

Biofilmdannelse som følge av utlekking av organisk materiale fra rørmaterialer

Av Lars J. Hem

Lars J. Hem er dr. ing.,
og ansatt ved Aquateam - Norsk vannteknologisk senter

Innlegg på fagtreff 6. mars 2000.

Sammendrag

Mikrobiologisk vekst i drikkevannsledninger kan føre til en forringelse av vannkvaliteten, både mhp. helsemessige og bruksmessige forhold. Det er derfor viktig å begrense slik vekst. Norske og internasjonale studier har vist at rørmaterialer, organiske belegg og maling inne i rørene, kan lekke organisk materiale som kan fremme en mikrobiologisk vekst. Utlekkingen er normalt størst i nye rør, og avtar med tiden. Det er store variasjoner mellom ulike rørmaterialer mhp. vekst av biofilm på materialet.

Det er viktig å få klarlagt i hvilken grad mikrobiologisk vekst pga. utlekking fra rørmaterialer utgjør noe kvantitativt problem i forhold til vekst pga. naturlig organisk materiale. Det er spesielt viktig å klarlegge evt. negative effekter ved bruk av plastmaterialer i husinnstallasjoner, hvor det må forventes mer mikrobiologisk vekst enn i hovedledningene, forutsatt samme rørmateriale.

Abstract

Microbiological regrowth in the drinking water distribution system may cause deterioration of the water quality, due to increased turbidity, heterotrophic bacteria, and even pathogens. The control of the regrowth is therefore of great importance. Norwegian and international results show that leakage of organic matter from several materials used in the distribution system may promote microbiological growth. There are great variations in such growth between various materials, and the growth is reduced with time.

There is a need to determine the importance of microbiological growth due to leakages from the pipeline materials compared to the growth due to natural organic matter. It is of particular importance to find if a change from copper to synthetic materials for in-house installations will cause increased growth.

Innledning

Interessen for biologisk vekst i drikkevannsledninger er i hovedsak knyttet til at dannelsen av biofilm på rørveggen.

Biofilmen bidrar til å øke mulighetene for overlevelse av patogene mikroorganismer. Erfaringer fra USA viser at biofilmen i ledningene øker mulighetene for at sporer og cyster kan overleve selv ved relativt høye klordoser (LeChevallier et al., 1987). Det er vist at både forekomsten av, og potensialet for, oppvekst av koliforme bakterier, øker når begroingspotensialet målt som assimilerbart organisk karbon (AOC) øker (Rice et al., 1991, LeChevallier et al., 1996). Det er også vist at *E. coli* og *Klebsiella oxytoca* kan overleve og vokse i biofilmen i vannledninger (Keevil, 1994).

Et høyt potensiale for biologisk vekst kan føre til en økning i kimtallet ute på ledningsnett. Det er målt begroingspotensiale i en rekke rå- og rentvann i Norge (Hem and Charnock, 1999). Målingene viser at begroingspotensialet er høyere enn verdiene som er angitt av van der Kooij et al. (1999) som grense for når en vil få dannelse av biofilm. I Norge hadde en tidligere problemer med høyt kimtall og mye slamdannelse i ledningsnett i Bærum, noe som skyldtes den daværende vannbehandlingen. Målinger av AOC i rentvann ut fra behandlingsanlegget og ute på ledningsnett, viste at begroingspotensialet i rentvannet var høyt og at potensialet var lavere i endeledninger, noe som igjen viste at det var en betydelig vekst i ledningsnett (Hem et al., 1997).

Blant ulike mikroorganismer i en biofilm er det vanligvis også noen som kan oksidere eller redusere jern og svovel. De egenskapene disse mikroorganismene har, gjør at de kan forårsake lokale korrosjonsangrep, såkalt mikrobiolo-

gisk induisert korrosjon (MIC) (AWWA, 1996). Den kvantitative betydningen av MIC er ikke kjent.

I tillegg til de over nevnte problemene, kan begroing i ledningsnett medføre uønsket lukt og smak, et uestetisk/slamholdig vann, og økt klorbehov dersom en ønsker en klorrest på nettet (Norton, 1999).

