

Effekt av desinfeksjonsmidler på biofilm i ledningsnett

Av Kari S. Ormerod

Kari S. Ormerod er forsker ved Statens institutt for folkehelse,

Innlegg på Fagtreff 12. april 1999

Denne artikkelen er basert på forskning utført som ledd i et doktorgradsarbeid ved Folkehelse, og forskning utført ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA) i forbindelse med utprøving av forskjellige desinfeksjonsmidler for bekjempelse av slamdannelse i et ledningsnett for drikkevann.

Sammendrag

Drikkevannsforskriften av 1995 angir veiledende verdi og største tillatte konsentrasjon for innhold av organisk stoff i vann som skal distribueres som drikkevann. Overskrider vannets innhold av organisk stoff ikke disse verdiene, blir det lite beleggdannelse i distribusjonsnett, og dannelse av biofilm kan forhindres ved å beholde et lavt innhold av **fritt klor** i vannet etter desinfeksjonen. Selv et meget lavt innhold av klor kan forhindre etablering av bakteriell biofilm i nye plastledninger. Høyere innhold av organisk stoff kan føre til store problemer med slamførende vann på grunn av løsrevet belegg fra ledning-

enes innvendige flater. Klor reagerer med det organiske stoffet slik at det blir umulig å opprettholde en rest av fritt klor i distribusjonsnett. Ved **UV-bestråling** av humusholdig vann kan det dannes frie radikaler som begrenser beleggdannelse i nye plastledninger med konstant gjennomstrømning. Denne effekten forsvinner med økende beleggdannelse eller utfelling av partikler fra vannet. **Ozon** kan benyttes som desinfeksjonsmiddel, men det gir ikke varig rest av desinfeksjonsmiddel. Brukt på humusholdig vann kan det øke vannets begroingspotensiale, fordi humusmolekylet spaltes til lett nedbrytbart organisk stoff. Desinfeksjonsmidlet **klordioksid** reagerer med organisk stoff under dannelse av kloritt. Kloritt måles som klorrest, men den bidrar til høye kimtall i begroede ledninger, og er dessuten uønsket i drikkevann. "Konserveringsmidlet" **klorammin** kan gi varig desinfiserende effekt selv ved for høyt innhold av organisk stoff i vannet. Med økende vanntemperatur reduseres imidlertid konsentrasjonen og effekten med økende opp-

holdstid i nettet, og kompensasjon ved å øke tilsatt mengde kan føre til smaks- og luktpoblemer fra de dannede kloraminer i den øvre del av distribusjonsnettet.

Bakgrunn

Alle overflatevannkilder vil inneholde større eller mindre mengder av partikulært og oppløst organisk stoff. Når slike vannkilder benyttes til fremstilling av drikkevann, vil det dannes et belegg innvendig i drikkevannsledningene. Fra humusholdig vann dannes et brunt belegg ved at de kolloidalt oppløste humusstoffene felles ut på veggene. Mikroorganismer som kan leve av dette relativt tungt nedbrytbare stoffet vil etablere seg i belegget. Overflatevannkilder vil også inneholde lett nedbrytbart organisk stoff, ofte i lave konsentrasjoner. Det finnes imidlertid bakterier som har evnen til å ta opp næring fra svært lave konsentrasjoner. Disse vokser fastsittende på flater i kontakt med strømmende vann, og da kan store mengder næring passere dem per døgn selv kom konsentrasjonen i vannet er lav. Slike bakterier starter begroingen, og det dannes en tynn biofilm på rørveggen. Uansett hvordan beleggdannelsen er startet, vil partikler fra vannet kunne fanges opp i belegget, og andre mikroorganismer etablere seg og leve i belegget. Bakterier vil løsriveres fra beleggets overflate og stadig føres med vannet til abonnentene. Ved plutselige forandringer i vannhastigheten i ledningene kan større deler av belegget løsriveres og vannet blir slamførende.

