

Mikrobielle forhold ved drikkevannsbehandling

Av Truls Krogh

Truls Krogh er siv.ing. fra NTH ved Institutt for Teknisk Biokjemi i 1970. Han er ansatt ved Sanitær-kjem. avdeling ved SIFF.

Innledning.

Det er funnet mange beviser for at selv de eldste kulturfolk visste at drikkevannet måtte være hygienisk betryggende. I Babylon og Assyria ble det bygget store vannforsyningssanlegg allerede tre til fire tusen år før vår tidsregning, og i India ble vannet renset for flere tusen år siden. Selv om man den gang ikke hadde noen viden om sykdommenes egentlige årsak, hadde man en klar bevissthet om at vann kunne bære smitte. I Europa medførte middelalderen et forfall i vannhygienen, og det var først i det 19. århundre man igjen fikk forståelse om at sykdommer kunne overføres gjennom drikkevann. Siden den gang har det vært en stadig økning i viten om vannbårne patogener, og man har fått forståelse for at vann i de fleste tilfeller må behandles før det benyttes til drikkevann.

Prinsippet for all vannforsyning til større anlegg i Norge er at vannet skal ha en hygienisk betryggende kvalitet. For alle overflatevannkilder forlanges det desinfeksjon etter godkjent metode.

Patogener og drikkevann.

Patogener som er viktige i forbindelse med drikkevann, kan deles inn i fire grupper basert på cellestruktur. Disse er:

1. Bakteriesporer
2. Cyster av protozoer
3. Virus
4. Vegetative bakterier.

Gruppen er satt opp i henhold til resistens mot kjemisk desinfisering med den mest resistente gruppen først (Hoehn (1976)). I gruppe 1 er det mange viktige sykdomsagens (miltbrannbakt, stivkrampebakt og botulisme bakt). Og selv om det ikke har vært påvist at disse har smittet gjennom vann, må man i praksis ta hensyn til at slike agens bør uskadeliggjøres.

I gruppe 2 er den hyppigst forekommende organismen *Entamoeba histolytica* (amøbedysentri), men i den senere tid har det i flere land vært en stadig økende utvidelse av giardiasis (*Giardia lamblia*) (Craun et al (1976)). En oversikt over 256 tilfeller av giardiasis i Colorado i 1972 — 73 viste at ubehandlet eller kun klorert vann var viktige overføringsveier for sykdommen. Den vanlige mengde klor som benyttes i amerikanske vannverk (høyere enn i Norge) har ingen innvirkning på cystene fra denne organismen. Cystene kan overleve og være infektiose etter mer enn 16 døgn opphold i vann i en naturlig vannkilde.

I gruppe 3 er de eneste sikre vannbårne virussykdommer hepatitt type A og kanskje poliomylitt (Sobsey, 1975).

I tillegg kommer gastroenteritt som er antatt å være virussykdom fordi man ikke har klart å påvise noen bakteriell årsak

til sykdommen. Dessuten finnes det en del virus som man antar kan smitte gjennom vann (Tabell 1).

Tabell 1. (Etter Sobsey 1975) *Enteriske virus og deres assosierede sykdommer.*

Virusgruppe	Antall typer	Vanlige sykdomssyndromer
Enterovirus		
Poliovirus	3	Poliomyelitt, aseptisk meningitt.
Coxsackievirus A	23	Herpangina, aseptisk meningitt exanthem.
Coxsackievirus B	6	Aseptisk meningitt, epidemisk myalgia, myocarditis perocarditis, (epidemisk opptreden).
Echovirus	31	Aseptisk meningitt, exanthem gastroenteritt.
Adenovirus	31	Infeksjon i de øvre luftveier pharyngitt, conjutival feber.
Reovirus	3	Infeksjon i de øvre luftveier diaré, exanthem.
Hepatitt type A virus	1?	Infektiøs hepatitt.
Gastroenteritt virus	?	Akutt infektiøs ikke-bakterisk gastroenteritt.

I følge Taylor (1974) er en plaque-forming unit (PFU, viruspartikkel som gror i en kultur) en infektiøs dose. En infeksjon trenger imidlertid ikke medføre et utbrudd av sykdom, men den infiserte kan likevel bli smittebærer. Det er beregnet at 1 av 100 eller 1000 smittede utvikler symptomer på sykdom for mange virussykdommer. Dette gjør det meget vanskelig å finne frem til den primære spredningsvei, som kan være drikkevann, på grunn av at sekundære spredningsveier kan være i overvekt. Den vanlige klor-

doseringen i vannbehandlingsanlegg er ikke tilstrekkelig for å ødelegge all virus.

De fleste sykdomsfremkallende bakterier (gruppe 4) som kan spres gjennom vann (tabell 2), danner ikke sporer, og de vil derfor drepes effektivt ved alle vanlig benyttede desinfeksjonsmetoder. (For mer utførlig omtale av mikrobielle sykdommer som overføres via vann, henvises det til Lassen og Omlands innlegg).

Tabell 3 viser en oversikt over forskjellige årsaker til at sykdommer har blitt spredd gjennom vannforsyningsanlegg.

Tabell 2. Liste over vannbårne infektiøse patogene bakterier og deres respektive sykdommer (etter Harremoës et al 1977).

