

Desinfeksjon — Aktuelle prosesser

Av James D. Berg.

James D. Berg er Ph.D. og ansatt i Aquateam,
Norsk vannteknologisk senter A/S.

Innledning

Desinfeksjon er en av de grunnleggende behandlingsprosessene som er nødvendig i de fleste vannverk. Hensikten med å desinfisere drikkevannet er:

- å drepe/inaktivere patogene mikroorganismer som skaper dårlige hygieniske forhold,
- å kontrollere jern/mangan ved oksidasjon (16),
- å hindre begroing av mikroorganismer og å forebygge korrosjonsproblemer i behandlingsanlegg og ledningsnett,
- å minimere eller eliminere lukt- og smaksproblemer.

I følge en undersøkelse gjennomført av SIFF i 1988 (12), er det behov for å forbedre behandlingen på svært mange norske vannverk, bl.a. ved å inkludere desinfeksjon. Blant 1487 vannverk anbefales det at ca. 500 anlegg oppgraderes til «fullrensing» eller «filtreringsanlegg». I noen områder er situasjonen spesielt dårlig, f.eks. i Finnmark, forsynes kun 72% av befolkningen med hygienisk betryggende vann (13). En annen undersøkelse gjennomført av SIFF viser at 60% av vannkildene er

«ubeskyttet» (7). I 1987 ble 3573 tilfeller av mage-tarminfeksjoner registrert i landet. En del av disse tilfellene skyldes påvirkning av forurenset ubehandlet drikkevann (7, 8, 9). Derfor er minimumsbehandlingen bestående av filtrering pluss desinfeksjon, blitt anbefalt for å hindre smittespredning av patogene mikrober (10).

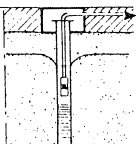
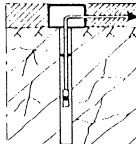
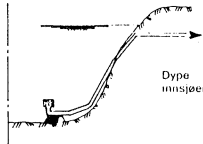

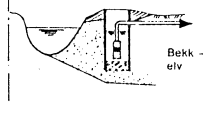
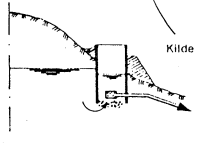
I en annen referanse er desinfeksjon blitt anbefalt i alle tilfeller, uansett om kildens kvalitet er god eller dårlig, se figur 1 (1). Andre behandlingsprosesser må selvfølgelig også vurderes, avhengig av kildens kvalitet. Effekten av noen desinfeksjonsmetoder er avhengig av vannkvaliteten, og dermed av de andre behandlingsprosessene.

Alternative desinfeksjonsprosesser

Det eksisterer mange alternative desinfeksjonsprosesser for drikkevann (4), men vi skal fokusere på de metodene som er mest aktuelle i Norge, prosesser som passer bra til små byer og tettsteder, der behovet er størst.

De mest kjente alternativene er:

- klorering med: klorgass (Cl_2), hypokloritt ($\text{Ca}(\text{OCl})_2$ evt. NaOCl), kloramin eller elektroklorering av koksalt,

KILDE	KILDENS KVALITET	BEHANDLING								
		DESIN- FISERING	LUFTING	SILING	FILTRE- RING SAND	AC	AV- HERDING	JERN- MANGAN FJERNING	KJ. FELLING Dr. H.	ALKA- LISERING
 Grunnvann fra løse avsetninger	God	(X)	X							(X)
	Middels	X	X							(X)
	Dårlig	X	X				X	X		(X)
 Grunnvann fra fjell	God	X								(X)
	Middels	X								(X)
	Dårlig	X	X				X	X		(X)
 Dype innsjøer	God	X		X						(X)
	Middels	X			X					(X)
	Dårlig	X							X	(X)
 Grønne innsjøer	God	X		X	X					(X)
	Middels	X							X	(X)
	Dårlig	X				X			X	(X)
 Bekk elv	God	X								(X)
	Middels	X				X				(X)
	Dårlig	X				X			X	(X)
 Kilde	God	X	X							(X)
	Middels	X	X							(X)
	Dårlig	X	X				X	X		(X)

Figur 1. Skjematisk oversikt over forventet vannbehandling, avhengig av kildevalg. (1)

- klordioksid (ClO₂),
- ultrafiolett bestråling (UV),
- ozon (O₃),
- filtrering.

