

Hvilke forhold har betydning for biofilmdannelse i drikkevanns- ledninger?

Av Lars J. Hem

Lars J. Hem er dr.ing og seniorforsker ved SINTEF

Innlegg fra seminar i Vannforeningen 12. mars 2007

Sammendrag

Mikrobiologisk vekst i drikkevanns-
ledninger kan føre til en forringelse av
vannkvaliteten, både med hensyn på
helsemessige og bruksmessige for-
hold. Det er derfor viktig å begrense
slik vekst.

Den mikrobiologiske veksten skjer
primært i form av biofilmdannelse.
Biofilmdannelsen avhenger av
mengden biologisk nedbrytbart orga-
nisk materiale i vannet, men også av
en rekke andre forhold som vann-
temperatur, rest av desinfeksjons-
middel og ledningsnettets utforming
og drift.

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.

The microbiological regrowth
occurs mainly as biofilm formation.
The biofilm formation depends on the
amount of biodegradable organic
matter in the water, but also water
temperature, disinfection residuals
and the construction and operation of
the distribution system will influence
the formation.

Hva er biofilm, og hvorfor er biofilmdannelse i drikkevannsledninger viktig?

Interessen for biologisk vekst i
drikkevannsledninger er i hovedsak
knyttet til dannelsen av biofilm på
rørveggen. Biofilmen bidrar til å øke
mulighetene for overlevelse av pato-
gene 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; Le-Chevallier 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.

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 mikrobiologisk induert korrosjon (MIC) (AWWA 1996). Den kvantitative betydningen av MIC er ikke kjent.

I tillegg til problemene nevnt ovenfor, 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).

Forhold som påvirker biofilmdannelse

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

- Temperatur
- Vannbehandling
- Rest av desinfeksjonsmiddel (klor, kloramin)
- Begroingspotensialet i vannet, noe som avhenger av mengde og sammensetning av organisk materiale
- 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 $\mu\text{g AOC/l}$, 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 $\mu\text{g AOC/l}$ (van der Kooij 1987 og 1992; van der Kooij and Hijnen 1985). Det er rapportert at *E. coli* behøver minst 50 $\mu\text{g AOC/l}$ 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 og 1999). Det er derfor viktig å ha kontroll med tilførsel av biologisk nedbrytbart organisk materiale både i vannet og fra materialene vannet er i kontakt med.

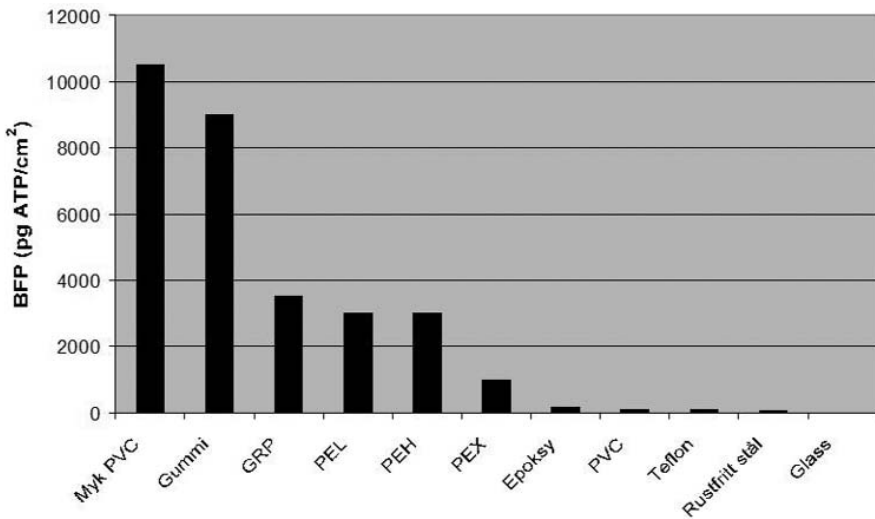
I hvilken grad autotrofe organismer, dvs. organismer som får karbon fra karbondioksid i stedet for fra nedbrytbart organisk materiale, vil være til stede i en biofilm i drikkevannsledninger, finnes det ikke informasjon om. Dersom det er ammonium til stede, er det imidlertid sannsynlig at en vil kunne finne nitrifiserende bakterier, som er autotrofe.

Det har vært observert økt begroing av ikke-patogene mikroorganismer fra organiske herdere. 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. Schoenen fant høyere bakterievekst på organiske belegg enn på belegg av sementmørtel. Van der Kooij and 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.



