

## 1 FORMÅL

Dette VA/Miljø-bladet beskriver hva biofilmdannelse er, hvorfor den kan utgjøre et problem, hvilke forhold som kan gi biofilmdannelse og hva som kan gjøres for å redusere denne dersom veksten er så høy at dette er et problem.

## 2 BEGRENSNINGER

Dette VA/Miljø-bladet gir en forenklet oversikt over problemstillingen og løsninger basert på norske og internasjonale erfaringer. Det gir ingen detaljert oversikt over problemstillingen eller hvilke mikroorganismer som finnes i biofilmer i drikkevannsledninger.

## 3 FUNKSJONSKRAV

Drikkevannsforskriften stiller krav til drikkevannets innhold av mikroorganismer og turbiditet når vannet leveres til forbruker. Dersom vannet inneholder bakterier som er indikator, dvs. *E.coli* eller intestinale enterokokker, skal det umiddelbart iverksettes tiltak. Dersom vannet har uønsket lukt og smak, inneholder koliforme bakterier, kimtallet er over 100/ml eller turbiditeten er over 4 FNU skal det iverksettes tiltak så snart som mulig.

## 4 LØSNINGER

### 4 OM BIOFILMDANNELSE OG BAKTERIEVEKST

#### 4.1. PROBLEMSTILLING

Vi finner bakterier over alt i naturen, også i vår egen kropp, uten at dette behøver å være noe problem. Vi finner også mikroorganismer i drikkevannsledningene, men såfremt disse ikke er sykdomsfremkallende eller skaper bruksmessige problemer utgjør de ikke noe problem. De fleste mikroorganismene i biofilmen er ufarlige bakterier som bryter ned organisk materiale og/eller oksiderer jern og ammonium. Problemene oppstår enten fordi det vokser sykdomsfremkallende bakterier eller andre skadelige mikroorganismer i ledningsnett, eller at veksten av bakterier er så stor at det oppstår bruksmessige ulemper. Biofilmdannelse i drikkevannsledninger kan derfor være årsak til problemer som dels er av helsemessig og dels av bruksmessig karakter:

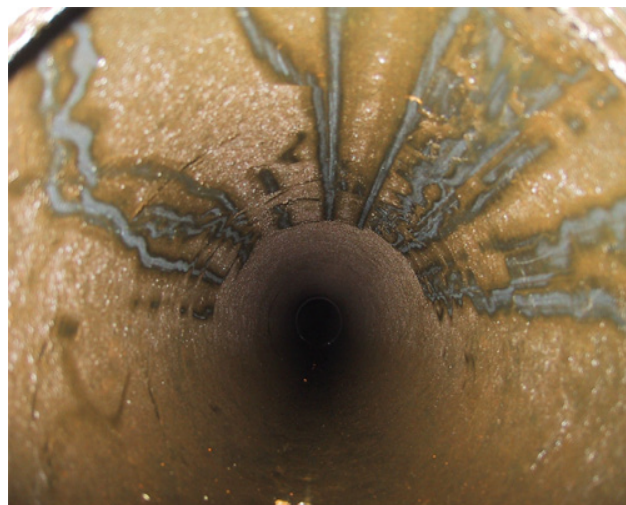
- Overlevelse og vekst av patogene organismer, spesielt innomhus og andre steder der vanntemperaturen i perioder er relativt høy

(eksempelvis 20 °C). Eksempelvis kan *Legionella* vokse i varmt vann (opp til ca. 50 °C). Vannkvalitetsforringelse pga:

- » Høy turbiditet
- » Høyt kimtall
- » Uønsket lukt og smak

#### 4.1.2. HVORFOR FÅR VI BIOFILMDANNELSE

Biofilm består av bakterier, eventuelt sopp og andre mikroorganismer, og et "bindemiddel" som består av polymere forbindelser bakteriene produserer. Biofilmen dannes gjerne samtidig med korrosjon og partikkelsedimentering, slik at vi vanligvis finner en blanding av biofilm, korrosjonsprodukter, humus med mer. Biofilmen vil ofte være lysebrun, men farges for øvrig også av humus, jern og annet som er i filmen.



