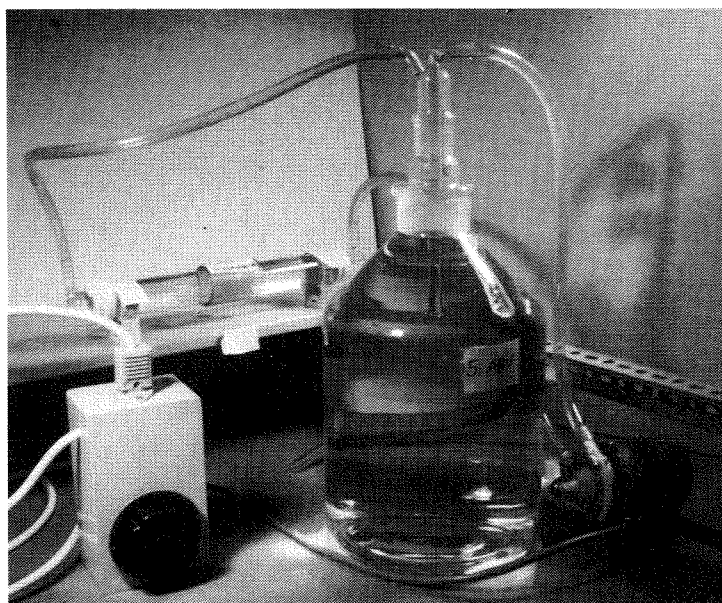


O-88201

Begroingspotensiale i drikkevann

Bærum vannverk



NIVA - RAPPORT

Norsk institutt for vannforskning



NIVA

Hovedkontor
Postboks 33, Blindern
0313 Oslo 3
Telefon (02) 23 52 80
Telefax (02) 39 41 29

Sørlandsavdelingen
Grooseveien 36
4890 Grimstad
Telefon (041) 43 033
Telefax (041) 42 709

Østlandsavdelingen
Rute 866
2312 Ottestad
Telefon (065) 76 752

Vestlandsavdelingen
Breiviken 5
5035 Bergen - Sandviken
Telefon (05) 95 17 00
Telefax (05) 25 78 90

| |
|-------------------------|
| Prosjektnr.: |
| 0-88201 |
| Undernummer: |
| |
| Løpenummer: |
| 2229 |
| Begrenset distribusjon: |
| |

| | |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Rapportens tittel: | Dato: |
| | 25.04.1989 |
| Begroingspotensiale i drikkevann | Prosjektnummer: |
| | 0-88201 |
| Forfatter (e): | Faggruppe: |
| | Analyse |
| | Geografisk område: |
| | Antall sider (inkl. bilag): |
| | |

| | |
|---|----------------------------------|
| Oppdragsgiver: | Oppdragsg. ref. (evt. NTNf-nr.): |
| Bærum kommune vann- og kloakkvesenet | |

| |
|--|
| Ekstrakt: |
| Det er utført en undersøkelse i laboratorie-skala for å belyse vekstpotensialet i 5 forskjellige vanntyper. Hovedhensikten var å bestemme mikrobiell aktivitet og begroingspotensial i vann med forskjellig behandlingsgrad. Den benyttede fullrensingsprosess av råvann fra Aurevatn reduserte begroingen med ca 85 % sammenliknet med ozonert vann, og til et nivå tilsvarende det som ble målt for vann i ledningsnettets fra Holsfjorden. Fullrensing ser ut til å fjerne vekstgrunnet for jern- og manganoksidende bakterier. |

4 emneord, norske:

1. Drikkevann
2. Begroingspotensiale
3. Laboratorieskala-forsøk
- 4.

4 emneord, engelske:

1. Drinking water
2. Growth potential
3. Laboratory experiment
- 4.

Prosjektleder:

Harry Efraimssen

For administrasjonen:

R. G. Andersen

ISBN - 82-577-1524-7

NORSK INSTITUTT FOR VANNFORSKNING NIVA

0-88201
E-89494

BEGROINGSPOTENSIALE
I
DRIKKEVANN

BÆRUM VANNVERK

Laboratorie-skala forsøk

Oslo, 25. april 1989

Prosjektleder:

Harry Efraimsen

Medarbeidere:

Kari Ormerod, SIFF

Torsten Källqvist

Kari Nygaard

Ellen Corneliussen

Roy Beba

I N N H O L D S F O R T E G N E L S E

| <u>Seksjon</u> | <u>Side</u> |
|--|-------------|
| 1. INNLEDNING | 3 |
| 2. TESTBETINGELSER OG METODER | 4 |
| 2.1 Testvann | 4 |
| 2.2 Justering av vannets pH | 5 |
| 2.3 Temperatur og inkubasjonstid | 5 |
| 2.4 Inokulum | 5 |
| 2.5 Biokjemisk oksygenforbruk | 6 |
| 2.6 Bakterier i vannfasen | 6 |
| 2.7 Organisk stoff, nitrogen og fosfor i vannfasen | 6 |
| 2.8 Høsting og analyser av begroingen | 6 |
| 2.9 Selektive analyser av begroingen | 7 |
| 3. RESULTATER OG DISKUSJØN | 7 |
| 3.1 Undersøkelser av testvannet | 7 |
| 3.1.1 Biokjemisk oksygenforbruk, BOF | 7 |
| 3.1.2 Totalinnhold av bakterier i vannet | 10 |
| 3.1.3 Innhold av levende bakterier i vannet | 11 |
| 3.2 Begroing på glassplater og i begroingskammer | 11 |
| 3.2.1 Kjemisk karakterisering av begroingen | 12 |
| 3.2.2 Virkning av kloramin i ozonert vann på BOF og begroing | 15 |
| 3.2.3 Akkumulering av jern og mangan i begroingen | 16 |
| 3.3 Mikroskoperingsanalyser | 16 |
| 3.3.1 Hovedinntrykket fra undersøkelsen ved mikroskopering | 17 |
| 3.3.2 Råvann | 20 |
| 3.3.3 Ozonert vann | 22 |

| Seksjon | Side |
|---|------|
| 3.3.4 Ozonert vann med kloramin | 24 |
| 3.3.5 Fullrenset vann | 26 |
| 3.3.6 Vann fra Aurevath-nettet, Brynsveien | 28 |
| 3.3.7 Vann fra Asker og Bærum nettet (Hølsfjord-vann) | 30 |

| | |
|--------------------|----|
| 4. LITTERATURLISTE | 31 |
|--------------------|----|

| | |
|---------|----|
| VEDLEGG | 32 |
|---------|----|

FIGURFORTEGNELSE

| Figurer | Side |
|--|------|
| Figur 1. Skjematisk tegning av en testenhet. | 4 |
| Figur 2. BOF mg oksygen/L/dag i middel for hvert vannskift. | 8 |
| Figur 3. Akkumulert oksygenforbruk under testperioden. | 9 |
| Figur 4. Totalantall bakterier/mL bestemt ved EPI-fluorecens, telt siste dag i hver eksponeringsperiode. | 10 |
| Figur 5. Heterotrofe bakterier på MKA-medium (NS 4791 B) | 11 |
| Figur 6. Begroing i kamrene og på platene, bestemt som TOC. | 12 |
| Figur 7. Begroing i kamrene og på platene, bestemt som KOF. | 13 |
| Figur 8. Utviklingen i oksygenforbruk og etablert begroing i ozonert vann med og uten kloramin. | 15 |
| Figur 9. Råvann, oversiktsbilder av slammets utseende. | 19 |
| Figur 10. Ozonert vann, oversiktsbilder av slammets utseende. | 21 |
| Figur 11. Ozonert vann, med kloramin, oversiktsbilder av slammets utseende. | 23 |
| Figur 12. Fullrenset vann, oversiktsbilder av slammets utseende. | 25 |
| Figur 13. A-nettet, oversiktsbilder av slammets utseende. | 27 |
| Figur 14. ABV-nettet, oversiktsbilder av slammets utseende. | 29 |

FORORD

Bærum vannverk har helt siden midten av 1960-årene, etter at ozonbehandling av råvannet ble tatt i bruk, hatt problemer med slamførende drikkevann i sitt vannforsyningsnett fra Aurevatn vannverk.