Begroingen vil avhenge av en rekke ulike faktorer (Norton, 1999):

- Temperatur
- Vannbehandling
- Rest av desinfeksjonsmiddel (klor, kloramin)
- Begroingspotensialet målt som AOC eller BDOC
- Ledningsnettets utforming og drift, herunder materialer, vannhastigheter og oppholdstider
- Korrosjon

Det er observert at det er liten eller ingen begroing når vannet inneholder < 10-15 µg AOC/l, og vannet betegnes da som biologisk stabilt (van der Kooij et al., 1982, van der Kooij, 1992). Vekst av heterotrofe bakterier kan bli hemmet når vannet inneholder < 50 µg AOC/l (van der Kooij, 1987, 1992, van der Kooij and Hijnen, 1985). Det er rapportert at *E.coli* behøver minst 50 µg AOC/l for å vokse (LeChevallier et al., 1991).

Begroing i ledningsnett har gjerne vært knyttet til et begroingspotensiale i drikkevannet som leveres fra vannbehandlingsanlegget. Bruk av rørmaterialer av plast, eller innvendig beskyttelse av jernrør med belegg som består av organisk materiale, kan imidlertid også utgjøre en mulig kilde til biologisk nedbrytbart organisk materiale (van der

Kooij, 1982, 1999). Det er derfor viktig å ha kontroll over tilførsel av biologisk nedbrytbart organisk materiale både i vannet og fra materialene vannet er i kontakt med. I hvilken grad autotrofe organismer, dvs. organismer som får karbon fra karbondioksid i stedet for fra nedbrytbart organisk materiale, vil være tilstede i en biofilm i drikkevannsledninger, finnes det ikke informasjon om. Dersom det er ammonium tilstede, er det imidlertid sannsynlig at en vil kunne finne nitrifiserende bakterier, som er autotrofe.

Erfaringer fra rensing av avløpsvann viser at biofilm kan etableres på en rekke ulike plastmaterialer, og både PVC, polyetylen og polypropylen er benyttet som bæremateriale for biofilm i biologiske renseanlegg (Hem, 1991). I hvilken grad disse erfaringene kan overføres til drikkevannsledninger mhp. egenskaper som heft, er i mindre grad klarlagt.

Metoder for å måle utlekking av biologisk nedbrytbart organisk materiale

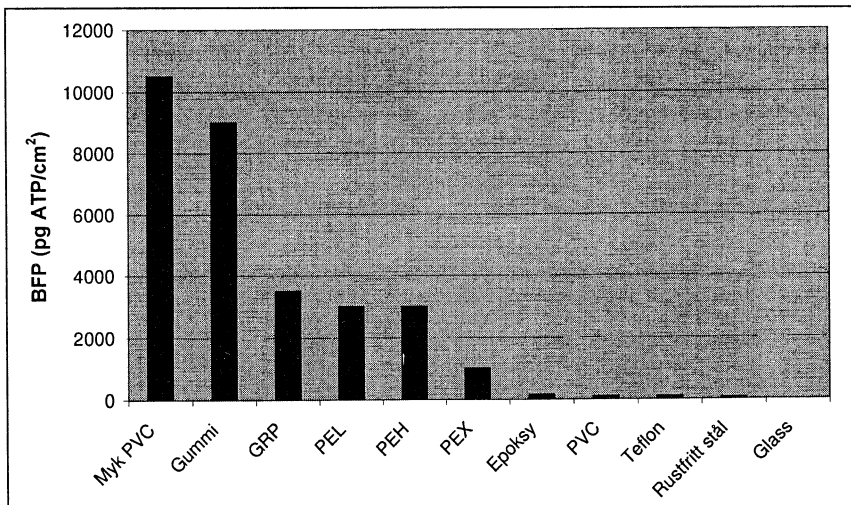
Det eksisterer flere forskjellige metoder for å måle mikrobiologisk vekst som følge av utlekking av biologisk nedbrytbart organisk karbon fra ledningsmaterialer. Det vanligste er å gjennomføre batch tester, der materialet eksponeres for et vann uten et begroingspotensiale, og at effekten måles etter definerte tider. I Storbritannia benytter de endringer i oksygenkonsentrasjonen som parameter (Colbourne and Brown, 1979). I Nederland måler

de potensialet for biofilmdannelse som ATP på et materiale som står i kontakt med et filtrat fra langsomsandfiltre (van der Kooij et al., 1999), mens en i Tyskland tar utgangspunkt i måling av produksjon av biomasse (DVGW, 1990). I Norge er det benyttet en modifisert AOC-analyse (assimilable organic carbon) der vekst av *Pseudomonas fluorescens* (P17) måles over 200 dager (Charnock, 2000).