Figur 1. Det er ikke ofte en finner "rene" biofilmer, men i enden av sjøledninger som bildet er tatt av kan en finne det. Rust og andre partikler har da sedimentert i de dypeste delene av ledningen. De svarte stripene på bildet er rørveggen av PEH, og skyldes at det er tatt prøver av biofilmen og at en da skrapte helt inn til rørveggen.

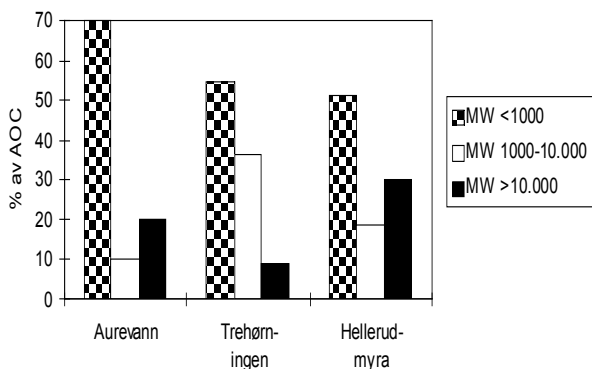
Forutsetningen for vekst av bakterier er tilgang på næringsstoffer som lett nedbrytbart organisk stoff, fosfor og nitrogen. Enkelte bakterier kan også vokse uten tilgang på organisk stoff, for eksempel bakterier som oksiderer ammonium til nitrat, men disse er av mindre betydning i norsk drikkevann.

I drikkevannsledninger vokser bakterier og andre mikroorganismer først og fremst i biofilm på rørveggen og på veggen i bassenger, men i enkelte tilfeller, og spesielt der vannet har lang oppholdstid, kan en også få noe vekst i vannmassene. Fra tid til annen vil deler av biofilmen bli revet av/skalle av og vil da transporteres med vannet til abonnentene.

#### 4.2.1. HVILKE FORHOLD KAN GI BIOFILMDANNELSE

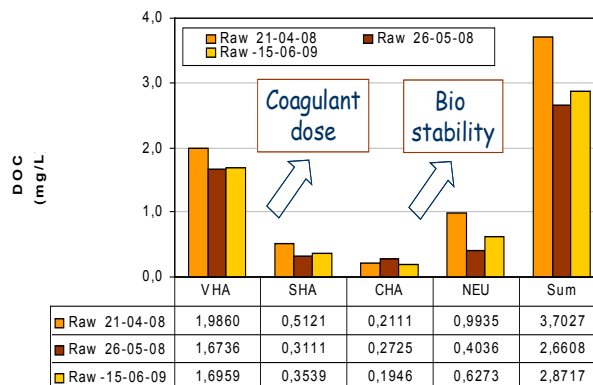
Overflatevann inneholder organisk materiale, som bl.a. humus som gir vannet farge. Noe av dette organiske materialet er biologisk nedbrytbart, men andelen er vanligvis < 10 % av totalt organisk karbon (TOC). Dersom råvannet inneholder mye biologisk nedbrytbart organisk materiale (BOM), og dette ikke fjernes i vannbehandlingen, kan dette forårsake en biofilmdannelse som blir så stor at den utgjør et vannkvalitetsproblem.

Det er de minste og lett vannløselige molekylene som gir biofilmvekst, mens store humusmolekyler i liten grad bidrar til slik vekst. Et humusholdig vann behøver derfor ikke nødvendigvis ha et stort potensial for biofilmvekst, mens på den annen side et vann med lite humus godt kan ha et stort potensial. I figur 2 er det vist resultater fra måling av potensialet for biofilmdannelse i tre vann i et vassdrag, og det fremgår at selv der hvor det meste av det organiske stoffet er knyttet til store molekyler vil biofilmdannelse skyldes det organiske stoffet som utgjøres av de minste molekylene.