Figur 1. Begroing på ulike materialer (etter van der Kooij et al. 1999).

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) obser-

verte at den mikrobiologiske sammen- setningen 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. Hem (2003a) har vist at begroingen i nye rør av PEH og PVC var høyere enn i glassrør, men at denne effekten avtok etter at rørene hadde vært i drift i ca. et halvt år. Rør av kobber hadde på den annen side mindre begroing enn glassrør, noe som må tilskrives at kobber lekker ut i vann pga. korrosjon og at kobber er giftig.

I tillegg til at det må være til- strekkelig mengde nedbrytbar orga- nisk materiale og næringssalter i van- net til at en kan få biologisk vekst på rørmaterialene, har rørenes ruhet betydning for etablering av og dernest løsrivelse av biofilm. Av denne grunn kan en finne mer biofilm på korro- derte jernrør enn på rør av plastmate- rialer, også når de sistnevnte lekker biologisk nedbrytbar organisk mate- riale. Erfaringer fra rensing av avløps- vann viser på den annen side at bio- film kan etableres på en rekke ulike plastmaterialer og både PVC, polyetylen og polypropylen er be- nyttet som bæremateriale for biofilm i biologiske rensesanlegg (Hem 1991). I hvilken grad disse erfaringene kan overføres til drikkevannsledninger med hensyn på egenskaper som heft, er i mindre grad klarlagt.

Et annet moment som har betyd- ning for dannelse av biofilm er mikro- organismenes muligheter til heft på rørmaterialet, og i hvilken grad bio-

film vil bli revet løs pga. skjærkrefter forårsaket av vannhastigheten (Characklis 1988). Det er åpenbart at i et støpejernsrør med store rustknoller kan en forvente 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 næringsstoffer.

Metoder for å måle utlek- king av biologisk nedbryt- bart organisk materiale

Det eksisterer flere forskjellige metoder for å måle mikrobiologisk vekst som følge av utlekking av bio- logisk nedbrytbar organisk karbon fra ledningsmaterialer. Det vanligste er å gjennomføre batch-tester, der mate- rialet eksponeres for et vann uten begroingspotensiale, og at effekten måles etter definerte tider. I Storbri- tannia benytter de endringer i oksy- genkonsentrasjonen 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 produk- sjon 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.

Biofilmdannelse i norske vannverk

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 Bærum hadde en tidligere problemer med høyt kimtall og mye slamdannelse i ledningsnettet, noe som skyldtes den daværende vannbehandlingen. Målinger av AOC i rentvann ut fra behandlingsanlegget og ute på ledningsnettet, 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 ledningsnettet (Hem et al. 1997). At begroingspotensialet synker med vannets oppholdstid i ledningsnettet er også påvist ved andre vannverk, selv om ikke effektene på vannkvaliteten var like store som i Bærum (Hem 2003b).

I et norsk vannverk ble det i 2006 bygget et nytt høydebasseng som ble tatt i drift parallelt med et eksisterende basseng. I det gamle bassenget ble det målt et kimtall < 10 /ml, mens det i det nye ble målt et kimtall opp til

> 16.000 /ml. Årsaken var at i det nye bassenget var det påsmurt et middel for å hindre for rask uttørring av betongen, og middelet var ikke tilstrekkelig fjernet før bassenget ble tatt i bruk. Målinger av avskrapet middel tilsatt vann resulterte i et begroingspotensial på $>400 \mu\text{g AOC/l}$ mot $14 \mu\text{g AOC/l}$ i vann uten tilsatt middelet. Dette illustrerer betydningen for begroingspotensialet av stoffer en benytter i bassenger, rør etc.

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 mikroorganismen auf materialen für den trinkwasserbereich. Prüfung und bewertung, technische regeln. *Arbeitsblatt 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., Norgaard, E. og Efraimsen, 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.*
- Hem, L. J. (2003a): Bruk av PE- og PVC-rør; betydning for biofilmdannelse (begroing) og uønsket lukt og smak på vannet. *Aquateam-rapport 03-011.*
- Hem, L. J. (2003b): Biostabilitet i drikkevannsledninger. *Aquateam-rapport 03-032.*
- Keevil, C. W. (1994): Assessment of practical measures to predict bacteriological failures due to biofilms. *Foundation for water research, GB.*
- LeChevallier, M. W., Babock, 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 studies 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.
- 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.