Selv om vannet er desinfisert før det slippes ut i distribusjonsnettet, betyr ikke det at alle mikroorganismene i vannet er fullstendig inaktivert. Ved lav vanntemperatur vil overlevende bakterier sjelden rekke å formere seg vesentlig i vannet i løpet av dets oppholdstid i ledningsnettet. Problemene starter først etter at ledningenes innvendige vegger har fått et belegg som gir fra seg bakterier. Overvåkningsparameteren "Kimtall ved 22 °C" vil derfor gi en indikasjon på mengden begroing i ledningsnettet. Et innhold opp til den veiledende verdi på 20 kim/ml indikerer normalt nivå, mens et nivå på 100 kim/ml og over indikerer at ledningsnettet er begrodd og bør rengjøres.

Vannets innhold av organisk stoff kan analyseres på forskjellige måter. Det totale innhold av organisk stoff analyseres ved parameteren TOC, som mg/l C (karbon). Veiledende verdi og største tillatte konsentrasjon er henholdsvis 3 og 5 mg/l. I drikkevannssammenheng benyttes som oftest parameteren "oksidbarhet med kalium permanganat, KOF_{Mn} , angitt som mg/l O (oksygen). Veiledende verdi og største tillatte konsentrasjon er henholdsvis 2 og 5 mg/l. Denne kjemiske metoden bestemmer vannets innhold av relativt lett oksiderbart stoff, som oppløst, toverdig jern og mangan, og lett nedbrytbart organisk stoff, slikt som bakterier lett kan benytte som næringsstoff, såkalt assimilert organisk stoff, AOS. Bakterienes oksygenforbruk under nedbrytning av slikt organisk stoff, BOF, kan også bestemmes, men den vanlige metoden for denne parameteren er ikke nøyaktig nok

ved lave konsentrasjoner av organisk stoff i vannet. Det finnes spesialmetoder til bestemmelse av det som betegnes som AOS.

Ved å sørge for at vannet etter en desinfeksjonsprosess med klor har en rest av fritt klor, som fungerer som "konserveringsmiddel" i vannet, kan ettervekst i distribusjonsnettet reduseres. Utenlandsk litteratur angir at en fri klorrest på 0,1 mg/l må til for å forhindre bakterievekst i vannet og på de flater vannet står i kontakt med. Dette er en langt høyere klorrest enn det som er akseptabelt i Norge, på grunn av at det medfører klorlukt- og smak av vannet, noe vi ikke er vant til. I det etterfølgende blir det presentert resultater fra forsøk med effekten av forskjellige desinfeksjonsmidlers ettervirkning i nye plastledninger, og fra utprøving av forskjellige desinfeksjonsmidlers effekt som "konserveringsmiddel" i et allerede begrodd distribusjonsnett for drikkevann.

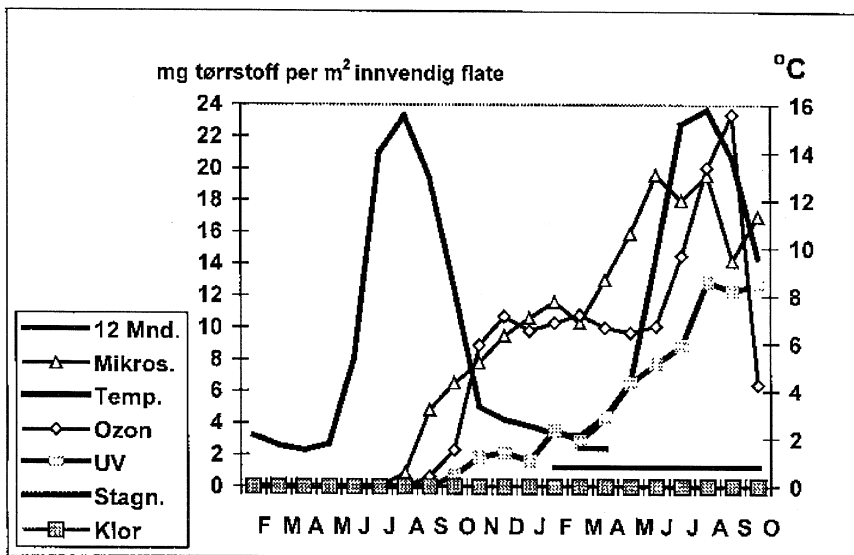
Begroingshindrende rest-effekt i vann etter forskjellige desinfeksjonsprosesser, testet i nye plastledninger.