Blant disse alternativene er det bare klor og klordioksid som gir «restbeskyttelse» mot begroing av mikroorganismer i anlegget eller i ledningsnettet. Begroing kan skape problemer som gjentetting av rørene, biokorrosjon, lukt/smak og mage-tarmsykdommer. De siste tilfellene kan inntreffe uansett vannkildens kvalitet, som vist i Hørnefors i Sverige, hvor en grunnvannskilde uten klorering bidro til en epidemi på 1970-tallet (2). Verken ozon eller UV gir «restbeskyttelse», men er ellers svært effektive mot de fleste mikroorganismer. Filtrering anbefales som forbehandling til desinfisering på anlegget, men kranfiltre i huset er ikke anbefalt (14).

Klorering

Klorering er den vanligste måten å desinfisere drikkevann. I følge SIFF (3):

«Generelle krav til kloreringsanlegg er:

- Klorkontaktiden før første forbruker skal være minimum 30 minutter. Det skal kunne måles klorrest etter 30 minutters oppholdstid.
- Fullstendig reserveapparat for desinfeksjon skal etableres.
- Dersom kloreringsanlegget er avhengig av elektrisk strøm, må det etableres to uavhengige strømtilførsler (f.eks. nødstrømsaggregat), eventuelt må vannleveransene automatisk kunne stoppes.
- Klor bør doseres proporsjonalt med vannmengden.»

Fordelen med klorering er relativt rimelige driftskostnader, og en mulig restbeskyttelse mot bakteriell forurensning av drikkevannet.

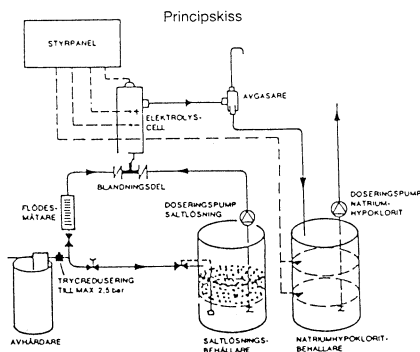
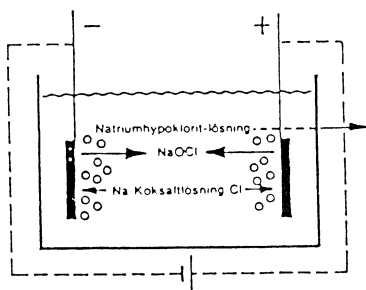
Ulempene er hovedsakelig knyttet til dannelsen av klororganiske forbindelser, og forbindelser som under klorering kan forårsake lukt/smaksproblemer (19). Noen av disse forbindelsene er kreftfremkallende, men dannes i norske vannverk vanligvis i lave konsentrasjoner, på grunn av de relativt lave klordosene som brukes.

Natriumhypokloritt (NaOCl) er mest brukt. NaOCl leveres som løsning i kanner, og er enkel å dosere. Løsningen taper seg imidlertid over tid, og bør ikke lagres over lengre periode (maksimalt 1/2 år). Kalsiumhypokloritt kan lagres over lengre periode, men er noe dyrere.

Kloramin (NH₂Cl) dannes ved at klorgass og ammoniakk doseres i vannet. Metoden har relativt svak desinfiserende virkning, og kontaktiden med vannet er lenger (>2 timer) enn for de øvrige klorforbindelser. Langtidseffekten mot begroing på nettet er bedre enn ved bruk av klor alene. Organiske klorforbindelser produseres i mindre grad enn ved dosering av samme dose klor alene. Kun ett norsk vannverk anvender prosessen. (Må ikke forveksles med kloramin B og kloramin T). (3).

En prosessstype som er aktuell for små og middels store anlegg, men som idag er lite anvendt i norske vannverk, er elektroklorering basert på bruk av koksalt. En doseringsferdig løsning på ca. 1,0% NaOCl produseres i anlegget. Anlegget inkluderer saltmettet tank, blandepanel, elektrolysecelle, lagertank og doseringspumper som vist i figur 2.

Elektrolysschema



Figur 2. Elektroklorering med bruk av koksalt (4).

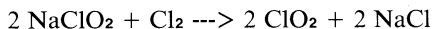
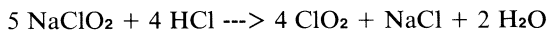
Fordelen med denne type kloring er enkel drift, lave driftskostnader, lite vedlikehold og ingen håndtering eller transport av farlig gods, f.eks. klorgass. Ulempen er en høyere anleggsinvestering enn for standard hypokloritt-doseringsanlegg. To vannverk i Norge har fått slike anlegg i 1988–89, nemlig Bergen og Karmøy kommuner.