Det er også mulig å gjennomføre tester i modeller av ledningsnett, eller i deler av ledningsnett. I USA er det bl.a. benyttet tester med telling av kolonier på overflaten av ulike materialer, for å studere effekten av klorering på biologisk vekst på ulike rørmaterialer (LeChevallier et al., 1990). I Tyskland målte Schoenen (1989) produksjon av biomasse på ulike typer maling og plastmaterialer i vannreservoarer. Dette vil være destruktive metoder, der biofilmen fjernes fysisk fra materialene før analysen.

Begroing på ulike materialer

Det har vært observert økt begroing av ikke-patogene mikroorganismer fra organiske herdere, og der epoksybelagte rør har ligget i tilknytning til jernrør uten belegg er det målt en økning i mengden jernbakterier (AWWA, 1987). Schoenen (1989) studerte mikrobiologisk vekst på ulike materialer i vannreservoarer, og på stålplater med ulike belegg som ble senket ned i reservoarene, og fant en økt bakterievekst på organiske belegg i forhold til på belegg av sementmørtel. Van der Kooij and



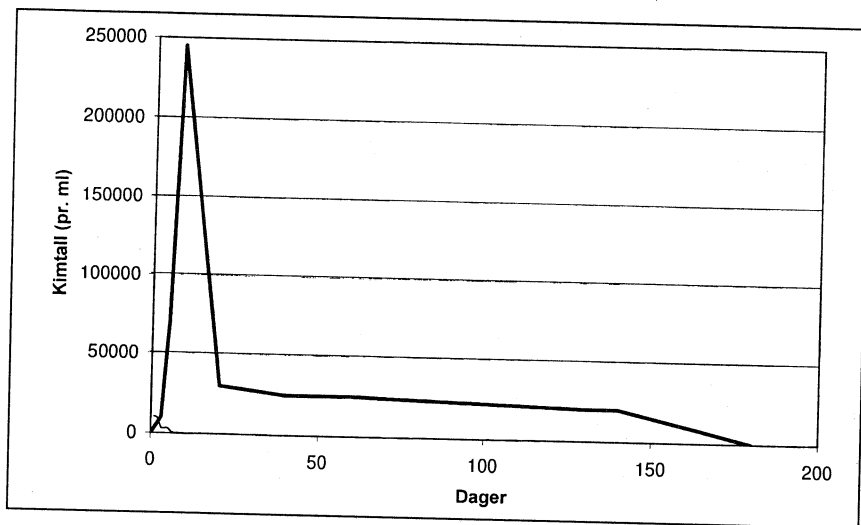
Figur 1: Begroing på ulike rørmaterialer (etter van der Kooij et al., 1999)

Veenendaal (1993) målte bl.a. en økning med en faktor 1000 i vekst av *Legionella* på gummi sammenlignet med en blank. Bakterieveksten i bassenger med epoksybelegg ble redusert over tid, men ble registrert i 10 år etter at belegget ble påført. Van der Kooij (1994) viste at potensialet for dannelse av biofilm på epoksybelegg ikke skiller seg vesentlig fra andre organiske belegg og rørmaterialer, noe som langt på vei bekreftes av Eggen og Steinsmo (1995).

Det er utført undersøkelser som viser at det er betydelig høyere biofilmvekst på syntetiske rørmaterialer enn på glass (van der Kooij et al., 1999). Dette var batch tester med filtrat fra langsandsfiltre som testvann. Veksten på rustfritt stål var høyere enn på glass, men lavere enn på de syntetiske materialene. Det var en betydelig variasjon mellom de ulike materialene, noe som fremgår av figur 1.

Myk PVC, gummi, glassfiberarmert polyester og polyetylen hadde størst biofilmvekst. At utlekking fra gummi kan være en kilde for uakseptabel høy biologisk vekst er målt av Anon (1981). Forskjellen mellom veksten på rustfritt stål og (hard) PVC hos van der Kooij et al. (1999) var ikke så stor, noe som er i overensstemmelse med resultater fra måling av biofilmvekst på rør av jern og PVC (LeChevallier, 1999). LeChevallier (1999) observerte at den mikrobiologiske sammensetningen av biofilmene på rør av jern og PVC var svært forskjellige, uten at dette ga grunn til å konkludere med at det ene rørmaterialet var mer gunstig enn det andre. I Norge har Charnock (2000) målt AOC i organisk materiale som lekker fra PVC, som vist i figur 2.