Resultatene som presenteres i det etterfølgende er en bi-effekt av det som var hovedhensikten med dette forskningsprosjektet, som var en del av et doktorgradsarbeide (V. Lund 1991). Det var kjent at desinfeksjonsmidlet ozon, som også benyttes til andre formål, spalter humusmolekyler i mindre, organiske komponenter som et lett ned-

brytbare for bakterier. Humusholdig ozonbehandlet vann fører derfor til begroing dersom det slippes direkte inn i et vannforsyningsnett. Hensikten med prosjektet var å undersøke om også klor og UV-bestråling kunne føre til avspaltning av lett nedbrytbare organiske forbindelser fra humusmolekyler. Prosjektet ble utført i et vannverk der ozon ble benyttet til både bleking og desinfeksjon av humusholdig vann. Råvannet ble i vannverket mikrosilt, ozonert, alkalisert ved tilsetning av kalk, og tilsett kloramin som konserveringsmiddel.

Forsøksanlegget besto av fire lengder på ca. 2,6 m, av Upoten PEH ledning med indre diameter 20,4 mm, for bruk med drikkevann. Ledningen var kuttet opp i lengder på 20 cm, og sammenføyd med messingunioner slik at en og en rørbit kunne tas ut, og eventuell begroing i røret kunne høstes og analyseres. Lengdene besto av 12 rørbiter, hvorav en ble høstet hver måned. Den først høstede rørbiten hadde derfor vært eksponert til det desinfiserte vannet i 1 måned, den sist høstede i 12 måneder. Fordi en ny rørbit alltid ble satt inn i stedet for den som ble tatt ut, hadde alle rørbiteene etter 12 mnd. forsøksstid vært eksponert til vannet i 12 måneder. Dette er markert på figur 1, som viser utvikling av begroingen i forsøksanlegget.

En av rørlengdene ble tilført mikrosilt vann, som representerte ikke desinfisert vann. En annen streng med mikrosilt vann ble bestrålt med UV-dose ca. 42.000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$. Normal minimumsdose ved norske vannverk er 16.000 $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$, men høyere dose ble



Figur 1. Begheiringshindrende resteffekt i vann etter forskjellige desinfeksjonsprosesser

benyttet her fordi hensikten var å undersøke om lavmolekylært organisk stoff ble avspaltet fra humusstoffene i vannet. En tredje streng mikrosilt vann ble desinfisert med klor etter vanlig utførelse i norske vannverk (klor tilsatt i en konsentrasjon som gir påvisbar klorrest etter 30 minutters klorkontaktid, 0,05 mg/l av fritt klor, målt med komparator). Vi ønsket at vannet skulle representere tilstanden et stykke ute i distribusjonsnettet, så vannet ble sluppet inn i forsøksanlegget først etter en oppholdstid på 100 minutter. Som oftest inneholdt vannet, selv etter denne oppholdstiden, en så vidt påvisbar rest av fritt klor, 0,04-0,05 mg/l. Den fjerde rørlengden ble tilført vann som var ozonert i behandlingsanlegget, men deretter luftet for å drive ut rester av ozon.