Bakterie	Sykdom	Bemerkning
Salmonellae	salmonellose	mer enn tusen serotyper, angriper mennesker og dyr. Hyppigste vannvårne tarminfeksjon i Danmark.
S. typhi	tyfus	
S. paratyphi	paratyfus	
Shigellae	shigellose = bakt. dysentri	I Skandinavia opptrer sonnesbacil; importerte tilfeller.
Vibrio cholerae	kolera	forekommer stadig i S.Ø. Asia, det mest kontagiøse patogen som finnes.
Leptospirae	leptospirose, Weil's sykdom	Signifikant høyere opptreden hos kloakk- og renovasjonsarbeidere; gjennom hud.
Enteropatogen Escherichia coli	EPEC-gastroenteritt	årsak til diaréer hos barn og unge dyr.
Pasteurella tularensis	tularemia = harepest	gnagerpatogen, sekundært vannbåren.
Mycobacterium tuberculosis	tuberkulose	primært luftbåren, meget varierende mottakelighet.

Tabell 3. Utbrudd av vannbårne sykdommer etter årsakstype fra USA 1971—74 (Craun et al. 1976).

	Utbrudd	Tilfeller
Ubehandlet overflatevann*	16	5696
Ubehandlet grunnvann**	33	3184
Svikt i behandlingsanlegg	31	7444
Svikt i forsyningsnett	10	507
Diverse	9	119
Totalt	99	16950

* Omfatter syv utbrudd av giardasis hvor vannet var klorert, men ikke filtrert.

** Alle grunnvannskilder var små og dårlige.

Undersøkelsen ble foretatt i USA i perioden 1971—74. Så godt som alle tilfelle skyldes utilstrekkelig behandling av vannet, eller at det hadde oppstått feil i behandlingsanlegget. En del tilfeller skyldtes feil som hadde oppstått på ledningsnettet. Samme undersøkelse viste også at de fleste utbrudd av vannbårne sykdommer forekom i perioden juni til september (materialet fra årene 1946—74). Dette falt sammen med den perioden da ferieturer, camping og picnic var mest vanlig (tabell 4). Undersøkelsen kunne ikke påvise om det skyldtes en

Tabell 4. Sesongfordeling av vannbårne utbrudd 1946—1974 i USA (Craun et al., 1976).

Måned	Større anlegg %	Mindre anlegg %
Januar	5	5
Februar	8	3
Mars	8	4
April	8	7
Mai	8	8
Juni	6	12
Juli	10	22
August	12	16
September	9	10
Oktober	6	7
November	9	3
Desember	10	3
Totalt	100	100

øket bakteriell forurensning av vannkildene på grunn av turismen, eller om det skyldtes at flere personer benyttet vann fra mindre og dårligere vannforsyningssanlegg enn det de vanligvis benyttet.

Drikkevannsbehandling.

I Norge er prinsippet for alle større vannforsyningssanlegg at det skal være to hygieniske barrierer som skal hindre patogene organismer i å nå frem til drikkevannsforbrukerne. Den første barrieren bør være selve vannkilden som bør velges og beskyttes slik at det er lite sannsynlig at smittestoffer kan tilføres denne. I tilfelle hvor dette ikke er mulig, må vannet gjennomgå en betryggende og omfattende behandling (f.eks. fullrensing). Den andre barrienen består av et desinfeksjonstrinn. Denne dobbelte sikringen medfører at man er sikret et hygienisk betryggende drikkevann selv om det ene av de to systemene skulle svikte.

Vannkilder.

Dersom vannkilden skal kunne regnes som den første hygieniske barriere, må den tilfredsstille visse krav. For det første må den menneskelige aktiviteten i nedbørfeltet, spesielt i kildens umiddelbare nærhet, være liten, slik at det er liten fare for at smittestoffer kan tilføres kilden. Dessuten må vannkilden være stor slik at man er sikret en meget stor fortynning av en tilfeldig tilførsel av smittestoff. Dermed vil det være liten sannsynlighet for at den enkelte brukeren vil bli utsatt for en dose, stor nok til å bli smittet. I tillegg vil oppholdstiden i en stor vannkilde være så lang at smittestoffet oftest vil destrueres på grunn av ugunstige miljøbetingelser.

For overflatevannkilder må drikkevannsinntaket legges under temperatursprangsjikt i sommerstagnasjonstiden fordi det er størst fare for at overflatelaget kan infiseres.

For grunnvannskilder må man være sikret at vannet har en tilstrekkelig opp-

holdstid i grunnen, slik at filtreringsprosessen i løsmassene blir effektiv.

Behandlingsmetoder:

a) *Siling* gjennom metallsil eller silduk (vanlig poreåpning 0,5–1 mm) fjerner bare partikler som er større enn silens poreåpninger. Mikrosiler kan ha poreåpninger ned til 25–30 μm . Selv de fineste silduker vil ikke ha noen vesentlig innflytelse på vannets mikrobielle kvalitet. I en rekke anlegg i Norge er siling den eneste vannbehandling som foretas (som regel i kombinasjon med desinfisering). Grovsil i enden av inntaksledningen regnes ikke med.

b) *Filtrering* omfatter to forskjellige former for dybdefiltrering: Hurtig og langsom filtrering.

Hurtig filtrering vil vanligvis si at vannet strømmer gjennom et ca. 1 meter tykt sandlag med en hastighet på 5–10 meter pr. time (egentlig $5\text{--}10 \frac{\text{m}^3}{\text{m}^2 \text{ filter : time}}$).

Oppholdstiden i filteret blir for kort til at biologiske prosesser kan påvirke den fysiske/kjemiske vannkvaliteten. Filteret spyles med jevne mellomrom. Den bakteriologiske kvaliteten kan til en viss grad bedres ved hurtigfiltrering, spesielt i vanntyper der bakterier og virus er knyttet til svevepartikler som holdes tilbake i filtersanden.