Figur 2. Vannets potensial for biofilmdannelse, målt som AOC, som funksjon av molekylstørrelse. TOC var jevnt fordelt på de tre molvekts (MW)-fraksjonene i Aurevann, mens i de to andre vannene var TOC i hovedsak knyttet til de fraksjonene med høyest molvekt.

Det samme forholdet kan også illustreres ved å se på egenskapene til det organiske materialet, som vist i figur 3.



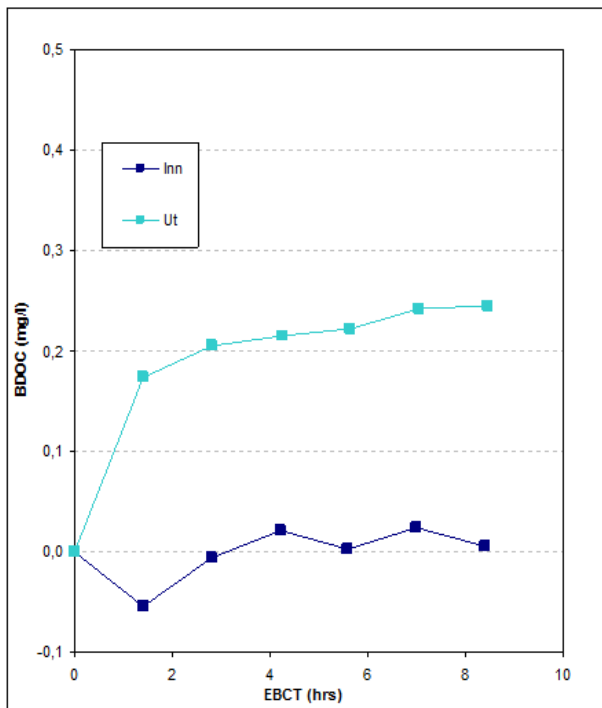
Figur 3. Karakterisering av ulike deler av DOC. Det organiske materialet er delt opp i sterkt hydrofobe organiske syrer (VHA), svakt hydrofobe organiske syrer (SHA), ladete hydrofile organiske syrer (CHA) og nøytrale hydrofile organiske syrer.

De hydrofobe fraksjonene, og i Norge vil dette si humus- og fulvussyrer, har betydning for optimal koagulantdose og effekten av en renseprosess med koagulering og partikkelseparasjon. Biofilmdannelsen påvirkes på den annen side primært av de hydrofile fraksjonene.

Enkelte vannbehandlingsprosesser vil også øke innholdet av BOM, og dette er oksidasjonsprosesser som klorering og i enda større grad ozonering. Store molekyler vil i oksidasjonsprosessen splittes opp til mindre, som igjen kan være biologisk nedbrytbare. I Norge er det målt størst biofilmdannelse der en har hatt ozonering uten etterfølgende biofiltrering, eller der biofiltreringen ikke har fungert tilfredsstillende. Det er imidlertid også rapportert om bl.a. høyt kimtall der en ikke fjerner noe organisk materiale i vannbehandlingen, og da gjerne med klorering som desinfeksjon, eller der en har membranprosesser som fjerner humus som gir farge men ikke fjerner biologisk nedbrytbart organisk materiale.

I enkelte tilfeller er det rapportert om at en har fått biofilmdannelse pga. stoffer som har lekket ut fra bassenger og rør som gir et bidrag til BOM. Det er påvist at slike stoffer kan lekke ut fra polyetylen, epoksymaling og tilsetningsstoffer i eller på betong. I et ekstremt tilfelle var kimtallet i et nytt rentvannsmagasin 16.000/ml, mens i det gamle bassenget som ble driftet i parallell med det nye var kimtallet null. Dette er et problem som i hovedsak er knyttet til nye konstruksjoner og rør, og gjerne der vannet står i ro i lengre tid. Ett forhold som bidrar til at slike stoffer kan bidra til en uønsket mikrobiologisk vekst er at stoffer som kan komme i kontakt med vannet ikke må inneholde noen giftige eller miljøskadelige komponenter, og de flyktige komponentene som lekker ut er da gjerne lett biologisk nedbrytbare.