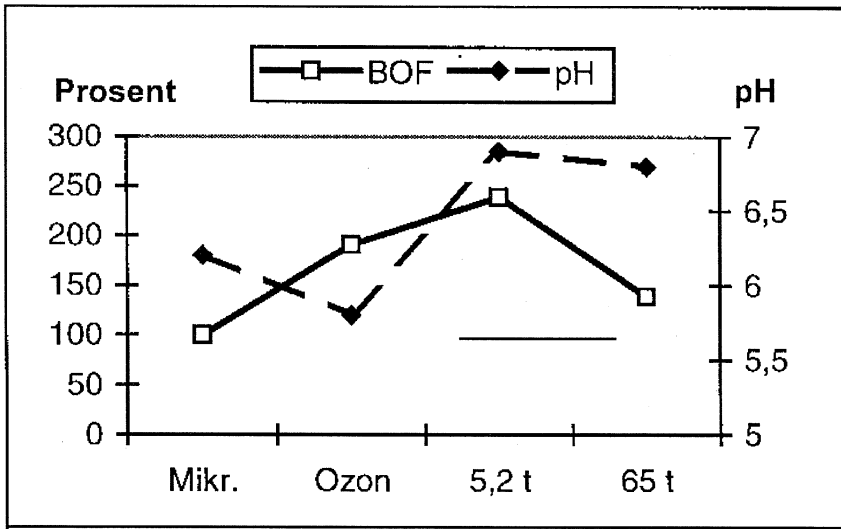
Figur 1 viser forløpet av biofilmdannelsen. Slam ble ikke påvist i noen av strengene før vanntemperaturen det første året nærmet seg maksimum. Dette kan tyde på at det i alle strengene med slamdannelse først måtte etableres en biofilm av fastsittende bakterier, og disse kom ikke til utvikling så lenge vannet var kaldt. Humusstoffene burde ellers ha blitt utfelt på rørveggene i hele den første perioden. Beleggdannelse ble først påvist i mikrosilt vann. Begroingen i strengen med ozonert vann startet litt senere, og stagnerte ved vanntemperatur lavere enn ca. 8 °C, men økte igjen når vanntemperaturen igjen økte. Slamdannelsen i strengen med mikrosilt vann fortsatte å øke i den andre perioden med kaldt vann. Begge disse forløp var stort sett som forventet. Slamdannelsen på rørveggene økte

til en tykkelse der skjærkraften fra det gjennomstrømmende vannet fikk belegg til å løsne, ved slutten av forsøksperioden. Uventet var det imidlertid å finne at det ikke ble dannet tilsvarende mengde belegg som i strengen med mikrosilt vann, i strengen med UV-bestrålt vann. Her var det en tydelig hemmende virkning helt til en kort periode da vanntilførselen til anlegget ble stoppet på grunn av forandringer i vannbehandlingsanlegget. Rørlengdene ble imidlertid stående fylt med vann. Da startet beleggdannelsen her på samme måte som i strengen med mikrosilt vann, selv om vanntemperaturen fremdeles var lav. Senere utførte separate forsøk, med tilsetning av bakterier til UV-bestrålt mikrosilt vann, viste at vannet inneholdt veksthemmende forbindelser som holdt seg i lagret bestrålt vann i inntil syv døgn (V. Lund and D. Hongve, 1994). Effekten skyldes sannsynligvis at det dannes oksiderende stoff, slik som hydroksyl-radikaler, ved bestråling av humusstoffer i vann. I strengen med klordesinfisert vann ble det ikke registrert målbar mengde slam i løpet av de 21 måneder forsøket varte. Dette tyder på at selv en meget lav klorrest i vannet kan forhindre at fastsittende bakterier fester seg på rørveggene og starter dannelsen av biofilm. I disse strengene hadde vannet en oppholdstid på bare 4-5 sekunder. En kan derfor ikke slutte at virkningen vil være den samme selv i et helt nytt ledningsnett for drikkevann, med en oppholdstid for vannet på mange timer.

Effekt av forskjellige desinfeksjonsmidler på etabert biofilm i ledningsnett.