Guy et al (1977) oppnådde 18–37% fjerning av poliovirus ved denne metoden. Effekten var uavhengig av belastningen, men jo hyppigere filteret ble spylt, desto lavere effektivitet ble oppnådd. Dette skyldes at filteret ble mindre tett etter spylingen.

Langsom filtrering innebærer at vannet passerer et tykt sandlag med hastighet på 0,1–0,3 meter pr. time. På grunn av den lave hastigheten vil de fleste partiklene i vannet samle seg på filteroverflaten og danne en filterhud som øker effektiviteten av filteret, og en stor del av vannets bakterieflora vil holdes tilbake. Ved rensning av filteret skrapes filterhuden av, og det vil ta en tid før filteret igjen blir like effektivt. I denne delen av filteret vil det foregå mikrobielle omsetninger (derav navnet biologiske filtre). På grunn av den lave vannhastigheten, krever denne metoden store filterarealer.

Det kan benyttes andre medier enn sand til filtreringen (aktivt kull etc.). Amithor og Engelbrecht (1975) beskriver et system av kiselgur belagt med polyelektrolytt som er relativt effektivt for fjerning av virus fra vann, men metoden har kun begrenset verdi.

En del norske vannverk har hurtigfiltrering som eneste behandlingsmetode (som regel i kombinasjon med desinfisering).

c) *Fullrensning* (koagulering og filtrering) innebærer at vannet gjennomgår en omfattende kjemisk behandling (behandlingen tilsvarer kjemisk behandling av kloakkvann). I denne prosessen forbedres både fysiske/kjemisk, bakteriologisk og virologisk kvalitet, idet en får fjernet både partikler, farge, næringssalter (P), en del tungmetaller, en del organiske stoffer og bakterier/virus.

Vannet gjennomgår en firetrinns behandling. I første trinn tilsettes det kjemikalier (fellingsmidler, pH —

justerende stoffer og eventuelt hjelpekoagulanter). Som fellingsmiddel benyttes som regel aluminiumssulfat. I neste trinn felles aluminiumhydroksyd ut under svak omrøring. Det dannes fnokker som etter hvert agglomererer til større fnokker. Til disse fnokkene adhereres bakterier og virus samtidig som det medfelles fargestoff og andre organiske stoffer. Fnokkene fjernes ved sedimentering eller flotasjon i tredje trinn. Resten av fnokkene fjernes i siste trinn ved filtrering i hurtige sandfiltre. Det finnes flere utforminger av fullrenseanlegg der de forskjellige behandlingstrinnene er mer eller mindre bygget sammen. Under gunstige betingelser kan man oppnå en reduksjon i bakterie- og virusinnhold på mer enn 99% (Guy et al, (1977) og Sobsey 1975)).

Folquet og Doncoeur (1975) oppnådde mer enn 99,98% fjerning av poliovirus ved bruk av jernklorid som fellingsmiddel. Effektiviteten var avhengig av at det ble bygget opp gode fnokker som sedimenterte skikkelig. De anførte at Fe-salter som fellings-

midler har den fordel fremfor Al-salter at man kan ha større spredning i pH under prosessen og likevel få dannet gode fnokker.

Effekten av fullrensningsprosessen kan også vises ved eksempler fra Oppgård vannverk. Dette vannverket har to parallele linjer hvor den ene er basert på fullrensnings med sedimentering av fnokkene, mens den andre har fullrensnings med flotasjon av fnokkene. Eksemplene er hentet fra linjen med sedimentering.

Alle eksemplene er fra prøveserier der kvaliteten på råvannet var langt dårligere bakteriologisk sett enn gjennomsnittet for anlegget.

Fullrensnings av drikkevann får en stadig økende utbredelse. Pr. idag er det ca. 25 anlegg med fullrensnings av drikkevann i Norge. De fleste av disse forsyner mer enn 1000 personer eller like under 1000.

Desinfeksjon.

Desinfeksjon innebærer at alle patogene bakterier og virus uskadeliggjøres. Dette oppnås enten ved fysiske midler (varme,

Tabell 5. Kimtall i vannet etter forskjellige behandlingstrinn ved Oppgård Vannverk.

Dato	Råvann	Etter felling	Etter filtrering	Renvann Etter desinfeksjon
30/3 -76	47	1	1	0
26/10 -76	134	4	1	6
29/11 -76	56	6	1	2
28/2 -77	55	1	2	0
23/3 -77	104	2	1	0
4/5 -77	>1000	27	6	0
10/11 -77	94	5	2	0
14/12 -77	78	11	2	0

UV-bestråling eller radioaktiv bestråling) eller ved kjemiske midler (klor og klorforbindelser, jod, brom, oson, sølv etc.). Klorering er den mest benyttede form for desinfeksjon i Norge, men i det siste er UV-bestråling blitt mer og mer aktuell. De andre metodene skal her bare kort omtales.

a) Varme

Koking som desinfeksjonsmetode for vann benyttes kun i spesielle tilfeller, som for eksempel privat etter påbud fra helseråd.

b) Jod

Jod benyttes i enkelte drikkevannsanlegg som desinfeksjonsmiddel, dog ikke i Norge. Fordelen med jod fremfor klor er at det er virksomt over et større pH-område, og at det ikke reagerer med ammonium eller organiske forbindelser (Hoehn, 1976). Men det er lite trolig at jod vil få større betydning på grunn av store kostnader og det faktum at det er fysiologisk aktivt (Morris, 1971).

c) Brom

Brom benyttes ikke for desinfeksjon i drikkevannsanlegg, men i bassengbad har det fått en viss utbredelse.