I forbindelse med at vann- og kloakkvesenet ved Bærum kommune vurderer en omlegging til en mer omfattende renseprosess ble NIVA gitt i oppdrag å undersøke begroingspotensialet på vann som har gjennomgått kjemisk felling og sandfiltrering, sammen med 4 andre vanntyper. Det relative begroingspotensialet mellom de alternative vanntypene er undersøkt i sirkulasjonsenheter i laboratorie-skala.

Siv. ing. Kari Ormerod, Statens Institutt for Folkehelse (SIFF) har deltatt som faglig konsulent under prosjektets gang, og også deltatt aktivt i utarbeidelsen av konklusjonene i rapporten. Hun er hovedansvarlig for bedømmingen av begroingens mikrobielle og kvalitative sammensetning. Hennes deltakelse har vært av stor betydning for gjennomføringen av prosjektet.

På bakgrunn av begroingsproblematikkens generelle interesse for drikkevann fra overflatevann, har NIVA ytet noe finansiell støtte til denne undersøkelsen i form av interne forskningmidler.

SAMMENDRAG OG KONKLUSJON

Vann fra Bærum vannverks forsyningsnett fra Aurevatn er undersøkt med hensyn til begroingspotensiale. Det ble benyttet små (6,1 L) sirkulasjonsheter for etablering av begroing.

Følgende vanntyper ble testet:

- Råvann.
- Ozonert vann.
- Ozonert vann med klorrest.
- Kjemisk behandlet (koagulering), sandfiltrert vann, (fullrensning).
- Vann fra ledningsnettet fra Aurevatn, Brynsveien 88.
- Vann fra ledningsnettet fra Holsfjorden, Slepndveien 44.

Denne undersøkelsen ble igangsatt for å belyse vekstpotensialet i de forskjellige vanntyper, med hovedhensikt å begrense begroing på veggene i ledningsnettet fra Aurevatn renseanlegg. Forskjellige parametre ble benyttet ved karakterisering av dette vekstpotensialet. Ved sluttvurderingen er det tatt mest hensyn til dannelsen av belegg på objektglassene i begroingen.

Oksygenforbruket i de forskjellige testenhetene viste store forskjeller, og fulgte ikke alltid utviklingen av begroingsbelegg. Dette kan dels ha sammenheng med at det i enkelte belegg, på slutten av testperioden, kom til utvikling større mengder av høyere mikroorganismer som beitet på belegget. Slike høyere mikroorganismer kan ha høyt oksygenforbruk. For andre av testenhetene satt begroingen løst festet til platene og veggene, slik at den løsnet lett og kom ut i vannet. Den ble da medbestemt som kim eller bakterier i vannet, mens beiting av høyere mikroorganismer ikke forekom i samme grad.

Hovedinntrykket etter undersøkelsene er at alle vanntypene frembrakte bakteriebelegg på flatene, men at tykkelsen av belegget og mangfoldet av mikroorganismer var høyest i råvann, ozonert vann og nett-vann fra Aurevatn. Fullrensning av vann fra Aurevatn ved den benyttede renseprosess reduserte belegg-dannelsen til samme nivå som den fra vannet i ledningsnettet fra Holsfjorden. Basert på TOC-analysene av belegget på glassplatene, utgjorde belegg-dannelsen fra fullrenset vann bare 15 % av den som ble dannet fra ozonert vann.

Hylsebakterier av genus Leptothrix var utbredt og tildels dominerende i begroingen fra råvann, ozonert vann og i ledningsnettene ved Brynsveien 88. Disse bakterier ble ikke funnet i begroingen fra fullrenset vann og i drikkevann fra Holsfjorden. Deres tilstedeværelse kan ha sammenheng med vannets innhold av jern, i større grad enn av mangan.