Resultatene som presenteres her er tatt fra to oppdragsrapporter fra Norsk institutt for vannforskning, NIVA (K. Ormerod 1967, K. Ormerod og H. Efraimsen 1974), med tillatelse fra oppdragsgiver.

Det samme vannverket som foran nevnt, fikk første høst etter igangsettelse av alle behandlingstrinnene til og med kalking, klager over brunt slam i vannet. Undersøkelser i tiden som fulgte viste at slammets vesentlig var dannet av bakterier, med dominans av en bakterie som er i stand til å feste seg til flater og danne ett nettverk av tråder, da den danner datterceller i enden av tråden. Bakterien kalles *Hyphomicrobium*. Prøver av slammets ble sendt til eksperter i Australia, der en slik bakterie hadde vist seg å produsere slam på veggene i en kraftverkstunnel slik at vannføringen ble redusert, og bakterien oksiderte også jern og mangan slik at slammets ble mørk brunt. Det viste seg at slamdanneren i det norske vannverket også var en jern- og manganoksiderende *Hyphomicrobium*. Denne bakterien har spesialisert seg på opp-tak av karbonkilder med bare ett til to karbonatomer og vekst i strømmende vann. For å klargjøre om næringsstoffene for disse bakteriene ble produsert i behandlingsprosessene, ble mange serier av analyser for biokjemisk oksygenforbruk, BOF, utført etter hvert trinn i behandlingsprosessen. Resultatene er



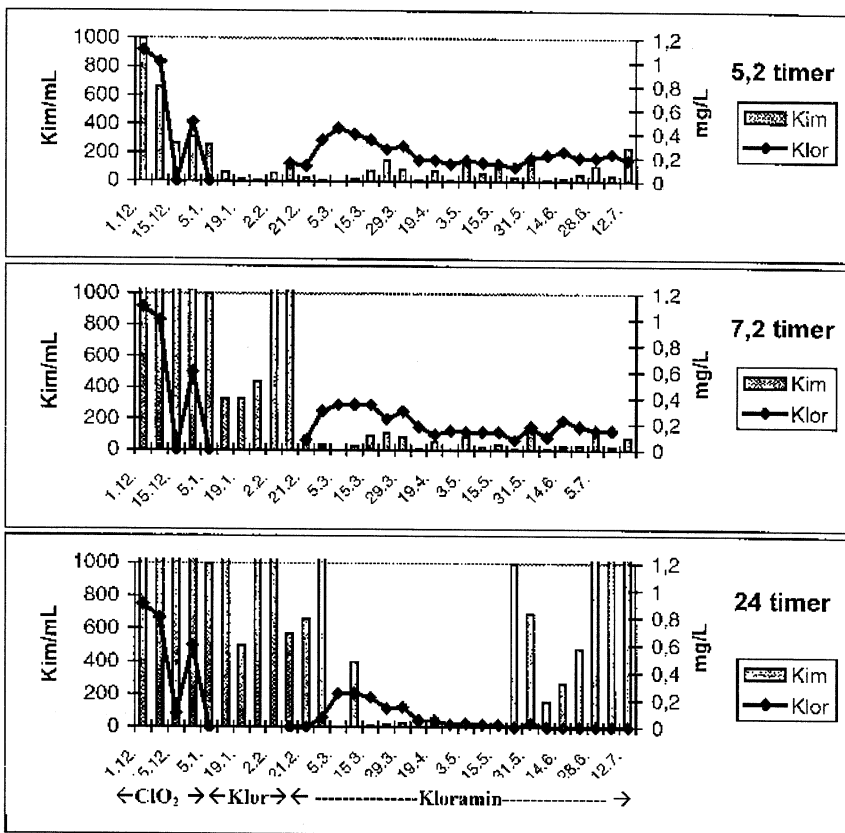
Figur 2. Økning i BOF, biokjemisk oksygenforbruk, etter ozonering og kalking, samt på nettet etter 5,2 og ca 65 timers oppholdstid, som prosent av BOF for mikrosilt vann

