,21 g/L), hippuric acid (1,71 g/L), uric acid (0,49 g/L) og citric acid (0,64 g/L) som beskrevet af Judd og Bullock (2003).

Hver forsøgsreplikant blev tilsat kunstig analog for badebelastning, så koncentrationen af total organisk kulstof blev 1,0 mg/L, samt en nominel klorkoncentration på enten 35 mg/L eller 10 mg/L eller der blev tilsat 3,33 mg/L tre gange gennem forsøget. I forsøgene, hvor der blev tilsat 3,33 mg/L tre gange, blev kloren tilsat ved forsøgets start, efter 5 timer og efter 23 timer. Da klor-opløsningen er kraftigt basisk, blev der ved hver klor dosering tilsat en ækvivalent mængde svovlsyre for at bevare det nominelle pH niveau. Alle forsøgsbetingelser blev gentaget, så hver kombination af pH-niveau og klordosis mindst var undersøgt i tre uafhængige eksperimentelle replikater. Ved pH 7,0 blev der udført kontroleksperimenter, hvor der enten kun blev tilsat den kunstige analog for badebelastning (1 mg-total organisk kulstof/L) eller kun klor (35 mg/L). Alle eksperimenterne fik lov at reagere i 48 timer ved 28 °C. Efter hvert forsøg blev pH kontrolleret og frit og bunden klor samt koncentrationen af trihalomethan og haloacetonitril målt.

2.2 Dannelse af trikloramin (NCl₃)

Forsøgene med dannelse af trikloramin blev udført ligesom forsøgene beskrevet ovenfor, men i 500 ml og 1000 ml flasker, der var dækket med alufolie. Desuden blev anvendt en reaktionstid på 24 timer ved 28 °C. Klordoserne var enten 35 mg/L eller 10 mg/L, og hver forsøgskombination af klorkoncentration og pH blev duplikeret.

3. Analyser

Frit og bunden klor blev målt med kittet LCK310 fra Hach-Lange.

3.1 THM og haloacetonitril analyse

Frit klor i prøverne (40 ml) til trihalomethan og haloacetonitril analyse blev fjernet ved at tilsætte 100 µL ammonium klorid (4,2 g/L). Efterfølgende blev de analyseret med purge and trap autosampler (Velocity XPT Purge and Trap Sample Concentrator, Teledyne Tekmar, med autosampler AQUATEk 70, Teledyne Tekmar) koblet til GC-MS (HP 6890 Series GC System - 5973 Mass selective detector, Hewlett Packard). Metoden blev også brugt til at bestemmelse af trichloronitromethan, dichloropropanon og trichloropropanon. Mere detaljeret beskrivelse kan findes i Hansen et al. (2012a).

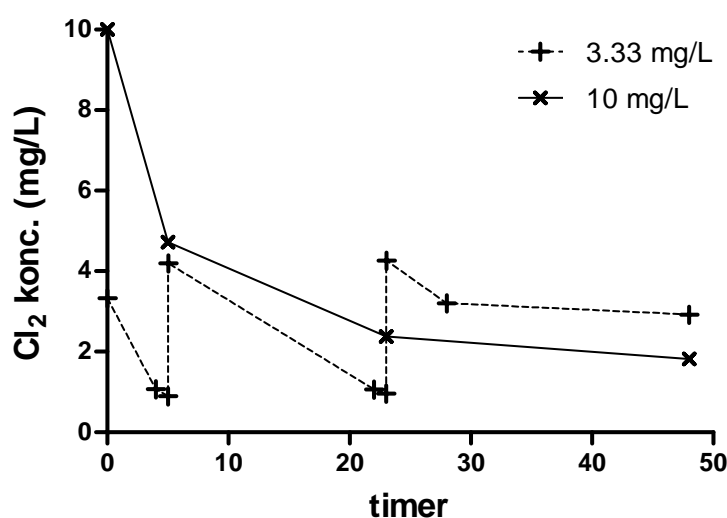
3.2 Triklorammin (NCl₃) analyse

Den dannede triklorammin blev strippet ved at gennemluften flaskerne. Luften med triklorammin blev ledt igennem et filter med As₂O₃ som reducerede triklorammin til klorid. Efterfølgende blev filterne opløst i 10 ml demineraliseret vand, og klorid koncentrationen blev målt med ion kromatografi (ICS-1500, Dionex). Mere detaljeret beskrivelse kan findes i Hansen et al. (2012a).