d) Sølv

Sølv er antagelig det eldste desinfeksjonsmiddelet for vann idet det var kjent for flere tusen år siden. Senere har det vist seg at det er sølvioner som har den baktericide virkningen (Wuhrmann og Zobrist, 1958). Sølvet er virksomt i koncentrasjoner rundt 0,05 mg/l, men det trenger lang kontakttid (minimum 3 timer for 90% reduksjon av bakterietallet (Chambers

og Proctor, 1960)). Til gjengjeld mister sølvet ikke sin baktericide virkning slik at det er godt egnet som konserveringsmiddel for drikkevann til for eksempel nødrasjoner. Sølvet tilsettes som sølvsalt, kolloidalt sølv eller ved elektrolyse. Sølvpreparerte filtermasser avgir lite sølv til vannet. Bruk av slike masser er basert på at tilbakeholdte bakterier inaktivieres av det sølv som finnes i filtermassen. Slike filtermasser finner feltmessig anvendelse.

e) Oson

Oson er et meget brukt desinfeksjonsmiddel i utlandet, men i Norge er bruken liten på grunn av dårlige erfaringer. Det er et kraftig oksydasjonsmiddel som kan redusere dårlig lukt og smak på vannet. Ved bruk på humusholdig vann får man kappet opp de langkjedete humusmolekylene til lettere omsettbare stoffer. Dette medfører at det kan oppstå betydelig bakterievekst i ledningsnettet, noe man har erfart bl.a. i Bærum. Lignende problemer er rapportert fra Tyskland (Kühn et al, 1978). I Bærum benyttes nå osoneringen som fargereduksjon, mens desinfiseringen skjer ved kloraminttilsetning. Oson har stort sett samme baktericide virkning som klor, men hastighetsbegrensningen for desinfeksjon er den kjemiske reaksjonen med cellematerialet, i motsetning til klor hvor hastighetsbegrensningen ligger i transport av klor over cellemembranen (Farooq et al, 1977). Felles for begge metoder er at den desinfiserende virkningen avtar med minkende temperatur. Hoehn (1976) angir at osonets virking er uavhengig av pH i området

5–8 og at turbiditet opp til 5 FTU ikke innvirker på osonets desinfiserende evne. Han anbefaler følgende doseringer for oson:

godt grunnvann:
0,25–0,50 mg O₃/l

godt overflatevann:
2–3 mg O₃/l

dårlig overflatevann:
2,5–5,0 mg O₃/l.

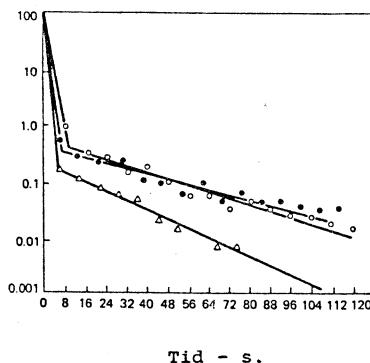
Osonet har ingen baktericid effekt før en grenseverdi, bestemt av vannets kvalitet, er overskredet.

Kühn et al. (1978) anbefaler at osoneering benyttes som et trinn i en fullrenningsprosess. Ved dosering av små mengder oson i flokkuleringskammeret har man oppnådd en mer effektiv fjerning av humusstoffer. Samtidig virker osonet desinfiserende.

Kühn et al. anbefaler likevel at utgående vann kloreres, men de nødvendige dosene ligger da mye lavere enn de ville gjort uten osoneering i flokkuleringskammeret.

Katzenelson et al. (1974) har studert osonets virkemåte. For poliovirus fant de at inaktiveringen foregikk i en to trinnsprosess. Det første trinnet var over på ca. 8 sek. med en virusdrepning på 99–99,5%. Trinn 2 tok 1–2 min., og på denne tiden ble resten av virusene inaktivert. Med osonkoncentrasjoner i området 0,1–1,0 mg/l var hastighetene for begge trinn konstante, men ved koncentrasjoner over 1,5 mg/l ble trinn 2 intensivert. For E.coli ble samme resultater oppnådd, men grensen for virkning var lavere (0,1 mg/l).

Overlevelse av virus i prosent.



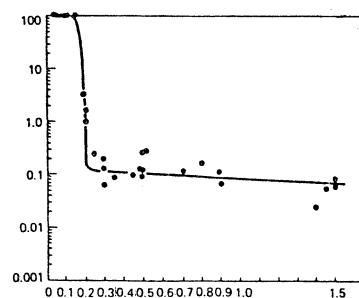
Figur 1. *Inaktiveringsskinetikk for Poliovirus I ved 5°C (etter Katzenelson et al. 1974)*

○ 0,3 mg/l ozon

● 0,8 mg/l ozon

△ 1,5 mg/l ozon

Overlevelse av virus i prosent.



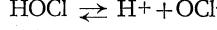
Figur 2. *Overlevelse av Poliovirus I etter 40 sek. eksponering med forskjellige koncentrasjoner av ozon (etter Katzenelson et al. 1974)*

f) Klorering

I Norge benyttes vanligvis svakklorering av vannet. Den omfatter dosering av opptil 0,5 mg Cl/l vann regnet som klorgass. For andre klorforbindelser må doseringen omregnes til tilsvarende mengde klorgass (se førøvrig Tabell 7). Sterkklorering vil si dosering av 1–5 mg Cl/l og benyttes meget i utlandet. Sterkklorering kan medføre at det er nødvendig med avklorering for at det ikke skal bli klorsmak på vannet. Ved bruk av sterkklorering kan det dannes kreftfremkallende stoff (haloformer) på grunn av reaksjon mellom klor og humusstoffer. I sterkt humusholdig vann kan det også dannes haloformer ved svakklorering.