Nitratreducerende Hyphomicrobium-bakterier ble påvist i begroing dannet fra ozonert vann og fra vann fra Holsfjord-nettet. I begroing fra de andre vanntypene ble denne bakterie ikke påvist. Bakterien synes ikke lenger å spille noen større rolle for dannelsen av slam i Aurevatn-nettet. Vannkvaliteten synes å ha endret seg siden 60-årene, da det den gang ikke ble funnet større mengder Leptothrix ute på ledningsnettene fra Aurevatn.

Felling og sandfiltrering ser ut til å fjerne vekstgrunlaget for de bakteriene som for de andre vanntypene fra Aurevatn dannet mer eller mindre brunfarget slam. Slammet som ble dannet ved sedimentering og begroing fra fullrenset vann var ganske likt slammet fra Holsfjord-nettet.

1. INNLEDNING

I vannforsyningsnettet fra Aurevatn har Bærum vannverk en råvannskilde med relativt høyt fargetall som i 1960-årene skyldes høyt humusinnhold. Etter en periode med lavere farge har fargetallet igjen steget.

For å tilfredsstillere helsemyndighetenes krav til drikkevann har vannverket siden 1963 behandlet vannet ved mikrosiling og ozonering. Vannet ble så pH-justert og klorert før det ble sendt ut på distribusjonsnettet. I de påfølgende år kom det mange klager fra konsumentene om brune fnokker (slam) i vannet.

Bakteriologiske undersøkelser utført av NIVA i siste halvdel av 60-årene viste at bakterieinnholdet i ozonert vann økte dramatisk ute på ledningsnettet når desinfeksjonsvirkningen avtok. En rekke tiltak er forsøkt for å redusere begroingsproblemet i ledningsnettet uten at man har funnet en tilfredsstillende løsning.

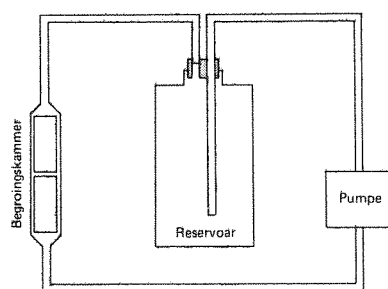
Ønske om å bedre vannkvaliteten førte til at man i 1988 bestemte seg for å få satt igang forsøk med fullrensing ved kjemisk flokkulering og sandfiltrering. Forsøksdriften var såvidt lovende at det ble behov for å undersøke om bedre vannkvalitet i form av en betydelig reduksjon i fargetall og en halvering av organisk stoff også ville gi en drastisk reduksjon i vannets begroingspotensiale. NIVA ble gitt i oppdrag å gjennomføre en slik begroingsundersøkelse.

Ghosh M. M. et.al.(1) har foretatt en litteraturstudie og utviklet en såkalt ATP-index for fastsittende mikroorganismer i drikkevann. For å studere slamdannelsen ble det benyttet et gjennomstrømningssystem hvor bl.a. TOC og oksygenopptak ble analysert, i tillegg til ATP (adenosin trifofat) og studie av bioslammets kinetikk. Dette arbeidet er grunnlaget for valg av testopplegg for denne undersøkelsen.

Som referanselitteratur er Ormerod, K et.al.(2), Undersøkelse av slamdannelsen i vannforsyningsnettet fra Aurevatn i perioden 1965 -1969, benyttet. Det er særlig karakteriseringen av begroingen (mikroorganismene) den gang i forhold til det som ble observert i denne testen som er av spesielt interesse.

2. TESTBETINGELSER OG METODER

Det ble valgt å benytte et sirkulasjonssystem, hvor hver testenhet besto av et begroingskammer av glass med en lengde på 22 cm og indre diameter på 2,8 cm. Kamret var koblet til en 5 liters glassflaske med PVC slanger, og en Eheim akvarie-pumpe ble brukt til å holde en vanngjennomstrømning i systemet på 950-1000 ml/min. Det totale volum i hver enhet var på 6,1 liter. To glassplater (objektglass) ble satt inn i hvert begroingskammer. Den ene glassplaten ble slipt ru på den ene siden for å gi bedre feste for begroingen. Figur 1 viser en skjematisk tegning av en testenhet.