4. Resultater

4.1 Reaktion med klor i eksperimenterne

I forsøget, hvor der blev tilsat 3,33 mg Cl₂/L tre gange, blev klor koncentrationen efter den første tilsætning målt inden den næste tilsætning, og der blev tilsat klor, når koncentrationen var under 1 mg/L, hvilket resulterede i, at der blev tilsat klor ved forsøget start, efter 5 timer og igen 23 timer efter start. Tilsætningen af klor som en høj initialkoncentration på 10 mg Cl₂/L samt delt i tre portioner af 3,33 mg Cl₂/L gav profiler af klorkoncentrationen i eksperimenterne som vist i figur 3.

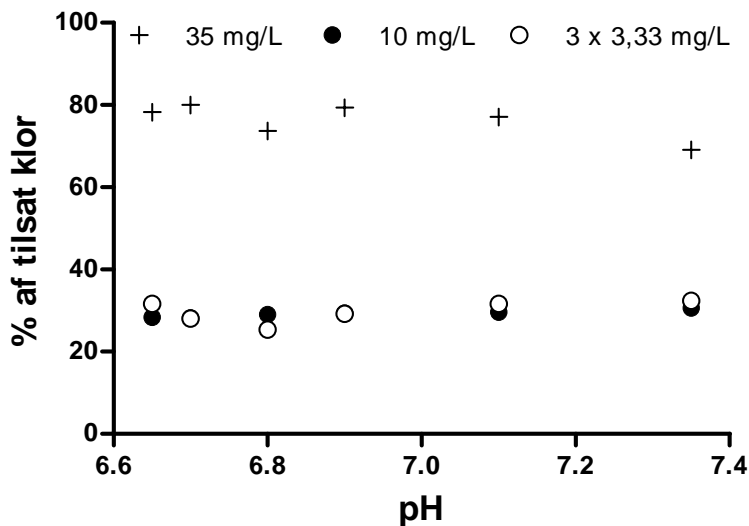


Figur 3: Profiler af klor ved tilsætning af 3x3,3 mg Cl₂/L sammenlignet med 10 mg Cl₂/L ved pH 6,9.

Forsøgsbetingelser: dosis af badebelastningsanalog = 1 mg/L total organisk kulstof, temperatur = 28 °C og reaktionstid = 48 timer.

Ved tilsætning af 10 mg/L fra begyndelsen af eksperimentet ses et højt forbrug af klor fra starten, hvor koncentrationerne af klor halveres efter 5 timer. Derefter falder forbruget, og de sidste 25 timer er forbruget på 0,6 mg/L. Ved tilsætning af 3,33 mg/L er der også et højt forbrug i starten og koncentration kommer under 1 mg/L efter 5 timer. Efter næste tilsætning er forbruget langsommere, og der går 18 timer før koncentrationen er under 1 mg/L igen. Efter sidste tilsætning når koncentrationen ikke under 1 mg/L før forsøget slutning. De endelige koncentrationen af klor efter 48 timer er stor set ens uanset om klore er blevet tilsat ad en eller 3 gange.

