

Jern- og manganoksiderende bakterier i drikkevannsledninger. Konsekvenser for dannelse av biofilm/slam.

Av Harry Efraimsen

Harry Efraimsen er forsker ved Norsk institutt for vannforskning

Innlegg på fagtreff 12.april 1999

Innledning

Temaet om problemer med slamdannelse i ledningsnett for drikkevann, og hvilke mikroorganismer som bidrar til å forringe vannkvaliteten er et relativt sett "gammelt" problem. Allerede for 25 år siden ble det utgitt en temarapport (1) som omhandlet slam og dyr, samt jern og manganoksiderende bakterier i ledningsnett for drikkevann. Dette er nyttig informasjon også i dag.

Anslagsvis ca. 87-88 % av alt drikkevann i Norge er overflatevann. Det er i Trøndelag-fylkene og i områder i sør- og østlige Norge hvor vannet er betydelig påvirket av humusstoffer. Men dette er også situasjonen for mange små og mellomstore vannverk (100 - 1000 personer) på andre steder i landet.

Naturlig organisk materiale (NOM), og da den mest hydrofobe fraksjonen av NOM (2), sammen med annen dispersert partikulær materiale (alger,

bakterier o.l.) som synker i vannmassene og som kan føres med inntaksvann inn i ledningssystemet.

Etablering av biofilm i ledningsnett og løsrivning av dette materialet, sammen med materiale som føres inn fra råvannkilden, som inneholder kompleksbundet jern og mangan har en stor betydning for problemet med slam i drikkevann.

Korrosjon i selve ledningsnett (støpejernrør, sementrør, stikkledninger og fordelingsnett i bygninger) kan også bidra i betydelig grad til slamdannelsen (3).

Avsetning av slam i endeledninger og soner med lavt vannforbruk kan føre til lav konsentrasjon av oppløst oksygen i vannet p.g.a. mikrobiell aktivitet, og slamsoner med tilnærmet anoksiske forhold kan etableres. Ved anoksiske forhold vil kompleksbundet jern og mangan bli redusert og frigitt. Dette gi bedre vekstbetingelser for jern og manganoksiderende bakterier. Og denne type bakterier påvises svært ofte i "etablert" slam fra drikkevann.

I tillegg til jernoksidierende bakterier finnes det andre aerobe og fakultative anaerobe heterotrofe mikroorganismer, nitrifiserende og denitrifiserende bakterier. Det er påvist både sulfatreduserende (obligat anaerobe) og svoveloksidierende når lokale miljøforhold er tilrettelagt. Dette er mikroorganismer som kan omdanne karbon, nitrogen, svovel, jern og mangan som en del av deres mikrobielle aktiviteter (4).

Aerobe jernoksidierende bakterier skaper ikke direkte noen helsemessig problem, men deres bidrag ved dannelse av slam gis det grobunn for andre bakterier til å etablere seg, også opportunistiske patogener. (serogrupper av *Ps. aeruginosa*) Biofilm og etablering av slamavsetninger i ledningsnett må betraktes som et relativt gunstig miljø for biokjemiske prosesser. Under reduserte betingelser vil det bli dannet metabolitter og sluttprodukter som setter uheldig lukt og smak på vannet. I tillegg vil rustpartikler forringe vannets kvaliteten og bruksverdi.

Jern og manganoksidierende bakterier

Jern- og manganoksidierende bakterier ansees som de viktige bidragsyttere for dannelsen av rustbrunt og partikulært slam i ledningsnett, og de følgende nevnte er ofte referert til i faglitteraturen.

Hylsebakterier (filamentøse)

Genus *Leptothrix*

Stavformede bakterier som er omgitt av

en hylse. Hylsen blir lett omkapslet eller avleiret med utfelt jern- og manganoksid. Bakterier støtes ut som frittsvømmende enkel-celler eller i par. (Kan opptre som bevegelige korte kjeder, opptil 6-8 celler i hver). Hylsebakterier er obligat aerobe heterotrofe mikroorganismer som kan utnytte flere sukkerarter, organiske syrer og glyserol som karbon og energikilde (5).

Det er spesielt to arter som ofte observeres.

L. ochracea har utfelling av jernoksid rundt filamentene. Tilstedeværelse i eldre slam avsløres med mange tomme hylse som har "glatt" overflate. Evne til å oksidere mangan under naturlige forhold er ikke blitt påvist. Den påvises ofte i vann fra grunnvannsbrønner (ofte sammen med *Gallionella*). *L. discophora* har evne til å avleire både jern og manganoksid. Vokser normalt i sakte rennende ikke forurenset, men med jern- og manganholdig vann. *L. ochracea* og *L. discophora* vokser godt i jernholdig jordekstrakt, uten at det er kjent hvilke bestandeler i ekstraktet som understøtter veksten. Det er nærliggende å anta at dette er stoffer som også er tilstede i løst humus i vann, eller som frigjøres under nedbrytning av humusholdig slam.