Figur 1. Skjematisk tegning av en testenhet.

2.1 Testvann

Følgende testvann-alternativer fra Bærum Vannverk, Aurevatn forsyningsnett ble undersøkt; råvann (ikke mikrosilt), ozonert vann, fullrenset (kjemisk behandlet-sandfiltrert) vann, og vann fra ledningsnettet ved Brynsveien 88 (A-nettet). I tillegg ble vann fra ledningsnettet ved Slepndveien 44 også undersøkt. Dette vannet kom fra Asker og Bærums vannforsyning fra Holsfjorden (ABV-nettet). Fullrenset vann ble produsert under en kort periode ved vannverket. Derfor ble hele det nødvendige vannvolumet tatt samlet i 10 L plastkanner og lagret i frosset tilstand.

De andre testvann-typene ble levert en gang pr. uke og på fast dag for vannskift. Vannet ble temperert og luftet før hele vannmengden i hver enhet ble skiftet ut med nytt testvann. Samtidig ble en 10 l porsjon frosset for bruk til det andre vannskift i ukeperioden. De frosne vannprøvene ble smeltet i vannbad over natten, og preparert som nevnt overfor. Ved en feiltakelse ble det først levert ozonert vann

tilsatt kloramin, slik at denne vanntype måtte testes på nytt. Retestingen ble utført umiddelbart etter at hovedtestingen var avsluttet. Vannkvaliteten ansees for å være stabil på den årstid som forsøket ble utført. Alle resultater som er vist for ozonert vann i figurene er fra retestingen av vann uten klorrest, mens de mest interessante resultatene fra ozonert vann med klorrest er tatt med og diskutert.

2.2 Justering av vannets pH

Ozonert vann var svakt surt, med pH i området 6,2-6,4. Nytt vann av denne vanntypen ble justert til pH 7,0-7,2 med 1N NaOH ved vannskift. For de øvrige testvanntyper var justering ikke nødvendig, da verdiene var innenfor området 6,7 - 7,9, med unntak av et tilfelle for råvann hvor pH ble justert til 7,2.

2.3 Temperatur og inkubasjonstid

Inkubasjonstemperaturen har innvirkning på mikroorganismers veksthastighet. Lav temperatur (5 - 10 °C) vil gi lavere veksthastighet og forlenge inkubasjonstiden, før tilstrekkelig begroing er etablert. For høy inkubasjonstemperatur (over 20 °C) er ugunstig for de bakterier som danner begroing eller vokser i vannet i et ledningsnett for drikkevann. Det ble valgt å benytte 15 - 17 °C som et akseptabelt kompromiss. En inkubasjonstid på ca 4 uker ble ansett som nødvendig for å oppnå en tilstrekkelig etablering av biomasse i alle testenheter, slik at en god differensiering kunne oppnås.

2.4 Inokulum

For å sikre at alle vanntypene inneholdt mikroorganismer av samme type som i ledningsnett, ble inokulum preparert av vann fra A-nettet (Fornebu), hentet samme dag som forsøket ble startet. Ca 20 L vann ble filtrert gjennom spesialvasket 0,8 mikrometer membranfilter (Millipore). Bakterier og andre partikler som ble samlet på filtret ble resuspendert i 300 mL av samme vannet. 60 mL av suspensjonen ble tilsatt til hver enhet ved start. Suspensjonens bakterieinnhold (kimtall) ble bestemt til 3000/mL. Dette tilsvarer en tilsats på ca 30 kim/mL i testprøvene ved start.

2.5 Biokjemisk oksygenforbruk

Vannets innhold av oppløst oksygen ble bestemt etter NS 4734, titrimetrisk metode. Det ble utført duplikat-analyser på både nytt og eksponert vann ved hver vannskift, for dermed oppnå høy presisjon i analysen.