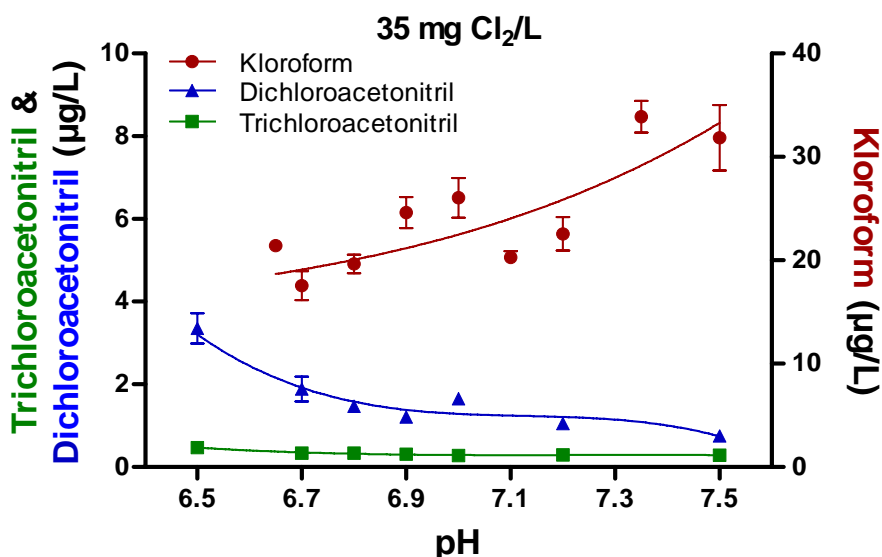
Koncentrationen af klor blev målt ved afslutningen af alle forsøgene med dannelse af flygtige klororganiske stoffer (trihalomethan og haloacetonitril). I forsøget med 35 mg Cl₂/L blev der brugt 20-30 % af klore, og som det ses af figur 4 var der ikke nogen sammenhæng mellem pH og klorforbrug. I forsøgene med 10 mg Cl₂/L var klorforbruget sammenfaldende omkring 70 % uanset om klore blev tilsat på en gang eller fordelt over 3 gange. Det kan heraf ses at det betyder relativt lidt for forløbet af reaktionerne med klor, om klore blev tilsat som en høj koncentration i starten eller blev tilsat flere gange i mindre portioner, som er mere realistisk for doseringen af klor i svømmebade.



Figur 4. Koncentrationen af klor efter 48 timer som % af tilsat klor. Forsøgsbetingelser: dosis af badebelastningsanalog = 1 mg/L total organisk kulstof, temperatur = 28 °C og reaktionstid 48 timer.

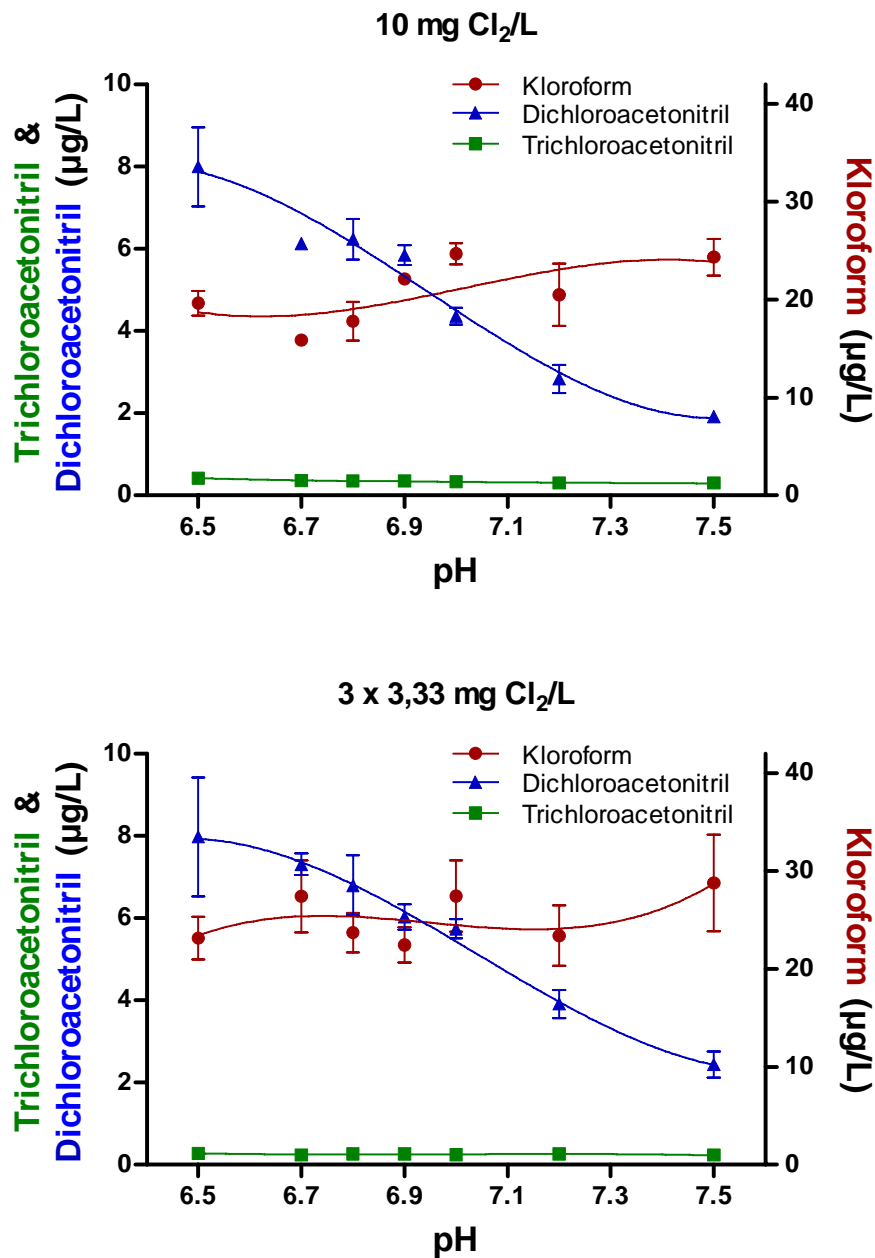
4.2 Dannelse af klororganiske flygtige desinfektionsbiprodukter