Stilkbakterier

Genus *Gallionella*

Bakterien har nyreformede celler som danner lange tråder innkapslet med jernoksid. *Gallionella ferruginea* som er den mest aktuell i tilknytning til drikkevann, opptre i oligotroft

(næringsfattig) vann som inneholder oppløst jern. Den betraktes som er gradient organisme fordi det er rapportert at den vokser best ved litt lavt redoks potensial, Eh i området +200-+320 mV og ved et svakt surt miljø, pH 6-7,5, påvirket av oppløst CO₂ (kullsyre). Det er påvist at bakterien er mixotrof, dvs. at den kan utnytte både CO₂ og organiske forbindelser til oppbygging av cellulær karbon (6).

Den påvises ofte i grunnvann.

Genus *Hyphomicrobium*

Encellet bakterier som produserer protoplasmatråder og vokser i klaser som lett "fanger" små svevpartikler i vannet og danner fnokker med avleiret jern- og manganoksider. Utnytter lav molekylære forbindelser eks. metanol, metylamin, trimetylamin som karbonkilde. Den er funnet å blomstere særlig godt i ozonbehandlet vann. *Hyphomicrobium* utnytter nitrat som N-kilde og vokser derfor også under anaerobe betingelser. Dette er metylotrøfe denitrifiserende mikroorganismer som med egnet substrat og red-oks forhold, f. eks. i biofilm, kan vokse i anseelige mengder.

Hyphomicrobium er funnet i brakkvann, i jord og ferskvann.

Enkel cellulære bakterier

Genus *Siderocapsa*

Dette er bakterier med varierende form og størrelse (fra kokker til korte staver), ofte belagt med utfelt (avleiret) jern eller manganoksider. Avleiret materiale

kan være rust-brun som skyldes tilstedeværelse av jernoksider, eller ha et grønlige skjær som skyldes tilstedeværelse av manganoksider. Det er ikke bevist at bakteriene hører til jern- og manganoksidende bakterier, men heller bør betraktes som en gruppe bakterier som er i stand til å danne jern og manganoksider rundt cellene (7). Den er funnet i dype brønner og i hypolimnion (dyplaget) i innsjøer.

Metaller i slam

Det er utført relativt få kjemiske analyser på slam avsatt i ledningsnett for drikkevann.

Analyser på "humusslam" avsatt i tilførselstunneller og ledninger fra noen vannverk som er utført i de senere år viser at det kan oppstå en kraftig anrikning av spesielt jernoksider, men også at innholdet av manganoksider kan øke betydelig i slamtørrstoffet. Undersøkelser fra vannverket i Harstad og i Drammen-området som er vist i tabellen på neste side illustrerer dette.

For det ene vannverket var det over seks ganger høyere innhold av jern i slam fra distribusjonsnettet sammenlignet med det som ble funnet i tunnel-slammet. Konsentrasjonen av mangan var imidlertid den samme i begge slamprøvene.

Slamprøvene fra ledningsnettet i Drammensområdet viste mindre variasjon, men konsentrasjonen av manganoksider var relativt høyt i forhold til jernoksider.

Prøver fra ledningsnettet med vann fra Røysjøvann viste 41 % jernhydrok-

| Troms Harstad vannverk | Fe(OH) ₃ | MnO ₂ |
|-----------------------------------|---------------------|------------------|
| Tilførseltunnel | 12% | 1% |
| Ledningsnett | 78% | 1% |
| Buskerud | | |
| Glitre, basseng | 9% | 18% |
| ledningsnett | 14% | 17% |
| Røysjøvann, ledningsnett | 41% | 2% |
| Konnerud, ledningsnett | 13% | 13% |

sid og lavt innhold av mangan i slam-tørrstoffet. Konsentrasjon av jern og mangan i selve drikkevannet er ikke innhentet.

Analyser av slam fra Konnerud ledningsnett viste 13 % av både jern og manganoksider. I begge slamtypene ble det funnet bakterier som er hyppig tilstedeværende og typisk slamavsetninger i ledningsnett.

Sammensetningen av NOM kan ha

betydning for hvilke bakterier som favoriseres i produksjon av biofilm/slam.

Slam i vannmålere

Analyser utført i 1998 på slam avleiret i vannmålere for Drammen vannverk har vist at utfelling av spesielt jern kan variere til dels betydelig i et begrenset distribusjonsområde, med tilførsel av drikkevann fra samme vannkilde.