Effekten av ozonering på potensialet for biofilmdannelse er vist i figur 4. Etter humusfjerning med koagulering og kontaktfiltrering ble vannet ozonert.



Figur 4. Effekt av ozonering på vannets innhold av BDOC. Inn=etter koagulering og kontaktfiltrering. Ut= etter koagulering, kontaktfiltrering og ozonering

Et vann som i utgangspunktet var biostabilt og hadde et lavt fargetall ville, selv med moderate ozondoser, få et innhold av BDOC som erfaringsmessig kan gi en biofilmdannelse som gir en merkbar forringelse av vannkvaliteten på nettet.

I enkelte tilfeller er det rapportert om at en har fått biofilmdannelse pga. stoffer som har lekket ut fra bassenger og rør som gir et bidrag til BOM. Det er påvist at slike stoffer kan lekke ut fra polyetylen, epoksymaling og tilsetningsstoffer i eller på betong. I et ekstremt tilfelle var kimtallet i et nytt rentvannsmagasin 16.000/ml, mens i det gamle bassenget som ble driftet i parallell med det nye var kimtallet null. Dette er et problem som i hovedsak er knyttet til nye konstruksjoner og rør, og gjerne der vannet står i ro i lengre tid. Ett forhold som bidrar til at slike stoffer kan bidra til en uønsket mikrobiologisk vekst er at stoffer som kan komme i kontakt med vannet ikke må inneholde noen giftige eller miljøskadelige komponenter, og de flyktige komponentene som lekker ut er da gjerne lett biologisk nedbrytbare.

Foruten BOM i vannet påvirkes biofilmdannelsen av:

- Romtemperatur gir høyere biofilmvekst enn lav temperatur
- Renseprosesser og konstruksjoner som har et stort spesifikt areal som biofilmen kan gro på øker biofilmdannelsen pr. volumenhet, noe som er en del av årsaken til at enkelte vannverk har målt høye kimtall i rentvannet fra membranlegg

Foruten mangel på BOM vil følgende forhold redusere biofilmdannelsen:

- Mangel på et næringsstoff, og i norsk drikkevann er det da fosfor som i enkelte tilfeller kan være begrensende

- Tilstedeværelse av klor eller kloramin i høye konsentrasjoner
- Utlekking av giftige stoffer, som for eksempel kobber
- Lav vanntemperatur

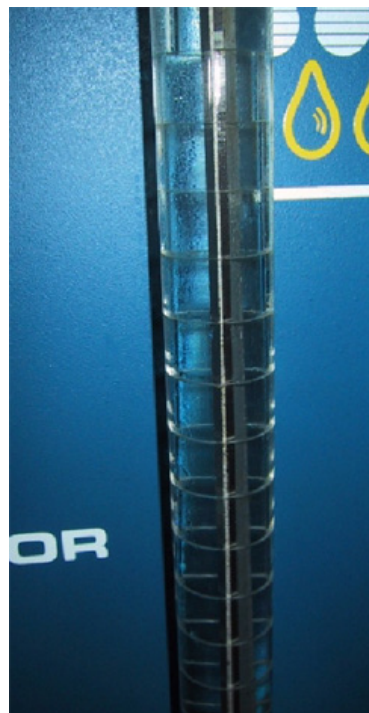
#### 4.1.4. HVORDAN MÅLER VI BIOFILMDANNELSE OG OM DENNE SKAPER PROBLEMER

Om biofilmdannelsen skaper vannkvalitetsproblemer vil vannverkene få en indikasjon på ved at det påvises hyppig høye kimtall på nettet. I enkelte tilfeller kan det imidlertid være høye verdier for totalantall bakterier på nettet uten at kimtallet er høyt. Høye kimtall måles gjerne der en har både et høyt potensial for biofilmdannelse og samtidig har lang oppholdstid på vannet.