vist i figur 2. De funne oksygenforbruk var svært lave, selv med opp til 14 dagers testtid. Derfor ble forbruket for ozonert vann og kalket vann kalkulert i forhold til forbruket for mikrosilt vann, for hvert sett. Snittverdiene for flere sett er vist i figuren. Det viste seg at ozoneringen gjorde det organiske stoffet i vannet mer nedbrytbart, men vannet ble også surere, slik at det biokjemiske oksygenforbruket nådde maksimum først etter kalkingen. Etter ca. 65 timer i distribusjonsnettet var BOF fremdeles høyere enn i mikrosilt vann, så vannet inneholdt fremdeles lett nedbrytbart stoff som førte til begroing.

Slamdannelsen var størst om sommeren, men kom også til syne som brune fnokker i vannet ved høyt vannforbruk ellers i året. Det ble derfor besluttet å

tilsette klor til vannet ut fra behandlingsanlegget, som "konserveringsmiddel" som skulle forhindre bakteriene i å formere seg. Klor ble først tilsatt i lav konsentrasjon, og fri klorrest i vannet ble analysert ved et prøvested et kort stykke etter utløpet av renvannsmagasinet, der vannet hadde hatt en gjennomsnittlig oppholdstid på 5,2 timer. Ingen klorrest ble påvist, og tilsetningen ble økt til 3,2 mg/l før det så vidt gjorde seg utslag i målbar klorrest etter 5,2 timers oppholdstid. Det ville derfor være nytteløst å få en rest av fritt klor ut til den ytterste delen av distribusjonsnettet, det vannets oppholdstid kunne være mer enn 65 timer.

Klordioksid hadde imidlertid vist seg å gi en bedre holdbar klorrest ved vann-



Figur 3. Sammenheng mellom målt klorrest og kimtall ved bruk av klor, klordioksid og kloramin som konserveringsmiddel i vannet.

Kimtall over 1000/ml er vist som søyler som går ut over skalaen.

Fra mars til midten av juli økte vanntemperaturen fra 1,8 til 14 °C

verk i utlandet, og etter en forsøksperiode med doseringsutstyret ble tilsetning av klordioksid som konserveringsmiddel satt i vanlig drift. Høy klorrest ble målt til og med ved prøvesteder der vannet hadde hatt en oppholdstid på mer enn 60 timer, så dette så ut til å være lovende. Før "konserveringsmiddel" ble tilsatt hadde vannet i ledningsnettets ofte hatt kimt-

all godt over 100 per ml, og kimtallsanalyser ble inkludert for å registrere effekten av den målte klorresten. Stor var overraskelsen da kimtallene nå var steget "over alle grenser", selv om den målte klorrest var høy. Vi trodde at det kom av at begroingsbelegget på veggene holdt på å løsne, og alle magasin ble fylt til maksimalt volum for å kunne spyle ledningsnettets på kort varsel.

Kimtallene fortsatte å være høye, men begroingen løsnet ikke. Analyse av vannets klorrest med en annen metode enn med komparator, avslørte at klordioksid var gått over til kloritt ved reaksjon med organisk stoff. Kloritt har en svak desinfiserende virkning, og den har sannsynligvis ført til at bakteriene i den ytterste begroingsfilmen løsnet og kom ut i vannet, men mange av dem hadde fremdeles formeringsvevnen i behold. Det ble tatt kontakt med Helsedirektoratet, som etter råd fra Statens institutt for folkehelse, frarådet tilstedeværelse av kloritt i drikkevannet.