Klordioksid

Klordioksid (ClO_2) har vært i bruk i flere år i Tyskland og Frankrike som et av de primære desinfiseringsmidlene for drikkevann. Prosessen gir restvirkning også i ledningsnettet. Omtrent 200 var i drift i Europa for ti år siden, og prosessen er blitt like populær i USA. I

løpet av de siste ti årene er klordioksid blitt benyttet som et alternativ til kloring, stort sett i forbindelse med nye regler angående dannelse av klorerte hydrokarboner. Imidlertid, er ClO_2 idag ikke anvendt i norsk drikkevannsforsyning. Avgjørelsen om å velge ClO_2 i stedet for andre desinfeksjonsmetoder (f.eks. annen form for kloring, osone-ring, eller UV-bestråling), er avhengig av behov på tre områder: 1) restbeskyttelse mot begroing på nettet, 2) for å unngå dannelse av klorerte organiske forbindelser, og 3) for å unngå lukt- og smaksproblemer (22).

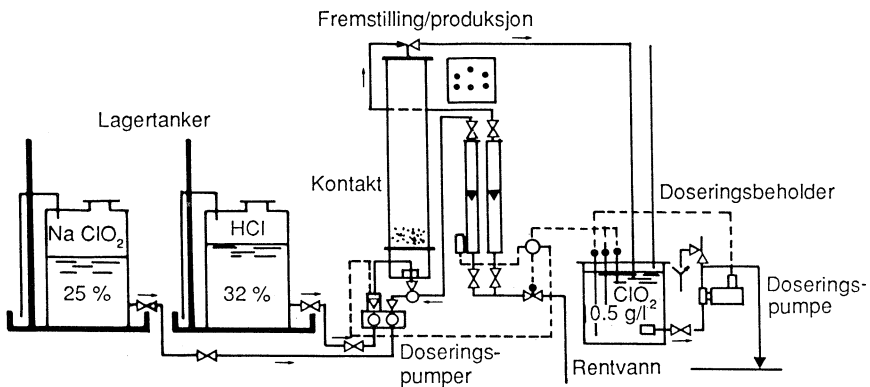
Klordioksid dannes fra natriumkloritt og saltsyre, eller fra natriumkloritt og klorgass:



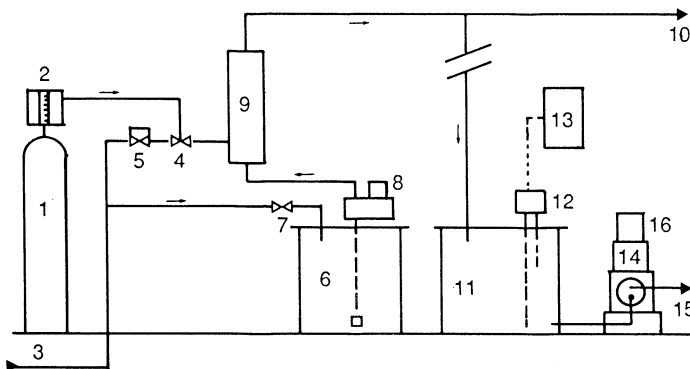
Typiske anlegg for å produsere ClO_2 er vist i figur 3.

Klordioksid er like effektivt som klorgass, natrium- og kalsiumhypokloritt. Klordioksid regnes for å være meget

effektivt med hensyn på å hindre begroing i ledningsnettet. På tross av lave doseringer regner man med å kunne ha en resteffekt ute på nettet. Hvis fenoler i perioder er til stede i vannet, vil klor-