Klorering er idag den mest benyttede form for desinfeksjon. Klor tilsettes enten som klorgass eller ved opplosninger av natrium- eller kalsiumhypokloritt. I enkelte tilfeller tilsettes også ammoniakk eller ammoniumforbindelser for å få dannet kloramin som har en betydelig lengre virkningstid enn klorgass. I følge White (1972) er kloramin et dårligere desinfeksjonsmiddel enn klor. Skal kloramin ha samme baktericide effekt som klor, må virketiden forlenges og tilsetningen økes.

Ved tilsetting av klor til vann skjer det nesten momentant en hydrolyse: $\text{Cl}_2 + \text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{H}^+ + \text{Cl}^- + \text{HOCl}$. Underklorsyringen vil igjen kunne spaltes etter følgende likning:



Denne spaltingen er reversibel og pH-avhengig (tabell 6).

Tabell 6. Fordeling av HOCl og OCl- som funksjon av pH (White 1975)

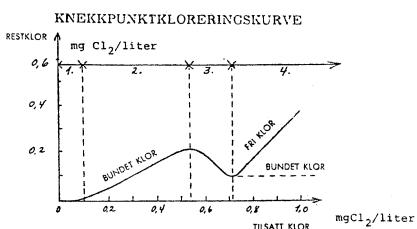
pH	Prosent av fri klor som	
	HOCl	OCl-
6,0	96,8	3,2
7,0	75,2	24,8
7,5	49,1	50,9
8,0	23,2	76,8
9,0	2,9	97,1

I alle former for klorering er det altså underklorsyring og hypoklorittion som er aktivt. Det benyttes ofte et uttrykk «tilgjengelig klor» som er den mengde klor som frigjøres fra desinfeksjonsmiddelet omregnet til tilsvarende mengde klorgass. Tilgjengelig mengde klor for de andre aktuelle forbindelsene fremgår av tabell 7.

Tabell 7. Innhold av klor i forskjellige stoffer, egentlig og «tilgjengelig».

Forbindelse	Molvekt	Vektprosent klor	
		Egentlig	«tilgjengelig»
Cl ₂	71	100	100
HOCl	52,5	67,7	135,4
NaOCl	74,5	47,7	95,4
Ca (OCl) ₂	143	49,6	99,2
NH ₂ Cl	51,3	69,0	138,0

Ved tilsetting av klorgass eller hypokloritt til vann vil en del av kloret reagere med oppløste stoffer i vannet slik at mengden klor som virker aktivt desinfiserende, er mindre enn den tilsatte mengden. Et eksempel på en vanntypes reaksjon med klor er vist i figur 3.



Figur 3. (Efter Myhrstad 1971).

- 1: Reduksjon av klor (klorbehov).
- 2: Dannelsje av organiske klorforbindelser og kloraminer.
- 3: Nedbryting av organiske klorforbindelser og kloraminer.
- 4: Dannelsje av fri klor og nærvær av overlevende organiske klorforbindelser.

Uttrykket restklor er den mengde klor som kan virke desinfiserende. Kloreringen virker sannsynligvis forskjellig på bakterier og virus. For bakterier er det HOCl som er mest aktivt. Dette kommer av at det er uladet, og derfor lettare kan transporteres over cellemembranen. Farooq et al. (1977) refererer et arbeid av Sürütü som viser at det er nettopp transporten av klor over cellemembranen som begrenser hastigheten av desinfeksjonen ved lavere pH. Ved høy pH forefinnes kloret som OCl⁻ og det er da den kjemiske reaksjonen som er hastighetsbegrensende. Kloret

må da først angripe celleveggen, og dette gjør bakteriene mer resistente mot desinfeksjonen.

Venkobachar et al. (1977) undersøkte blant annet lekkasje av proteiner og RNA fra intakte bakterier ved klorbehandling (ved pH 7), og fant en konstant lekkasje av disse stoffene. Samtidig fant de en inhibert fosforylering slik at proteinesynteser og RNA syntesen var stoppet. Klordoseringen er oppgitt til 1,5 mg Cl₂/l.

Carlson et al. (1976) har satt frem følgende teorier for klorets virkning på bakterier:

1. Avspalting av nascerende* oksygen fra HOCl.
2. HOCl skader protoplasmaet og danner toksiske forbindelser med lipoproteinet.
3. HOCl virker oksyderende og medfører enzymblokking.

På bakterieceller er det vist at HOCl blokkerer triosefosfathydrogenase — aktiviteten, og dessuten at karbohydrat og proteinomsetningen blokkeres.

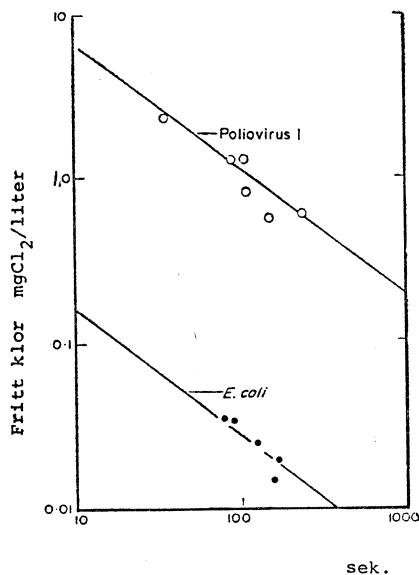
På virus virker klor antakelig anderledes. I følge noen teorier angripes både proteinkappen og nukleinsyren direkte, mens andre teorier går ut på at bare proteinet blir denaturert og at viruset dermed mister sin evne til å penetrere cellevegger. Hvis nukleinsyren skades, er det reproduksjonsevnen som mistes.