Analyser av metaller i slam-tørrstoffet er vist i etterfølgende tabell.

| Prosentandel i slam-tørrstoffet | Prøvested | | |
|--|------------------|----------|----------|
| | 1 | 2 | 3 |
| % Jern | 36.3 | 11.5 | 10.5 |
| % Mangan | 0.5 | 0.3 | 0.2 |
| % Kobber | 0.1 | 1.4 | 1.0 |
| % Sink | 0.3 | 0.3 | 0.1 |

Det ble funnet dominans av "grov"-granulerte utfellinger (partikkelstruktur) i slammet. Ved syrebehandling for å løse opp utfellingen ble det funnet coccoide bakterier (jernoksidierende *Siderocapsa* lignende bakterier.) i struk-

turen. I tillegg ble jernbakterien *Gallionella* funnet i betydelig mengde, og det antas av denne bakterien var viktig for etableringen av det høye innholdet av jern i slammet fra prøvested 1.

I områder med relativt lav vannhastighet på nettet vil sedimentering av slam sannsynligvis være størst. Dette kan føre til aktiv mikrobiell omsetning (redusert miljø) og i kombinasjon med korrosjon på rørmaterialet resultere i at toverdig jern oksideres ved hjelp av bakterier og ny biomasse blir produsert, med utfelling (slam) som sluttresultat. Varierende omsetning på ledningsnett vil da kunne gi varierende konsentrasjon av jern og mangan i slammet avhengig av de miljømessige forhold.

Konsentrasjon av kobber som i denne sammenheng er et korrosjonsprodukt, indikerer at korrosjonen i ledningsnett kan variere, og være påvirket av de materialkvaliteter som er benyttet.

Undersøkelser av slamdanning i drikkevann

Blant de mest omfattende undersøkelser som er rapportert om norske forhold ble utført i siste halvdel av 1960-årene. Dette var et relativt betydelig humuspåvirket råvann som viste seg å gi vekst av jern og manganoksiderende bakterier av genus *Leptothrix*. Etter behandling med ozon ble fraksjon av lett assimilert karbon økt betydelig og det oppstod en oppblomstring av heterotrofe bakterier bl.a. av manganoksiderende bakterier bl.a. *Hyphomicrobium*. Denne kraftige utviklingen av biofilm bidro til et meget høyt bakterietall i hele ledningsnett.

Hovedkonklusjonen i rapporten den gang var at; for å unngå eller redusere problemet ville det være nødvendig å iverksette en rensing som fjernet det

organiske stoffet i råvannet, som var hovedkilden til problemet med ettervekst. Det andre tiltaket som var aktuelt var å tilsette desinfeksjonsmiddel for å hindre vekst av bakteriene i ledningsnett (8).

I forbindelse med forsøksdrift med fullrensing (koagulering og filtrering) ble det i perioden 1989-1990 utført forsøk i gjennomstrømningsapparat for å belyse effekten på fullrense vann (kjemisk felling, koagulering og filtrering) med hensyn til reduksjon i begroing/slamsdannelse sett i forhold til råvann.

Resultatene fra forsøkene bekreftet de tidligere undersøkelser om at råvann produserte et begroingslam som inneholdt de samme typer jern og manganoksiderende hylsebakterier. I tykklaget biofilm ble det observert tilstedeværelse av svoveloksiderende bakterier som indikerte at slammet hadde utviklet anoksiske (reduserte svovelforbindelser) forhold i biofilmen. Typiske beiter som ciliater og flagellater utviklet seg i slammet.

Analyser av råvannskvaliteten (n=6) viste; TOC 4,4 mg/l, Fe, 84 µg/l, Mn, 16 µg/l.

Av total jern og mangan i testvolum ble det gjenvunnet 17 % jern og 39 % mangan i etablert/nydannet begroing.

Etter kjemisk rensing av vannet var analyseverdiene; (n=6); TOC 2,0 mg/l, Fe, 5 µg/l Mn, 7,1 µg/l

Av total jern og mangan i testvolumet ble det gjenvunnet respektiv 37% og 14% i etablert/nydannet begroing. Opptakshastigheten av mangan viste seg å øke kraftig mot slutten av testperioden.

Selv om det ble funnet en betydelig andel jern og mangan i begroingen for rensert vann var det minimalt med utfelling i kapselen til hylsebakteriene, genus *Leptothrix*.

Den anvendte renseprosess fjernet ca. 75 % av det partikulære materialet i vannet og reduserte innholdet av organisk stoff til mindre enn 2 mg/l. Ved å redusere jern til mindre enn 10 µg/l var det etablert et lavt potensiale for vekst av trådformede jern og manganoksidende bakterier.