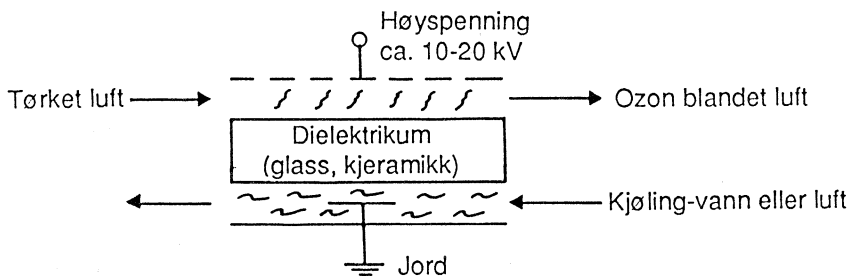


- | | |
|----------------------|---|
| 1. Klograss | 10. Konstant dosering |
| 2. Klorvann bereder | 11. Lagertank |
| 3. Rentvann | 12. Nivåføler |
| 4. Ejektor | 13. Kontrolltavle for klorinator og doseringspumpe |
| 5. Magnetventil | 14. Doseringspumpe |
| 6. Kloritt generator | 15. Proporsjonaldosering |
| 7. Fortynningsvann | 16. Frekvens eller hastighetsregulator for doseringspumpe |
| 8. Doseringspumpe | |
| 9. Reaksjonskammer | |



Figur 3.

ClO_2 må produseres på vannverket ved gasskloraktivering (nederst) eller syreaktivering (øverst).



dioksid systematisk hindre dannelse av klorfenoler som gir uønsket lukt og smak på vannet. Klordioksid har ingen effekt på en rekke andre smaksforbindelser. For høye konsentrasjoner av natriumkloritt, er uønsket i vannet (4, 17, 23). I følge myndighetene i USA skal grensen for total klordioksid + kloritt i drikkevannet være mindre enn 1 mg/l. En undersøkelse i Norge i 1983 viser at man kan forvente å finne 0,1–0,2 mg/l kloritt etter normal dosering av 0,2–0,4 mg/l ClO_2 (21). I denne studien ble det ikke påvist haloformer som indikerer dannelsen av klorerte hydrokarboner.

Ulempen med ClO_2 er hovedsakelig at driftskostnaden er dyrere enn for vanlig klorering.

Ozon

Ozon framstilles på stedet ved elektrisk utladning i luft (figur 4). Metoden er lite brukt til desinfeksjon i Norge, men har stor utbredelse i Europa og USA for øvrig (5, 6). Ozon er meget effektivt til desinfeksjon. Ozon reduserer farge, lukt og smak. Humus omdannes til biologisk nedbrytbart organisk materiale. Ved behandling av humusvann vil det være behov for etterfølgende behandling, f.eks. sandfiltrering eller aktiv karbonadsorpsjon av organisk stoff for å hindre økt begroing i ledningsnettet (4).

Det tekniske anlegget er relativt komplisert, men driften er forholdsvis enkel. Angående dimensjonering, kan man regne med at 0,5 mg/l O_3 etter 5 min. oppholdstid, tilsvarer en lik konsentrasjon klor etter 30 min. oppholdstid ved pH 7. For å unngå driftsproblemer, bør vannets innhold av total organisk karbon (TOC) være mindre enn 0,2 mg/l, jern <0,05 mg/l og mangan <0,02 mg/l i råvannet (5). Ved høyere konsentrasjoner, bør vannet få en etterfølgende behandling i form av en separasjonsprosess, f.eks. sandfiltrering.

UV-bestråling

I følge SIFF (3), er ultrafiolett bestråling (UV) en effektiv desinfeksjonsmetode. Metoden bør ikke benyttes på vann med høyt innhold av partikulært materiale, mye jern eller på vann med høyt fargetall. (Lav UV-transmisjon medfører store kostnader pr. produsert m^3 vann). Partikulært materiale kan skjeme bakterier og virus mot stråling. Vannet passerer et eller flere UV-rør, og bestråles med ultrafiolett lys. UV-desinfeksjon vil ikke redusere begroing på ledningsnettet slik som klorering, der restklor finnes på nettet, eller ved bruk av klordioksid.

I motsetning til ved klorering, tilsettes vannet ingen fremmedstoffer ved UV-bestråling, og bestrålingen setter ikke smak på vannet. Prosessen er enkel i drift. Det eksisterer små enheter beregnet på enkelthus. Det er nødvendig å rengjøre UV-rørene med jevne mellomrom for å sikre tilstrekkelig dosering. Lampenes stråleeffekt avtar med økende driftstid (ca. 40% etter 7—8000 timers kontinuerlig drift). Lampene bør da skiftes. Lampene bør skiftes 1 gang per år.

Generelle krav til UV-anlegg er:

- anlegget dimensjoneres for maksimal vannkapasitet og etter ugunstigste vannkvalitet, slik at dosekravet $> 16.000 \text{ mWs/cm}^2$ (Ultrad) til enhver tid er oppfylt
- UV bør være siste trinn i vannbehandlingen
- ved vannverk basert på gravitasjon må nødstrøm sikres, eventuelt vannleveransen stoppes, når strømmen går
- et enkelt kloreringsanlegg kreves i reserve
- apparaturen må være typegodkjent av SIFF (3).