Thranehart og Kuwert (1975) har undersøkt klors innvirkning på poliovirus og fant at virkningen til en viss

* nascerende: Nylig avspaltet (Oksygenradikal).

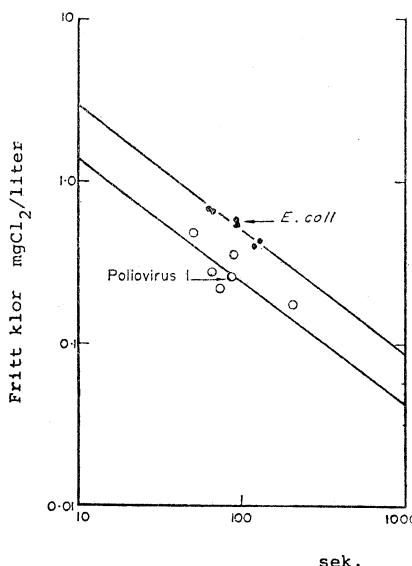
grad var avhengig av vannets redoks-potensial, idet en økning i redoks-potensialet gir lavere desinfeksjons-effekt. De fant også at polioviruset var fullstendig inaktivert av 0,5—0,75 mg Cl/l etter 5 minutters kontakttid ved pH 7,0 både i dobbelt destillert vann, ledningsvann og brønn-vann (i byen Essen).

Scarpino et al. (1972) har undersøkt kloreringens innvirkning på bakterier og virus ved forskjellige pH-verdier. De konkluderer med at målbar molekylær klor (Cl_2) bare kan eksistere i løsning dersom pH er lavere enn 3, og mengde fritt klor over 7,1 mg/l. Altså er det bare HOCl og OCl^- som



Figur 4. Konsentrasjon — tid — kurve for 99% inaktivering av poliovirus I og *Escherichia coli* ved bruk av hypokloritt ved pH 6 og 5°C. (Alt fritt klor forekommer som HOCl) (etter Scarpino et al. 1972).

kan være aktivt desinfiserende ved normal klorering. Forsøkene viste at inaktiveringen av virus skjedde best ved høye pH-verdier, mens inaktiveringen av bakterier var best ved lave pH-verdier. (Fig. 4 og 5). I begge



Figur 5. Konsentrasjon — tid — kurve for 99% inaktivering av poliovirus I og *Escherichia coli* ved bruk av hypokloritt ved pH 10 og 5°C (alt fritt klor forekommer som OCl^-) (etter Scarpino et al. 1972).

tilfellene var virkningen på bakterier bedre enn på virus. Forsøkene var bare utført med en type virus, poliovirus 1 (som er anerkjent for å være blant de mest resistente virus overfor klor), og en type bakterier *E.coli* (som ikke er anerkjent som en særlig klorresistente bakterie). Hoehn (1976) har satt opp en tabell (Tabell 8) over forskjellige organismers resistens over-

for HOCl og OCl-. I denne undersøkelsen fant man at E.coli var mer resistent enn poliovirus mot OCl-, men artikkelen gir ikke noe svar på

hvorfor resultatene ble slik i dette tilfellet. Det vanlige er at E.coli under alle pH-betingelser er mindre resistent enn poliovirus.

Tabell 8. Relativ resistens hos forskjellige organismer med betydning for folkehelse innen vannbårne sykdommer (Hoehn 1976)

Desinfeksjonsmiddel	Relativ resistens for forskjellige organismer	Relative doser for 99% inaktivering
HOCl	Amøbecyster > Poliovirus I> Coxsackie A9> E.coli> T ₂ colifag	175 : 40 : 30 : 1 : 0,8
OCl-	E.coli> Coxsackie A9> Poliovirus I> f2 colifag	1 : 0,37 : 0,25 : 0,04

Poynter et al. (1973) har satt opp følgende tabell for klors innvirkning

på bakterier og virus ved pH 8,3:

Tabell 9. Prosent inaktivering ved innvirkning av klor ved pH 8,3:

Tilsatt klormengde	Organisme	Kontakttid:	
		20 min.	30 min.
0,4—0,6 mg/l	E.coli	95%	100%
	colifag	75%	85%
	poliovirus	50%	65%
0,5—0,8 mg/l (spor av fritt klor)	E.coli	100%	—
	colifag	99%	100%
	poliovirus	90%	90%
0,9—1,2 mg/l	E.coli	100% på 1 min.	
	colifag	100% på 3 min.	
	poliovirus	95% på 10 min.	
	»	98,9% på 20 min.	
	»	99,6% på 30 min.	

Konklusjonen på de refererte arbeider må være at det ut fra et mikrobielt synspunkt vil være en fordel å klorere vannet etter at det er alkalisert. Dette vil øke virkningene på virus, men ikke hemme inaktiveringen av bakterier i samme grad. Kloreringen bør være slik at det kan måles en viss mengde restklor etter 30 minutters kontakttid.

g) Klordioksyd

En annen form for klorering får man ved bruk av klordioksyd. Dette er først blitt introdusert som et middel for å forbedre lukt og smak. Tidligere var det en meget dyr behandlingsmetode og bruken av den var begrenset. Etterhvert som prisen på klordioksyd har sunket, har det også øket i bruk som desinfeksjonsmiddel. Stoffets reaksjoner med organisk materiale er dårlig kjent. I humusholdig vann kan klordioksyd reduseres til kloritt, som kan frembringe methaemoglobinemi. Helsemyndighetene i Norge har derfor vært meget skeptisk til bruk av klordioksyd i vannverkene og har foreløpig ikke tillatt dette kjemikalium benyttet. Doseringen av klordioksyd må ligge høyere enn for klor for å kunne oppnå samme desinfeksjonseffekt, selv om klordioksyd er det sterkeste oksydasjonsmiddelet.

h) UV-bestraaling

Bestraaling med ultrafiolette (UV) stråler er en forholdsvis ny metode for desinfeksjon av vann ved norske vannverk. Grunnen til at den i den senere tid er blitt mer og mer aktuell, er de rapporter som er kommet om dannelse av kreftfremkallende halofor-

mer ved bruk av klor på vann som inneholder organiske stoffer.