Det ble så besluttet å prøve kloramin som konserveringsmiddel. Etter en periode med laboratorieforsøk ble tilsetning av kloramin, stort sett i forholdet 3 deler klor og 1 del ammonium, startet med forsiktighet. Ammonium ble tilsatt først, for klor reagerer raskere med ammonium enn med organisk stoff. Det kan dannes tre kloraminforbindelser, mono-, didi- og fri-kloramin, hvorav alle har desinfiserende virkning, men noen gir tydeligere "klor"-lukt og -smak på vannet enn andre. Derfor ble det startet forsiktig. Overgangen mellom bruk av klordioksid, en mellomperiode med klor, og så bruk av kloramin, er vist på figur 3. Ved bruk av kloramin ble det registrert aktiv klorrest i nettet helt til ytterste punkt, så lenge vannet var kaldt. I sommerperioden, da vanntemperaturen steg opp mot 16 °C, ble klorresten redusert, men var fortsatt tilstede etter en oppholdstid på 7,2 timer. Lenger ute på nettet ble klorrest i denne perioden bare sporadisk påvist eller var ikke tilstede,

og vannet viste igjen høye kimtall. En økning av kloramintilsetningen lot seg ikke gjøre på grunn av problemer med vond lukt og smak på vannet i den øvre delen av distribusjonsnettet. Det viste seg vanskelig å bekjempe begroingen i ledningsnettet ved å tilsette vannet "konserveringsmiddel", fordi vannet etter behandlingen hadde for høyt innhold av organisk stoff. Overskrider grenseverdiene i Drikkevannsfor-skriften, bør det organiske stoffet fjernes i behandlingsanlegget. Et slikt behandlingstrinn er nå innført i det omtalte vannverket.

Konklusjon

Skal klor benyttes som konserveringsmiddel i vannet for å redusere begroing av ledningsnettet, må vannet ha lavt innhold av organisk stoff, ellers omdannes det frie klor til klororganiske forbindelse som har liten desinfeksjonseffekt, og dessuten er uønsket i drikkevann. Med klordioksid som konserveringsmiddel dannes kloritt ved kontakt med organisk stoff. Kloritt har en svak oksidativ effekt som løsriver bakterier fra begroingsbelegg, men inaktiverer dem ikke. Kloritt er også uønsket i drikkevann. Ved bruk av ozon til bleking og/eller desinfeksjon av humusholdig vann dannes assimilert organisk stoff som må fjernes før vannet slippes ut i ledningsnettet. Begrodd ledningsnett vil ellers bli resultatet. Kloramin kan benyttes som konserveringsmiddel i vann med noe høyere innhold av organisk stoff, fordi klor danner en sterkere binding til ammonium enn til organisk stoff, og klor-

aminene har en tilstrekkelig desinfiserende effekt. Denne effekten holder seg best i kaldt vann. Ved økende vanntemperatur fra 6 °C ble det registrert en nedgang i målt klorrest selv etter en oppholdstid på ca. 7 timer. Doseringen av kloramin kunne ikke økes på grunn av klage på klorlukt og -smak på vannet i den øverste delen av distribusjonssområdet.

Referanser

Lund, V. and Ormerod, K. 1991: The influence of disinfection processes on biofilm formation in drinking water distribution systems. In: Thesis for the Degree of Doctor Scientiarum: Drinking water disinfection processes - Effect on microorganisms and organic substances in water, by Vidar Lund. Department of Food Hygiene, Norwegian College of Veterinary Medicine,

Oslo.

Lund, V. and Hongve, D. 1994: Ultraviolet irradiated water containing humic substances inhibits bacterial metabolism. *Wat.Res.* 28: 1111 - 1116.

Ormerod, K. 1967: Undersøkelse av slamdannelse i vannforsyningsnettet fra Aurevatn, Bærum, i perioden januar 1965 til juli 1966. Oppdragsrapport 0-31, Norsk institutt for vannforskning, Oslo.

Ormerod, K. og Efraimsen, H. 1974: Slamdannelse i vannforsyningsnettet fra Aurevatn, Bærum, i perioden januar 1966 til februar 1969. Oppdragsrapport 0-31, Norsk institutt for vannforskning, Oslo.