Omtrent 300 anlegg er i drift i Norge (2).

Oversikt over kostnader

Et eksempel på typiske anleggs- og driftskostnader under norske forhold er vist i tabell 1 og 2. Vurderingen er oppgitt av en lokal leverandør (24). Tre typer kloreringsprosesser sammenlignes med UV som er noen av de mest aktuelle prosesser tilgjengelig i Norge. Standard hypoklorittløsning viser de laveste investeringskostnader, mens elektroklorering (OSEC), har de laveste driftskostnadene uansett anleggets størrelse.

Ved klordioksid kan man regne med investeringskostnader omtrent tilsvarende et klogassanlegg, men driftskostnader som er to til fem ganger høyere. Driftskostnadene tilsvarer hovedsakelig prisen på natriumkloritt.

Totale behandlingskostnader for klor, klordioksid og ozon fra USA, er vist i figur 5. For det minste anlegget (ca. $150 \text{ m}^3/\text{t}$) og laveste dosering (ca. 1 mg/l), som i alle tilfeller er høyere enn anbefalt dosering i Norge), blir relative kostnader ($\$/\text{m}^3$):

Cl_2	=	0,01	$\$/\text{m}^3$
ClO_2	=	0,02	$\$/\text{m}^3$
O_3	=	0,016	$\$/\text{m}^3$

Tabell 1. Forventede anleggskostnader (NOK) i Norge (24).

<i>Anleggstype</i>	<i>200 m³/h</i>	<i>1600 ³/h</i>
<i>STD. NaOCl</i>		
Lager + blandetanker	21.000 NOK	48.000 NOK
Transportpumpe	6.000 »	10.000 »
Doseringspumper	20.000 »	35.000 »
Montasje	15.000 »	20.000 »
	SUM 62.000 NOK	113.000 NOK
<i>STD Klorgass</i>		
Kloreballasje (445 kg/4 500 kg)	12.000 NOK	136.000 NOK
Klorgassapp. m/omsjaltetpanel	80.000 »	90.000 »
Klorgassvarslere	22.000 »	22.000 »
Montasje	15.000 »	20.000 »
Klorvekter/Gassnøytr.anl.	?	?
	SUM 129.000 NOK	268.000 NOK
<i>OSEC¹⁾</i>		
Elektrolyseceller, kontr.panel	150.000 NOK	230.000 NOK
Salttank, lager/dos.tank	INKL.	22.000 »
Transportør for salt	15.000 »	20.000 »
Doseringspumper	20.000 »	35.000 »
Montasje	10.000 »	20.000 »
	SUM 195.000 NOK	327.000 NOK
<i>UV</i>		
UV-aggregater	350.000 NOK	1.500.000 NOK
Montering	15.000 »	60.000 »
	SUM 365.000 NOK	1.560.000 NOK

1) Elektroklorering

Tabell 2. Forventede driftskostnader (NOK) i Norge (24).

Anleggstype	200 m ³ /h	1600 ³ /h
<i>STD. NaOCl</i>		
15% NaOCl, kanner/bulk	20 NOK	18 NOK
Mellomlegg kannepant	2 »	— »
Pris pr. kg 100% klor	22 »	18 »
Kostnad pr. år	16.060 NOK	105.120 NOK
<i>STD Klorgass</i>		
100% Cl ₂ på flaske/fat, pr. kg)	21,70 NOK	8,80 NOK
Kostnad pr. år	15.841,00 NOK	51.392,00 NOK
<i>OSEC¹⁾</i>		
Salt 2,1 kg/3 kg á 1,20	2,52 NOK	3,60 NOK
Strøm 4,1 kWh á 0,31	1,27 »	1,27 »
Pris pr. kg 100% klor produsert	3,79 »	4,87 »
Kostnad pr. år	2.766,00 NOK	28.440,00 NOK
<i>UV</i>		
Bytte av UV-stålrør	15'—30' NOK	20'—250' NOK
Strøm	9'— 6' »	13'— 45' »
Kostnad pr. år (x 1000)	24'—36' NOK	33'—295' NOK