Bestralingen foregår ved at vannet passerer gjennom et kammer hvor man er sikkert på at alle partikler i vannet blir utsatt for en viss dose av UV-stråler. Dosen er et produkt av bestralingsintensitet og -tid. De lamper som benyttes, gir størst effekt i bølgelengdeområdet 250—260 nm, og det er også i dette området UV-strålene har størst desinfiserende virking. Det har vært gjort en mengde undersøkelser på UV-strålers innvirkning på celler, og det ser ut til at UV-strålenes ødeleggelse av nukleinsyrene er den viktigste årsak til den letale virkningen. Induseringen av kryssbinding- og kjedebrudd i proteinene ser ut til å gi subletale effekter (Skipperud Johansen og Myhrstad, 1978).

For at UV-bestraaling skal være et effektivt desinfeksjonsmiddel, må en tilstrekkelig dose nå frem til enhver organisme eller virus som skal inaktivertes. Dette er avhengig av den fysiske oppbygging av UV-apparatet og vannets kvalitet.

Apparatets utforming og gjennomstrømningshastigheten må til enhver tid være tilpasset kvaliteten på det vannet som skal desinfiseres. Vannet må ha en lav absorpsjon av UV-strålene, og bør være fritt for partikler som kan skjerme organismene.

Rabbo og Gardner (1965) gir følgende tabell for hvilke doser som er nødvendige for dreping av visse organismer (tabell 10).

Tabell 10. UV (254 nm)-doser som kreves for 90, 99 og 99,99% inaktivering av forskjellige mikroorganismer (10^6 — 10^7 pr. ml.) i springvann med et dybdesjikt på 2 cm. Doseberegningen er foretatt teoretisk hvor vannets transmisjon ble satt til 100%. Dette var ikke tilfelle, og de egentlige dosene er derfor lavere enn her oppgitt.

Mikroorganisme	UV-dose i $\mu\text{Ws}/\text{cm}^2$		
	90% red.	99 % red.	99,99% red.
Influenza virus (80—100 m μ)	1.000	2.000	>5.000
Rabbit pox virus (250 μ)	1.000	2.000	5.000
Escherichia coli	3.000	6.000	12.000
Shigella flexneri	3.000	6.000	12.000
Proteus vulgaris	3.000	6.000	12.000
Staphylococcus aureus	3.000	6.000	12.000
Salmonella typhi	4.000	8.000	16.000
Streptococcus pyogenes	4.000	8.000	16.000
Mycobacterium tuberculosis (BCG)	5000	10.000	20.000
Corynebacterium diphtheriae	5000	10.000	20.000
Bacillus subtilis spores	10.000	20.000	40.000
Sarcina lutea	15.000	30.000	60.000
Saccharomyces cerevisiae var. ellipsoideus	17.000	34.000	68.000
Penicillium digitatum spores	40.000	80.000	160.000
Aspergillus niger spores	150.00	300.000	600.000

I Norge har man foreløpig lagt seg på en minimumsdose på 16 mWs/cm² for alle punkter i kammeret. Disekra-
vet er for tiden under revurdering,
spesielt med tanke på UV-resistente
patogener.

Fordelene og ulempene ved bruk av
UV-bestraaling kan summeres opp slik
(Jepson, 1973).

Fordeler

1. Vannet forandres ikke i kjemisk sammensetning og smaken blir ikke påvirket.

2. Utstyret trenger lite ettersyn bortsett fra rensing av kvartsglassoverflatene og utskifting av defekte rør.
3. Overdose representerer ingen fare, heller en sikkerhetsfaktor.
4. Det er små problemer med å variere dosen (ved å forandre gjennomstrømningen eller koble UV-rør ut/inn).
5. Metoden virker både på bakterier og virus.
6. Inaktiveringshastigheten er stor.

7. Ingen problemer med håndtering av kjemikalier.
8. Ingen vanskeligheter med automatisering.

Ulemper

1. Prosessen er dyrere enn kjemisk behandling.
2. Det er ingen langtidseffekt (effekt på ledningsnettet).
3. Vannet må ha gode transmisjonsegenskaper.

Farooq et al. (1977) har gjort forsøk med å kombinere osonbehandling med UV-bestraaling, og fant at UV-bestraaling alene var like god som kombinasjonen. Begge metodene var bedre enn osonering.

For tiden (1978—1979) pågår det en diskusjon i tidsskriftet «VANN» om UV-bestraaling som desinfeksjonsmetode for drikkevann. Det er helsemyndighetenes

syn at UV-bestraaling av vann som fyller kravene til drikkevann, med tilstrekkelige UV-doser ikke er mer betenklig enn bruk av andre desinfeksjonsmetoder. I mange tilfeller vil UV-bestraaling være et bedre alternativ enn f.eks. klor. (For videre innføring i diskusjonen henvises til tidskriftet «VANN» 1978—79).