Høye verdier for koliforme bakterier på nettet uten at det samtidig påvises E.coli kan også være en indikasjon på biofilmvekst.

Høye verdier av mikroorganismer i spyleslam etter spyling på nettet kan være en indikasjon på høy biofilmvekst. Dessverre er det pr. dato ikke mulig å si noe om hva som er normale verdier for mikroorganismer i spyleslam i Norge.

Biofilmdannelsen kan også måles ved at det benyttes kuponger av glass som biofilmen kan vokse på. Disse kupongene plasseres i en målerigg som plasseres på et egnet sted på nettet, for eksempel i en stor kum. Når denne veksten følges opp over en periode på 10-12 uker er det mulig å beregne veksthastigheten for biofilmen.



Figur 5. Glasskuponger (rørbiter) for måling av biofilmdannelse plassert inne i et pleksiglassrør

Hvorvidt vannet inneholder lett nedbrytbart organisk materiale kan måles ved å analysere vannet med hensyn på biologisk nedbrytbart løst organisk karbon (BDOC) eller assimilerbart organisk karbon (AOC). En får da vite om det er

nok lett nedbrytbart organisk karbon til å få en biofilmdannelse som kan utgjøre et problem, og en grense for når dette kan skje er ved en ca. 0,2 mg BDOC/l og ca. 50 µg AOC/l. Fordi både temperatur, kloreringspraksis og ledningsnettets utforming og drift kan påvirke om biofilmdannelse skaper et vannkvalitetsproblem må ikke disse grensene oppfattes som absolutte.

Ved prøvetaking og analyse for å måle biofilmdannelse eller potensialet for slik dannelse må en både ha en hygienisk prøvetaking for å unngå kontaminering av prøven og påse at prøven transporteres raskt til analyselaboratoriet for å unngå at innholdet i prøven endres under transport. Innen Norge sendes slike vannprøver gjerne som postpakke over natten, og prøvene tas på flasker utsendt av analyselaboratoriet og etter prosedyrer utarbeidet av dette laboratoriet.

#### 4.1.5. HVORDAN ER SAMMENHENGEN MELLOM BIOFILMDANNELSEN OG VANNKVALITETS-PROBLEMER

Dannelse av biofilm kan være en ganske jevn prosess. Vannkvaliteten påvirkes imidlertid av biofilm som løsner fra rørveggen, og dette er erfaringsmessig en prosess som kan være svært ujevn. Vannkvaliteten i ledningsnettets må derfor vurderes over tid, og fortrinnsvis i en helhet, før en kan konkludere med hensyn til om påvirkningen på vannkvaliteten fra biofilmen er akseptabel eller ikke. Ved vannverk der en har hatt høye kimtall i store deler av nettet og har målt potensialet for biofilmdannelse har imidlertid dette vært høyt, ofte pga. at vannbehandlingen omfatter ozonering og mangelfull fjerning av det lett nedbrytbare stoffet som dannes i denne prosessen. Høye kimtall enkelte steder i nettet kan en imidlertid ha uten et høyt potensial for biofilmdannelse, og dette må ses i sammenheng med selve kimtallsanalysen og at en kan måle høye kimtall selv om totalantallet for bakterier ikke er spesielt høyt.