1) Elektroklorering

Konklusjoner

I Norge er det behov for å oppgradere desinfiseringen av drikkevann, og minimumsbehandling av overflatevann bør inkludere filtrering pluss desinfisering. De fleste små vannverk i Norge som krever oppgradering, kan benytte disse retningslinjer for å begynne vurderingsprosessen:

Forventet kvalitet/problemer:

- Dårlige hygieniske forhold
Begroing på nettet
- Dårlige hygieniske forhold
Begroing på nettet
Lukt/smak hos konsument
- God kvalitet på kilden
Ingen begroing

Bruk:

- Klor (med restklor på nettet eller i kombinasjon med kloramin)
- Klordioksid
- Filtrering + UV

REFERANSER

- (1) Bjerke, T.: Vann — Avløp — Renovasjon for Turistbedrifter. Østlandskon-sult A/S, Oslo, 1988.
- (2) Hellberg, B. og S. Löfgren: Gastrointestinal disturbances due to an establish-ed bacterial contamination of a water distribution system. *Vatten* 44: 277—281. 1988.
- (3) Statens institutt for folkehelse: Drikkevann B!: Hovedprinsipper for behandling og distribusjon av drikkevann. Oslo, 1984.
- (4) Zätterquist, I.: Bakteriefritt vatten en nödvändighet — en översikt över desinfektionsmetoder. *Vatten* 43: 94—99, 1987.
- (5) The Institution of Water Engineers and Scientists: Proceedings of Seminar on Ozone in UK Water Treatment Practice — The Future. London, 1984.
- (6) LePage, W.L.: A treatment plant operator assesses ozonation. *Jour. AWWA* 77: 44—48, 1985.
- (7) Ellingsen, K.: Vannforsyning i Norge. *Vann* 4: 590—596, 1988.
- (8) Hasseltvedt, V.: Infeksjonssykdommer knyttet til drikkevann. *Vann* 4: 597—606, 1988.
- (9) Lassen, J.: Nye utfordringer: problemorganismer i drikkevann. *Vann* 4: 607—615, 1988.
- (10) Lund, V.: Er desinfeksjon nok for å hindre smittespredning av nye drikke-vannsbårne mikrober? *Vann* 4: 616—622, 1988.
- (11) Bergan, E. og T. Thorsen: Anvendelse av membranteknikk i drikkevanns-behandling. *Vann* 4: 665—670, 1988.
- (12) Bergan, E.: Kostnader av membranteknikk i drikkevannsbehandling. SIFF VANN Rapport Nr. 70, 1988.
- (13) Rasmussen, A.: Driftsoppfølging av vannverk: fylkesrapport Finnmark. SIFF VANN Rapport Nr. 71, 1989.
- (14) Bjerkelund, E., E. Knudsen og E. Vik: Kranfiltre for rensing av drikkevann. SIFF-SK Rapport Nr. SK 3/85, 1985.
- (15) Greene, L. and C. Fadzean: Upgrading disinfection installations in Strathclyde Region. *Water and Environmental Management*. 2: 632—637, 1988.
- (16) Knocke, W. *et al.*: Using alternative oxidants to remove dissolved manganese from waters laden with organics. *Jour. AWWA*. 79: 75—79, 1987.
- (17) Singer, P. and W. O'neal: The formation of chlorate from the reaction of chlorine and chloride in dilute aqueous solution. *Jour. AWWA*. 79: 75—76, 1987.
- (18) American Water Works Association: Treatment Techniques for Controlling Trihalomethanes in Drinking Water. AWWA, 1982.

- (19) Kruithof, J.: KIWA Chlorination Manual: Chlorination Byproducts. Production and Control. AWWA Research Foundation, 1986.
- (20) Wiik, T. and J. Ohren: Use of ultraviolet irradiation for disinfection of water—status report from Norway. In «Proceedings of International Workshop on Water Disinfection». I.W.S.A. Mulhouse, France, 1986.
- (21) Berglind, L.: Undersøkelse av vannkvaliteten ved Moss—Rygge fellesvannverk. NIVA, Rapport nr. 80054, 1983.
- (22) Berg, J.: Bruk av klordioksid for desinfeksjon av drikkevann. *VannI*: 167—168, 1988.
- (23) Werdehoff, K. and P. Singer: Chlorine dioxide effects on THMFP, TOXFP, and the formation of inorganic by-products. *Jour. AWWA*. 79: 107—113, 1987.
- (24) Beckmann; Alfsen og Gunderson A/S. Personlig samtale. Oslo, 1989.