Begroing i grunnvannsbrønner

Også i grunnvann er det rapportert om betydelige problemer med begroing og rust partikler i vannet.

I et system med flere borebrønner i løsmasse avsetninger utviklet det seg etter en tid kraftig filamentøs begroing av genus *Leptothrix* i tilførselsledningene til vannverket.

I et annet brønnsystem i Finnmark ble de i en av brønnene funnet slam hvor det ble observert *Leptothrix ochracea* og *Gallionella* spp. I vannet fra denne brønnen varierte innholdet av jern fra 1 til 3 mg/l.

Tiltak for å unngå slamdanbnnelse i ledningsnett

Episoder med rustbrunt slamholdig drikkevann er et vanlig problem ved flere vannverk særlig om sommeren og utover høsten. Det mest vanlige tiltak for å redusere problemene for konsumenten er regelmessig spyling av de utsatte områder i ledningsnett.

Internasjonalt, særlig i USA, er desinfeksjon med restklor på nettet mye brukt for å hindre eller redusere ettervekst og slamdannelsen.

I Norge er som kjent restklor i drikkevannet ikke populært hos konsumenten fordi det setter uønsket smak og det dannes klorerte biprodukter i humuspåvirket drikkevann som er lite ønskelig.

Gjeldene forskrifter for drikkevann, og oppmerksomheten omkring den hygieniske kvaliteten på drikkevann i Norge (strengere krav til sikring ved hygieniske barrierer) fører til bedre rensing og vannbehandling.

I løpet av 1990-tallet har stadig flere vannverk startet dosering av vannglass som vannbehandling for å hindre korrosjon i ledningsnett. Det foreligger ganske omfattende data som viser at bruk av vannglass har redusert slamproblemet vesentlig (9). Det ventes at mer forskning i bruk av vannglass i vannbehandlingen den nærmeste tiden vil gi mer kunnskap om de prosesser som finner sted i sammenheng med redusert slamavsetning.

Skal slam som problem i drikkevann unngås eller reduseres til et minimum, synes det å være bare en farbar vei å gå, nemlig å fjerne eller redusere kraftig innholdet av NOM i vannet ved hensiktsmessige rensemetoder, slik at man oppnår et tilnærmet biologisk stabilt drikkevann.

Membranfiltreringsanlegg synes å være interessant for små og mellomstore vannverk som har humuspåvirket råvann. For de største vannverkene kan omfattende rensing (kjemisk felling,

koagulering og filtrering) være det mest aktuelle alternativet for vannrensing.

Problemet med slam i ledningsnettene og de konsekvenser dette har for vannkvaliteten til konsumentene, kan henføres til en av konklusjonene i en rapport som ble skrevet for snart 32 år siden som omhandlet slamproblemer i ledningsnettene til et norsk vannverk (8). "Den sikreste måten til å bli kvitt slamplagen på vil være å fjerne det organiske stoffet i vannet"

Det er denne problemstillingen vi står ovenfor også i dagens situasjon når det gjelder slam i drikkevann.

Referanser

1. Ormerod, Kari S. Siv. ing. 1974. Problemer med slam og dyr i distribusjonsnettene for vann. Tema-rapport 2 NIVA
2. Hem, Lars J. Dr. ing. Naturlig organisk materiale som årsak til vannkvalitetsproblemer, betydning av molevektsfordeling til det organiske materialet. VANN nr.1 1998.
3. Korrosjon i ledningsnettene. Nytt fra Folkehelse Program for vannforsyning VANN nr.3. 1998
4. Geldreich, Edwin.E. Microbial Quality of Water Supply in Distribution Systems Lewis Publishers, CRC Press 1996.
5. Mulder, Epe Gerke and Deinema, Maria H. The Sheathed Bakteria. The Procaryotes, 2nd edition.
6. Hallbeck, L. and Pedersen, K. 1991 Autotrophic and mixotrophic growth of Gallionella ferruginea. Journal of General Microbiology. V 137, pp 2657-2661.
7. Hanert, Hans H. The genus Siderocapsa (and other Ion- and Manganese-Oxidizing Eubacteria. The Procaryotes, 2nd edition.
8. Ormerod, Kari S. Siv. ing. (m. medarbeidere). Slamdannelse u vannforsyningsnett fra Aurevann, Bærum. NIVA-rapport O-31, 1974.
9. Mikaelson Britt K. Erfaringer fra vannverk som bruker vannglass.(innlegg i fagtreff i desember 1997). VANN nr.1.1998.