Konklusjon

Alt vann som skal brukes til drikkevann for en større gruppe personer bør desinfiseres, og for at desinfeksjonen ved de vanlig brukte metoder skal være effektiv, bør vannets kvalitet være best mulig. Ved en god vannkvalitet er de to metodene, klorering og UV-bestraaling, antakelig likeverdige, mens det ved dårligere kvalitet bør vurderes hvilken metode som er mest hensiktsmessig i hvert enkelt tilfelle. Vannbehandling før desinfeksjon kan i mange tilfeller være nødvendig.

LITTERATUR:

- Amirbor, P. and Engelbrecht, R. S. (1975): Virus removal by polyelectrolyte — aided filtration. Jour AWWA 67, pp 187—192.*
- Carlson, S., Hässelbarth, U. und Sohn, FW. (1976): Untersuchungen über Virus-inaktivierung durch Chlor bei der Wasserdesinfektion. Zbl. Bakt. Hyg., 1. Abt. Orig. B 162 pp 320—329.*
- Chambers C. W. and Proctor, C. M. (1960): The bacteriological and chemical behaviour of silver in low concentrations. US. Dept. of Health, Education and Welfare, Division of Water Supply and Pollution Control. Robert, A. Taft Sanitary Engineering Center, Cincinnati, Ohio.*
- Craun, G. F., Mc Cabe, L. J. and Hughes J. M. (1976): Waterborne disease outbreaks in the US 1971—1974. Jour AWWA 68 pp 420—424.*
- Farooq, S., Engelbrecht, R.S. and Chian E. S. K. (1977): Influence of temperature and UV — light on disinfection with ozone. Water Res. 11 pp 737—741.*
- Foliquet, J. M. et Doncoeur, F. (1975): Elimination des enterovirus au cours du traitement des eaux d'alimentation par coagulation — flocculation — filtration. Water Res. 9 pp 953—961.*

- Guy, M. D., Mc. Iver, J. D. and Lewis, M. J.* (1977): The removal of virus by a pilot treatment plant. Water Res. 11, pp 421—428.
- Harremøes, P., Henze Christensen, M., Jørgensen, J. P. og Dahl, E.* (1977): Teoretisk Vannhygiejne. Polyteknisk forlag, København.
- Hoebn, R. C.* (1976): Comparative disinfection methods. Jour. AWWA 68, pp 302—308.
- Jepson, J. P.* (1973): Disinfection of water supplies by ultraviolet radiation. Water Treat. & Exam. 22, pp 175—193.
- Katzenelson, E., Kletter, B. and Shuval, H. I.* (1974): Inactivation kinetics of Viruses and Bacteria in Water by use of Ozone. Jour. AWWA 66, pp 725—729.
- Kühn, W., Sontheimer, H., Steiglitz, L., Maier, D. and Kurz, R.* (1978): Use of ozone and chlorine in water utilities in the Federal Republic of Germany. Jour. AWWA 70, pp 326—331.
- Morris, J. C.* (1971): Chlorination and disinfection: State of the art. Jour AWWA 63, p 769.
- Myhrstad, J. A.* (1971): Vannbehandlingstiltak. 1: Vannforsyningssanlegg. Statens Institutt for Folkehelse, Informasjonshefte nr. 1, Oslo.
- Poynter, S. F. B., Slade, J. S. and Jones, H. H.* (1973): The disinfection of water with special reference to viruses. Water Treat. & Exam. 22, pp 194—208.
- Rubbo, S. D. og Gardner, J. F.* (1965): «A review of sterilization and disinfection», As applied to medical, industrial and laboratory practice. Lloyd-luke, medical books LTD, 49, Newman street, London.
- Scarpino, P. V., Berg, G., Chang, S. L., Dabbing, D. and Lucas, M.* (1972): A comparative study of inactivation of viruses in water by chlorine. Water Res. 6, pp 959—965.
- Skipperud Johansen, E. og Myhrstad, J. A.* (1978): Factors influencing the use of UV — irradiation as a water disinfectant. NIPH Annals (in press).
- Skipperud Johansen, E. og Myhrstad, J. A.* (1978): UV-desinfeksjon av vann, 1. Innvirkning på mikroorganismer/virus — forhold som kan begrense bruken av UV-stråler som desinfeksjonsmiddel, Vann 2, pp 147—155.
- Sobsey, M. D.* (1975): Enteric viruses and drinking water supplies. Jour AWWA 67, pp 414—418.
- Taylor, F. B.* (1974): Viruses — What is their significance in water supplies? Jour AWWA 66, pp 306—311.
- Traenhardt, O. und Kuwert, E.* (1975): Vergleichende Untersuchungen über die Wirkung von Chlor und Ozon auf Polioviren bei der Trinkwasseraufbereitung der Stadt Essen. Zbl. Bakt. Hyg., I. Abt. Orig. B 160, pp 305—341.
- Venkobachar, C., Iyengar, L. and Prabhakara Rao, A. V. S.* (1977): Mechanism of disinfection: Effect of chlorine on cell membrane funtions. Water Res. 11, pp 727—729.
- White, G. C.* (1972): Handbook of Chlorination. Van Nostrand Reinhold Company, New York.
- White, G. C.* (1975): Disinfection: The last line of defense for potable water. Jour. AWWA 67, pp 410—413.
- Wuhrmann, K. und Zobrist, F.* (1958): Untersuchungen über die Bakterizide Wirkung von Silber in Wasser. Schweiz. Zeits. für Hydrologie XX, pp 218—254.