### 4.2. HVORDAN KAN VI REDUSERE BIOFILMDANNELSEN I DRIKKEVANNsledningene

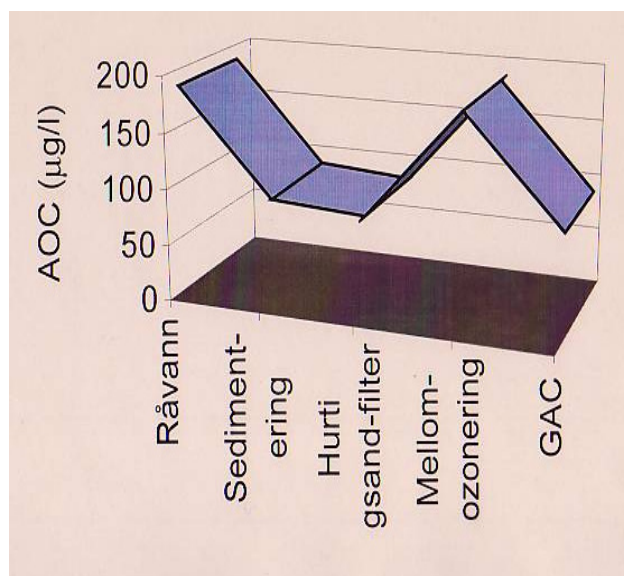
#### 4.2.1. VANNBEHANDLING

Et problem som forårsakes av biofilmdannelse har sin grunnleggende årsak i vannets innhold av BOM. Det mest nærliggende tiltaket er da å endre vannbehandlingen slik at BOM reduseres, og da fortrinnsvis ved å supplere anlegget med biofiltrering eller koagulering + partikkelseparasjon (for eksempel direktefiltrering). Effekten av ulike typer vannbehandling på vannets begroingspotensial er vist i tabell 1.

Vannbehandlingsmetode	Effekt på begroingspotensialet
Koagulering og partikkelseparasjon	Reduksjon
Membranfiltrering	Ingen
lonebyttning	Ingen
Biofiltrering	Reduksjon
Ozon	Kraftig økning
Klor	Økning
Aktivt karbon	Svak reduksjon

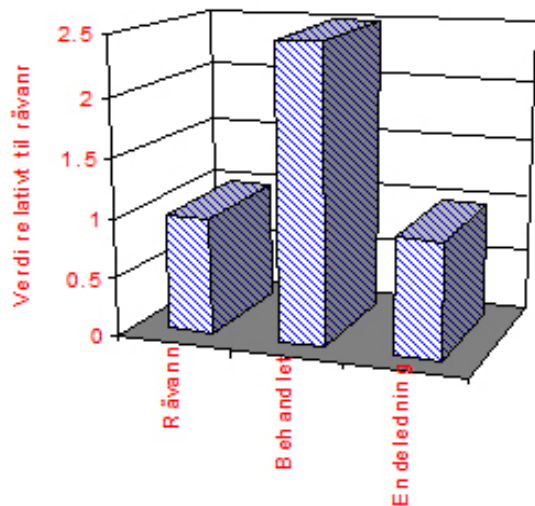
Tabell 1. Effekt av vannbehandling på vannets begroingspotensial

I et vannbehandlingsanlegg kan dermed potensialet for biofilmdannelse variere med vannets vei gjennom anlegget, som vist i figur 6.



Figur 6. Vannets begroingspotensial, målt som AOC, på ulike steder i et vannbehandlingsanlegg

Ozon er et kraftig oksidasjonsmiddel, og deler opp molekyler til mindre som kan gi grunnlag for biologisk vekst. Et eksempel er vist i figur 7, der vannbehandlingen kun besto i ozonering og dosering av klor. Begroingspotensialet økte kraftig, men sank utover ledningsnettets pga. den biologiske aktiviteten som var der. Resultatet ble svært høye kimtall og mye slamdannelse i ledningsnettets.