2.6 Bakterier i vannfasen

Innholdet av bakterier i vannfasen på eksponert vann ble bestemt ved EPI-fluorescens telling ved hvert vannskift. Det ble benyttet en teknikk hvor bakterienes deoksyribonukleinsyre (DNA) ble farget med Diamidine-phenylindole. I tillegg ble det utført bestemmelse av kimtall (maksimalantall heterotrofe kim, NS 4791 Tillegg B, MKA-medium) på eksponert vann etter 7 og 18 dager, og ved forsøkets slutt. Petriskålene ble inkubert i 14 døgn ved 15 °C før bakteriekoloniene ble telt.

2.7 Organisk stoff, nitrogen og fosfor i vannfasen

Organisk stoff (TOC), nitrogen (NS 4743) og fosfor (NS 4725) ble analysert på ikke eksponert og eksponert vann for siste vannskift. Dette ble gjort for eventuelt å påvise næringsbegrensning av nitrogen eller fosfor.

2.8 Høsting og analyser av begroingen

Begroingen på den ene glassplaten ble høstet, mens begroingen på den andre platen ble karakterisert kvalitativt ved mikroskopering. For å styrke datagrunnlaget ved vurderingen, ble begroingen på veggene i selve kamret også høstet, men analysert separat. Begroingen ble løsgjort fra veggene ved hjelp av en gummisvaber og vasket ut i sirkulasjonsvannet. Innholdet av organisk stoff i eksponert vann, før utvasking av begroingen, ble også analysert. Dette var nødvendig for å kunne beregne mengden av fastsittende begroing.

Den etablerte begroingen ble kvantifisert ved å bestemme innholdet av organiske stoff (TOC) og KOF. TOC ble analysert på ASTRO Mod. 2001, og KOF etter NS 4748. Hver begroingsprøve ble dispergert ved hjelp av ILADO homogenisator og konservert.

2.9 Selektive analyser av begroingen

Den delen av begroingen fra glassplatene som skulle mikroskoperes ble samlet i små glassflasker. I tillegg til mikroskoperingen ble dette materialet også strøket ut på PC-agar for påvisning av manganoksiderende bakterier (3), og podet til metanol-nitrat anrikningsmedium for Hyphomicrobium-bakterier (4).