Dannelsen af klororganiske klorbiprodukter fra forsøgene med en nominal klorkoncentration på 35 mg Cl₂/L er vist i figur 5. Kloroform følger den forventede trend fra de omtalte fuldskalaforsøg i Gladsaxe svømmebad: Lavere pH-værdier medfører mindre dannelse af kloroform. Ligeledes følger dannelse af dichloroacetonitril den forventede trend modsat af kloroform: lavere pH værdier øger dannelsen af dichloroacetonitril. Af figur 5 kan det ses, at koncentrationen af dichloroacetonitril er nærmest konstant i området 6,8 – 7,5, men ved pH 6,7 og lavere stiger koncentrationen af dichloroacetonitril væsentligt. Dette støtter, at man anvender pH i svømmebade ned til 6.8. Koncentrationerne af trichloroacetonitril er meget tæt på kvantificeringsgrænsen for analysemetoden, hvilket gør det svært at påvise en effekt af pH.



Figur 5. Dannelsen af trichloroacetonitril, dichloroacetonitril og kloroform ved forskellige pH værdier. Forsøgsbetingelser: dosis af badebelastningsanalog = 1 mg/L total organisk kulstof, klordose = 35 mg/L, temperatur = 28 °C og reaktionstid = 48 timer.

Resultaterne for flygtige biprodukter der opnås ved tilsætning af 3 gange 3,33 mg-Cl₂/L ligner resultaterne ved tilsætning af 10 mg/L ad én gang (figur 6). Da både klorforbruget og dannelsen af biprodukter bliver det samme i de to forsøg kan det konkluderes at den måde som klore tilsættes (enten ved begyndelsen af forsøget eller over flere gange) er underordnet i forhold til dannelsen af biprodukter.