PVC lekker organisk materiale som kan nyttiggjøres av bakterier for vekst, men lekkasjen avtar raskt.



Figur 2: Vekst av *Pseudomonas fluorescens* (P17) som følge av lekkasje av organisk materiale fra PVC godkjent for kontakt med drikkevann (etter Charnock, 2000)

I tillegg til at det må være tilstrekkelig mengde nedbrytbart organisk materiale og næringssalter i vannet til at en kan få biologisk vekst på rørmateriale, har rørenes ruhet betydning for etablering av, og dernest løsrivelse av, biofilm. Av denne grunn kan en finne mere biofilm på korroderte jernrør enn på rør av plastmaterialer, også når de sistnevnte lekker biologisk nedbrytbart organisk materiale.

Betydningen av henholdsvis naturlig organisk materiale (NOM) og rørmaterialer som årsak til biofilmdannelse

Det er gjennomført målinger som viser at når vannets begroingspotensiale i utgangspunktet er for lavt til å få vekst av biofilm, danner det seg likevel en

film på noen ikke-metalliske rørmaterialer (van der Kooij et al., 1999). Dette betyr imidlertid ikke at utlekking fra rørmateriale er den viktigste årsaken til dannelse av biofilm i norske vannverk, fordi en har et begroingspotensiale i vannet som er så høyt at en vil få biofilmdannelse også på materialer som ikke lekker organisk materiale. Det mangler en kvantifisering av hvilke kilder til biologisk nedbrytbart organisk materiale som er viktigst mhp. biofilmdannelse på ulike rørmaterialer.

Et annet moment som har betydning for dannelse av biofilm er mikroorganismenes muligheter til heft på rørmaterialet, og i hvilken grad biofilm vil bli revet løs pga. skjærkrefter forårsaket av vannhastigheten (Characklis, 1988). Det er åpenbart at i et støpejernsrør med store rustknoller kan en forven-

te å finne tykkere biofilm enn i plastrør dersom en kun tar hensyn til heft og løsrivelse, men erfaring tilsier at noe biofilm vil en finne på alle materialer dersom det finnes tilstrekkelig med næringsstoffer.

Behov for videre arbeid

Det er et behov for å vurdere nye rørmaterialer mhp. utlekking av biologisk nedbrytbart organisk materiale før disse tas i bruk, noe som også krever kjennskap til tilsvarende egenskaper hos de materialene som allerede er i bruk. Dette er spesielt viktig dersom det blir en utvikling i retning av vesentlige endringer i materialene som benyttes, for eksempel som å gå over til å benytte plast i stedet for kobber i husinnstallasjoner. I husinnstallasjoner med rørdiameter 10-15 mm vil en ha en større kontaktflate pr. volum enn i hovedledningene, og med 8-12 timers henstand i rørene vil en også få temperaturer i rørene tilsvarende romtemperatur. Dette gjør at en må forvente mer begroing plast i husinnstallasjoner enn i hovedledningene. Ved temperaturer på over 20 (C vil koliforme bakterier, dersom de først har kommet inn i rørene, kunne vokse i en slik biofilm (Lund, 2000). Et annet moment som har betydning for endringer i omfanget av begroing, er at kobber vil kunne være toksisk for mikroorganismene, og dermed vil en få redusert begroing på dette materialet (LeChevallier and McFeters, 1985). En fokus på utlekking av biologisk nedbrytbart organisk materiale krever at det etableres testprosedyrer i Norge, slik at

det blir mulig å fastslå betydningen av utlekkingen til det drikkevannet som vi har her.

Det mangler som før nevnt en kvantifisering av betydningen av utlekking av organisk materiale fra rørmaterialer og belegget for dannelse av biofilm. Det er av stor betydning å fastslå hva som er effektene av de ulike kildene til biologisk nedbrytbart organisk materiale, for på denne måten å unngå at en trekker feil konklusjoner og iverksetter unødvendige tiltak.