Figur 7. Effekt av ozonering på begroingspotensialet etter vannbehandling og i en endeledning

Et mulig alternativ til å fjerne BOM er å dosere kloramin i så høye konsentrasjoner at biofilmdannelse inhiberes (hemmes), ved å dosere klor og ammoniakk. I fullskala forsøk i Vestfold har en vist at kloramindosering har en dempende effekt på dannelse av biofilm, men at dosene må tilpasses vannkvaliteten for øvrig for at dette skal lykkes. Er dosen for lav vil denne kun ha effekt nære behandlingsanlegget. Å dosere klor, for eksempel som natrium hypokloritt, for å begrense biofilmdannelsen, vil normalt kreve klordoser langt over det norske abonnenter vil godta og som kan gi uakseptable konsentrasjoner av kloroform og andre biprodukter fra kloreringen. Resultatene fra forsøkene i Vestfold er vist i tabell 2 for to vannverk med Farris som råvannskilde, humusfjerning, korrosjonskontroll og klorering, men der det ene vannverket doserer ammoniakk til rentvannet. Med ammoniakkdosering ble begroingen større enn uten slik dosering, fordi klor er et sterkere desinfeksjonsmiddel enn kloramin. Ute på nettet førte ammoniakkdoseringen til lavere biofilmdannelse enn uten slik dosering fordi kloraminkonsentrasjonen holder seg utover nettet i motsetning til konsentrasjonene av fritt klor.

	Fritt restklor (mg Cl <sup>2</sup> /l)	Totalt restklor (mg Cl <sup>2</sup> /l)	Maks. mengde biofilm (pg ATP/cm <sup>2</sup> )	Maks hastighet på dannelse av biofilm (pg ATP/cm <sup>2</sup> *d)
Med kloramin: Vannbehandling-sanlegget	0,04	0,22	100	3
Med kloramin: Nettprøve		0,21	130	3
Uten kloramin: Vannbehandling-sanlegget	0,12	0,12	60	2
Uten kloramin: Nettprøve	0,00	0,00	200	4

Tabell 2. Effekt av kloramin på biofilmdannelsen

## 4.2.2. DRIFT AV LEDNINGSNETTET

En lang oppholdstid i rør og bassenger kan være medvirkende til at biofilmdannelsen gir vannkvalitetsproblemer som høye kimtall, og dersom driften av ledningsnettets vannet i deler av nettet er nær stillestående er dermed lite gunstig. Høy vannhastighet vil imidlertid ikke begrense biofilmdannelsen såfremt ikke dette også betyr at oppholdstiden blir lav (noe som imidlertid oftest er tilfelle).

Høye kimtall måles gjerne i endeledninger og i bassenger med høy oppholdstid. Fordi en i endeledninger også kan ha andre vannkvalitetsproblemer som høyt innhold av jern, bør en ha en helhetlig innfallsvinkel når en planlegger avbøtende tiltak. Tiltak som reduserer vannets oppholdstid i endeledninger vil normalt være positivt både med hensyn til kimtall, jerninnhold og partikler generelt. Likeledes vil hyppig spyling av endeledningene kunne fjerne både rust, biofilm og annet slam.

Hyppig spyling av ledninger med spesielt mye biofilmvækst vil ikke redusere veksten, men kan bidra til at biofilmen følger spylevannet til avløp i stedet for å løsne og følge drikkevannet til abonnentene. Frekvensen for spyling for å begrense vannkvalitetsproblemer vil variere fra ledning til ledning, men det er snarere snakk om månedlig enn årlig spyling, og dersom kimtallet også skyldes vekst oppstrøms i nettet er det ingen garanti for at spyling av et problemområde gir den ønskede effekten. Forsøk i Oslo med prøvetaking og analyse før og etter spyling viste at kimtallet i verste fall kan stige og holde seg høyt i noen måneder etter spylingen, noe som skyldes det forhold at spylingen bidro til å forstyrre sedimentene og biofilm oppstrøms ledningen som ble spylt. En spyling for å redusere vannkvalitetsproblemer pga. biofilmdannelse kan derfor i verste fall innebære spyling av store deler av nettet dersom problemet med høye kimtall skyldes lokale forhold i endeledningen vil derimot hyppig spyling av denne løse problemene. I et eksempel fra spyling av en endeledning med svært lite vannforbruk ble kimtallet doblet umiddelbart etter spyling, men sank deretter i løpet av noen dager til et nivå under det en hadde før spyling. Etter ca en måned begynte kimtallet igjen å øke gradvis.