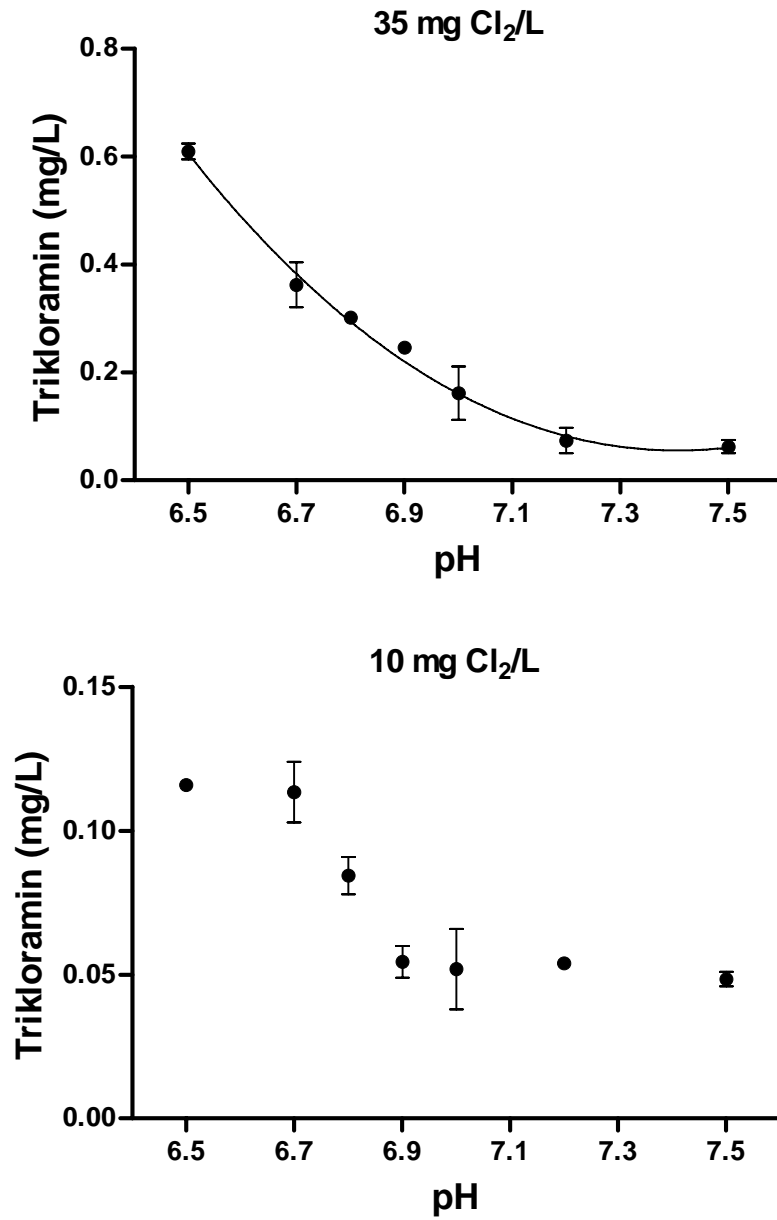
Figur 6. Dannelsen af trichloroacetonitril, dichloroacetonitril og kloroform ved klortilsætning på 10 mg/L ved forskellige pH værdier. (top) alt klor tilsættes ved forsøgets start, (bund) klore tilsættes i tre deldoser ved forsøgets start og efter 5 og 23 timer. Forsøgsbetingelser: dosis af badebelastningsanalog = 1 mg/L total organisk kulstof, temperatur = 28 °C og reaktionstid = 48 timer.

pH-effekten på kloroform-dannelse er ikke så udpræget ved anvendelse af 10 mg Cl₂/L som ved 35 mg/L, hvilket er i overensstemmelse med tidligere opnåede resultater med forsøg udført i større pH intervaller (nævnt i introduktionen, figur 2).

Dannelsen af dichloroacetonitril er højere ved lavere klordosis (10 versus 35 mg/L), hvilket også blev fundet i tidligere forsøg om effekten af pH og klor (figur 2). Dette kan fortolkes ved, at den højere klordosis forårsager, at en del trichloroacetonitril og dichloroacetonitril oxideres yderligere til kloroform under forsøget. Resultaterne ved lavere klordoser viser en meget kraftigere effekt af pH på dannelsen af dichloroacetonitril, hvilket taler imod at anvende lavere pH i svømmebade. Allerede ved pH 7,0 ses øget koncentration i forhold til pH 7,2 og 7,5. Imidlertid vurderes det, at reaktionen med klor i svømmebade sker ved et stort overskud af klor, så resultaterne med 35 mg Cl₂/L er mest realistiske, og de viste først en forøget dannelse af dichloroacetonitril ved pH lavere end 6,8.

4.3 Dannelse af triklorammin (NCl₃)

Resultaterne af forsøgene med en nominel klorkoncentration på 35 mg/L viser, at dannelsen af triklorammin er stærkt afhængig af pH, og allerede ved pH < 7,2 øges triklorammin dannelsen (figur 7, øverst). Ved tilsætning af 10 mg/L klor dannes der mindre triklorammin end ved 35 mg/L. Desuden er dannelsen af triklorammin ved 10 mg/L nærmest konstant i området 6,9 – 7,5, og stigning i dannelsen ses først ved pH 6,8 og lavere (figur 7, nederst).



Figur 7. Dannelsen af trihaloamin (NCl_3) ved tilsætning af 35 mg Cl_2/L (top) og 10 mg Cl_2/L (bund). Forsøgsbetingelser: dosis af badebelastningsanalog = 1 mg/L total organisk kulstof, temperatur = 28 °C og reaktionstid = 24 timer.