Referanser

- American water Works Association (AWWA) (1996): Internal corrosion of water distribution systems. AWWA, Denver, Co., USA.
- American water Works Association (AWWA) (1987): Cleaning and lining water mains. Manual of water support praxis. AWWA M28, USA.
- Anon (1981): The use of plastic and rubber in water and effluents. Int. Conf., Feb., London, 7.1-7.8.
- Characklis, W. G. (1988): Bacterial regrowth in distribution systems. AWWA, USA.
- Charnock, C. (2000): Bestemmelse av biotilgjengelig karbon (AOC og BDOC) ved norske vannverk. Kursdagene ved NTNU.
- Colbourne, J. S. and Brown, D. A. (1979): Dissolved oxygen utilization as an indicator of total microbial activity on nonmetallic materials in contact with potable water. Jour. Bacteriol., 47:223.
- DVGW (1990): Vermehrung von mi-

- kroorganismer på materialer for den drikkevandsområdet. Prøvelse og vurdering, tekniske bestemmelser. Arbejdsblad W270, Bonn, Tyskland.
- Eggen, T. G. og Steinsmo, U. (1995): Rehabilitering av kommunale vannledninger - innvendig epoksybelegg. SINTEF rapport STF24 A95237.
- Hem, L. J. (1991): Nitrification in a moving bed biofilm reaktor. Dr.ing.-avhandling, Institutt for vassbygging, NTH.
- Hem, L. J. (1998): Naturlig organisk materiale som årsak til vannkvalitetsproblemer, betydningen av molekylfordelingen til det organiske materialet. *Vann*, 33:1:48-55.
- Hem, L. J., Norgaard, E. og Efraimsson, H. (1997): Begroing i drikkevannsledninger. NIVA-rapport 3576-96.
- Hem, L. J. and Charnock, C. (1999): Biofilm formation potential in Norwegian drinking waters. The influence of raw water quality and treatment technology. Proceedings, 1999 AWWA annual conference.
- van der Kooij, D., Visser, A. and Hijnen, W. A. M. (1982): Determining the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water. *Jour. AWWA*. 74:540.
- van der Kooij, D. and Hijnen, W. A. M. (1985): Measuring the concentration of easily assimilable organic carbon in drinking water treatment as a tool for limiting regrowth of bacteria in distribution systems. In Proceedings from AWWA water quality technology conference.
- van der Kooij, D. (1987): The effect of treatment on assimilable organic carbon in drinking water. In P. M. Huck and P. Toft (ed.), proceedings of the second national conference on drinking water, Edmonton, Alberta, Canada, April 7-8. Pergamon press, London.
- van der Kooij, D. (1992): Assimilable organic carbon as an indicator of bacterial regrowth. *Jour. AWWA*. 84:2:57-65.
- van der Kooij, D. and Veenendaal, H. R. (1993): Assessment of the biofilm formation potential of synthetic materials in contact with drinking water during distribution. AWWA WQTC, Nov. 7-11, 1993, Miami.
- van der Kooij, D., van Lieverloo, J. H. M., Schellart, J. and Hiemstra, P. (1999): Maintaining quality without a disinfectant residual. *Jour. AWWA*. 91:1:55-64.
- LeChevallier, M. W. and McFeters, G. A. (1985): Enumerating injured coliforms in drinking water. *Jour. AWWA*, 77:6:81-87.
- LeChevallier, M. W., Babcock, T. M. and Lee, R. G. (1987): Examination and characterization of distribution system biofilm. *Applied and Environmental Microbiology*. 53:2714-2724.
- LeChevallier, M. W., Cahwton, C. D. and Lee, R. G. (1990): Disinfecting of biofilm in a model distribution system. *Jour. AWWA.*, 82:7:87.
- LeChevallier, M. W., Schulz, W. and Lee, R. G. (1991): Bacterial nutrients in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*. 57:857-862.
- LeChevallier, M. W., Welch, N. J. and Smith, D. B. (1996): Full-scale stu-

- dies of factors related to coliform regrowth in drinking water. *Applied and Environmental Microbiology*. 62:7:2201-2211.
- LeChevallier, M. W. (1999): The case for maintaining a disinfection residual. *Jour. AWWA*. 91:1:86.
- Lund, V. (2000): Personlig meddelelse. Statens institutt for folkehelse.
- Norton, C. (1999): Assessing and controlling regrowth in distribution systems. Proceedings workshop S8, 1999 AWWA annual conference & exposition.
- Rice, E. U., Scarpino, P. V., Reasoner, D. J. Logsdon, G. S. and Wild, D. K. (1991): Correlation of coliform growth response with other water quality parameters. *Jour. AWWA*. 81:7:98-102.
- Schoenen, D. (1989): Influence of materials on the microbiological colonization of drinking water. *Aqua*, 38:2:101-103.