Spyleslam består gjerne av rust, mineralske partikler som for eksempel leire, humus, biomasse (mikroorganismen) og i enkelte tilfeller manganoksid. Sammensetningen kan variere betydelig mellom ulike punkter i samme ledningsnett, og for eksempel varierte andelen av rust i spyleslam fra 7 punkter i Oslos nett med liten gjennomstrømning fra 8-65 % av slammet i samme prøveserie, uten at ledningsmaterialene nær prøvepunktene kunne forklare variasjonen. På samme måte kan andelen av levende organismer og hvilke organismer en finner i biofilmen variere innen samme ledningsnett, og selvsagt mellom nett med ulike kilder og behandlingsanlegg.

### 4.3. SAMMENDRAG

Biofilmdannelse i drikkevannsledninger skyldes at det er lett nedbrytbart organisk materiale i vannet. Biofilmen kan gi økt overlevelse og vekst av sykdomsfremkallende mikroorganismer, samt gi høye kimtall og høy turbiditet i vannet.

Biofilmdannelsen kan reduseres ved å:

- Behandle vannet slik at mengden lett nedbrytbart organisk materiale reduseres
- Tilsette vannet kloramin

De problemene som forårsakes av biofilmdannelsen kan dessuten reduseres ved:

- En design og drift av ledningsnett som hindrer stagnert vann i soner og endeledninger
- Hyppig spyling av problemområder

### 4.4. FORKLARING PÅ ENKELTE BEGREPER OG ANALYSEMETODER

- ATP (adenosine trifosfat) er en energibærer i alle levende celler
- AOC (assimilerbart organisk karbon) er et mål på vannets potensial for biofilmdannelse. Analysen måler mengden biomasse som dannes.

- BDOC (biologisk nedbrytbart organisk karbon) er et mål på vannets potensial for biofilmdannelse. Analysen måler mengden DOC som brytes ned.
- BOM er en forkortelse for biologisk nedbrytbart organisk materiale. BOM består av en rekke ulike stoffer, som bl.a. organiske syrer. Humus bidrar i liten grad til BOM.
- DOC er løst organisk karbon
- *Escherichia coli* (E.coli) er en tarmbakterie som greier å vokse ved temperaturer helt opp mot 45 °C og benyttes som indikator på vannets innhold av fersk avføring.
- Intestinale enterokokker er en annen type tarmbakterier, som overlever lenger i vann enn koliforme bakterier. Hvis man påviser intestinale enterokokker i vannet, men ikke *E.coli*, er det et varsel om at virus fortsatt kan være til stede i vannet, siden virus fra avføring vanligvis overlever lenger i vann enn koliforme bakterier.
- Kimtall er et mål på vannets innhold av koliformende bakterier på et spesielt vekstmedium.
- Kloramin er et desinfeksjonsmiddel som dannes ved reaksjon mellom klor og ammoniakk. Kloramin er et svakere desinfeksjonsmiddel enn klor, men brytes ikke like raskt ned i distribusjonssystemet.
- Koliforme bakterier finnes i all avføring og brukes for å vise om vannet inneholder tarmbakterier. Enkelte arter koliforme bakterier kan også forekomme i naturen. Påvisning av koliforme bakterier i drikkevann viser derfor en mulig, men ikke sikker, forurensning med tarmbakterier.
- MW er molekylvekt og er et mål på molekylenes størrelse
- pH er et uttrykk for vannets surhet
- TOC er totalt organisk karbon
- Turbiditet er et mål på vannets innhold av små partikler.

Henvisninger:		Utarbeidet:	des 2009	SINTEF v/Lars Hem
		Revidert:		