5. Konklusion

- I de udførte forsøg blev der fundet en modsat variation med pH af trihalomethaner, repræsenteret ved kloroform, og de kvælstofholdige biprodukter trikloramin og haloacetonitriler.
- Dannelsen af trihalomethaner, repræsenteret ved kloroform, stiger når pH er højere end 7,2. Ved lavere pH er dannelsen af trihalomethaner lav og uafhængig af pH.
- Haloacetonitril, især dichloroacetonitril, stiger ved faldende pH, men stigningen er kun markant ved pH-værdier under 6,8.
- Dannelsen af trikloramin, NCl_3 , stiger ved faldende pH. Ved lav klordose (10 mg Cl_2/L) begynder stigningen ved pH 6,8, mens der ved høj klordose (35 mg Cl_2/L) ses en svag stigning i dannelsen af trikloramin når pH er 7,0 eller lavere.
- Overordnet er der ud fra de analyserede biprodukter og valgte forsøgsbetingelser identificeret et optimalt pH område for minimal biproduktdannelse på 7,0 – 7,2. I et lidt bredere område på 6,8 – 7,5 er effekterne af pH på dannelse af biprodukter minimal i forhold til andre faktorer, der må formodes at påvirke dannelsen af klorbiprodukter i svømmebade.

6. Litteratur

Brunet, R., Berne, F., De Laat, J., 2010. Disinfection by-products in chlorinated swimming pool waters. (In French, Sous-produits de chloration dans les eaux de piscines publiques). L'Eau, L'Industrie, Les Nuisances. vol. 333. pp. 83–88. http://www.revue-ein.com/article-EIN/2869/Sous-produits_de_chloration_dans_les_eaux_de_piscines_publiques/?string

Hansen, K. M. S., Willach, S., Mosbæk, H., Albrechtsen, H.-J., og Andersen, H. R. (2011a) Effect of selection of pH in swimming pools on formation of chlorination by-products. In proceeding of Fourth international conference swimming pool & spa, Porto, Portugal, p. 19-24.

Hansen, K. M. S., Willach, S., Mosbæk, H., Albrechtsen, H.-J., og Andersen, H. R. (2011b) Effekten af pH på dannelsen af biprodukter – Måler vi for de relevante biprodukter? Præsentation ved Dansk Svømmebadsteknisk Forenings Årsmøde 2011, Herning, Danmark.

Hansen, K.M.S., Willach, S., Mosbæk, H., og Andersen, H.R. (2012a) Particles in swimming pool filters - Does pH determine the DBP formation? Chemosphere 87(3), p. 241-247.

Hansen, K. M. S., Willach, S., Antoniou, M. G., Mosbæk, H., Albrechtsen, H.-J., og Andersen, H. R. (2012b) Effect of pH on the formation of disinfection byproducts in swimming pool water - Is less THM better? Water Research, Accepted.

Judd, S.J. og Bullock, G. (2003) The fate of chlorine and organic materials in swimming pools. Chemosphere 51(9), p. 869–879.

Kristensen, G.H., Klausen, M.M. og Janning, K. (2007) Forsøgsdrift af varmtvandsbassin i Gladsaxe Svømmehal ved lavt indhold af frit klor og reduceret pH. Rapport fra DHI, Denmark. www.dhigroup.com

Richardson, S.D., DeMarini, D.M., Kogevinas, M., Fernandez, P., Marco, E., Lourencetti, C., Ballesté, C., Heederik, D., Meliefste, K., McKague, A.B., Marcos, R., Font-Ribera, L., Grimalt, J.O., Villanueva, C.M., 2010. What's in the pool? A comprehensive identification of disinfection by-products and assessment of mutagenicity of chlorinated and brominated swimming pool water. Environmental Health Perspectives 118, p. 1523–1530.

Effekt af pH på dannelse af flygtige klorbiprodukter i svømmebade

Formålet med arbejdet, der er beskrevet i denne rapport, er at belyse sammenhængen mellem dannelse af klorbiprodukter og pH i svømmebadevand. Der blev ud fra de analyserede biprodukter og valgte forsøgsbetingelser identificeret et optimalt pH område for minimal biproduktdannelse på pH 7,0 – 7,2. I et lidt bredere område på pH 6,8 – 7,5 var effekterne af pH på dannelse af biprodukter minimal i forhold til andre faktorer, der må formodes at påvirke dannelsen af klorbiprodukter i svømmebade.

Miljøministeriet
Naturstyrelsen

Haraldsgade 53
DK - 2100 København Ø
Tlf.: (+45) 72 54 30 00

www.naturstyrelsen.dk