3. RESULTATER OG DISKUSJON

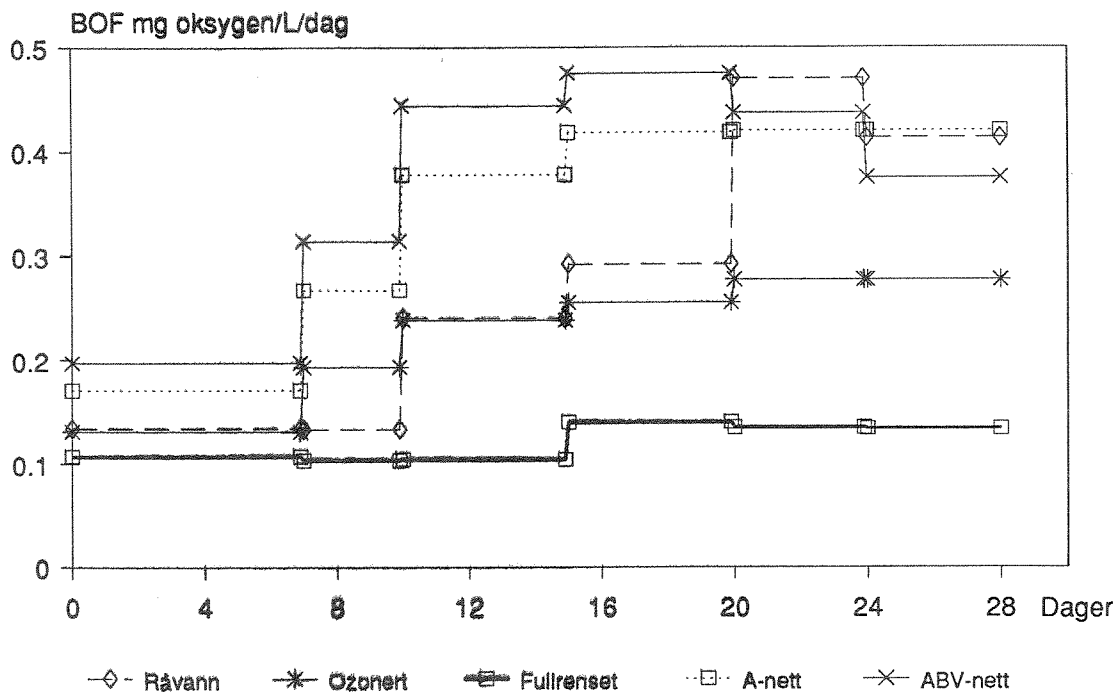
3.1 Undersøkelser av testvannet

Det dannet seg etterhvert tydelig begroing på glassplatene i begroingskamrene. For enhetene med vann fra A-nettet og ABV-nettet ble det ved vannskiftet etter 15 døgns inkubasjon observert at noe av begroingen var løsnet fra platene. En del av denne begroingen hadde samlet seg i deler av kamrene hvor strømningsforholdene begünstiget sedimentering. I eksponert vann var det synlige fnokker av bakterievekst. Noe begroing ble også revet løs ved igangsettingen etter vannskift, selv om dette ble utført med forsiktighet. Dette førte til at det eksponerte testvannet inneholdt noe partikulært materiale i form av bakteriefnokker. For de andre testenhetene ble det ikke iaktatt synlig løsrivning.

3.1.1 Biokjemisk oksygenforbruk, BOF

Utviklingen i biokjemisk oksygenforbruk (BOF) er et uttrykk for den mikrobielle aktivitet i testsystemet under testperioden.

BOF er beregnet som middelverdi pr. dag for hvert vannskift, og er vist i figur 2.

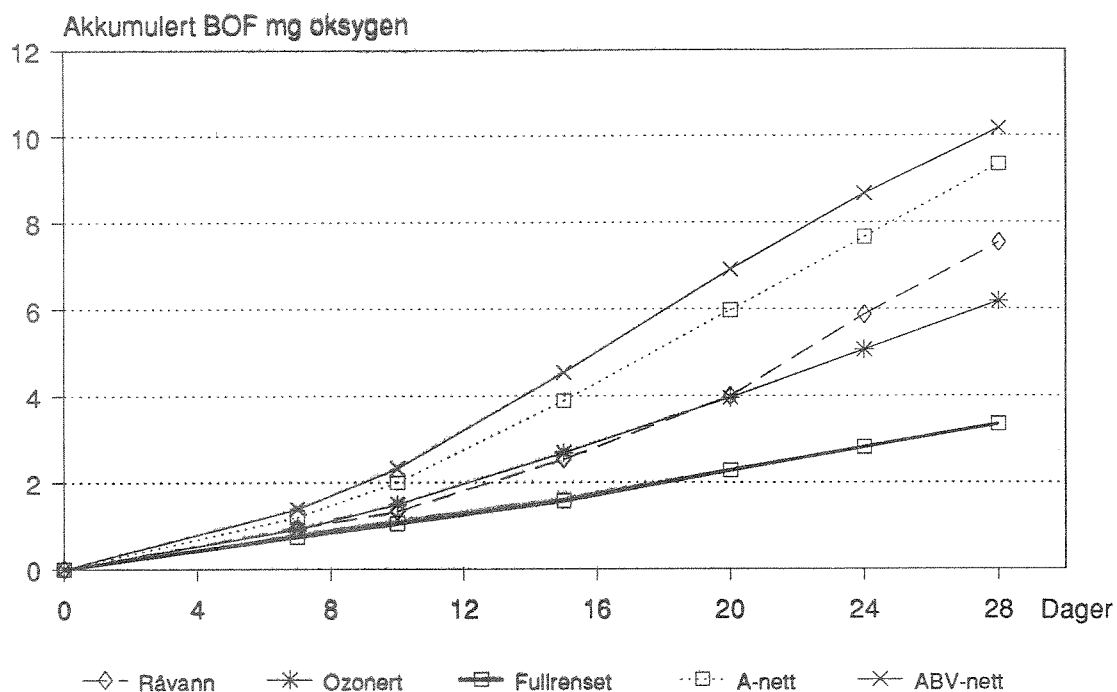


Figur 2. BOF mg oksygen/L/dag i middel for hvert vannskift.

BOF i fullrenset vann var på ca 0,14 mg O₂/L/dag under siste halvdel av testperioden, og representerte ca 50% av verdiene for ozonert vann. Utviklingen i råvann var omtrent på samme nivå som i ozonert vann frem til 20. døgn, men økte så til over 0,4 mg O₂/L/dag. BOF i råvannet samsvarte godt med etableringen av begroingen i kamret.

Vann fra A-nettet og ABV-nettet viste overraskende høy BOF sammenliknet spesielt med ozonert vann. Gjennomgående var oksygenforbruket størst i ABV-nettet, men til slutt endte det på samme nivå som for A-nettet og råvann.

Figur 3 viser utviklingen i akkumulert oksygenforbruk under testperioden. Figuren viser i prinsippet det samme som fig. 2, men den gir en bedre oversikt over det totale forbruk over tid.

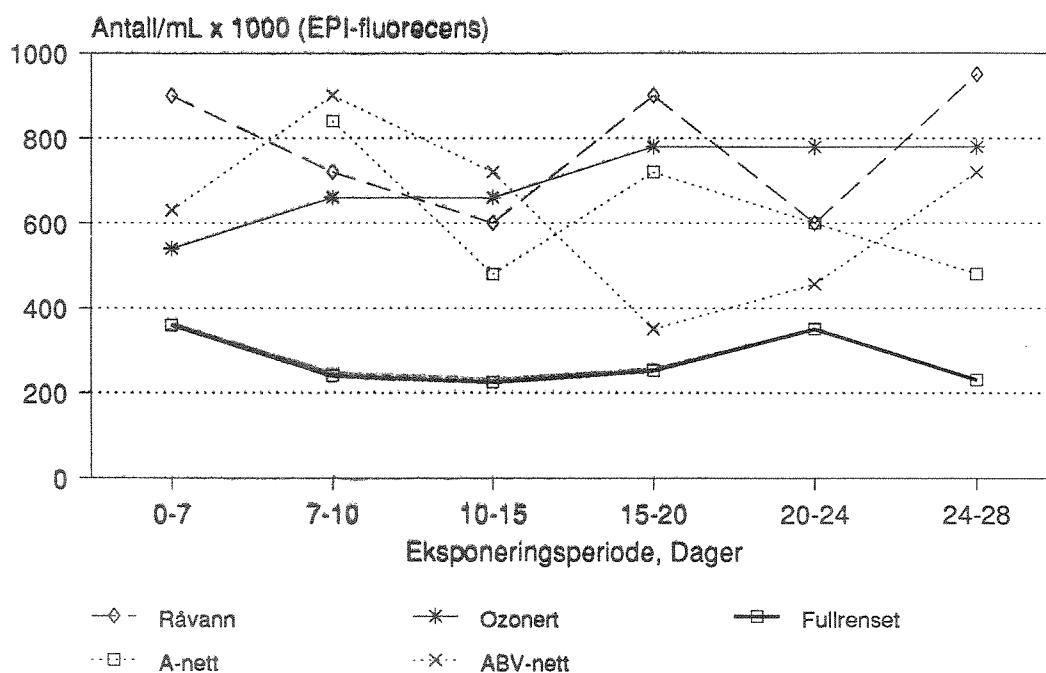


Figur 3. Akkumulert oksygenforbruk under testperioden.

Både begroing på flatene i systemet og frittsvevende organismer i vannet bidrar til oksygenforbruket ved sin respirasjon. Også protozoer og andre større mikroorganismer, som lever av bakterier og annet partikulært materiale, bidrar til oksygenforbruket. Det kan være etableringen av større mengder slike organismer som er årsak til det høye oksygenforbruket i siste del av testperioden for råvann. Slike organismer ble observert ved mikroskoperingen av slammet, og store mengder amøber ble observert på PC-platene som var podet med dette slammet.

3.1.2 Totalinnhold av bakterier i vannet

Resultatene fra direktetelling av bakterier med EPI-fluorecens er vist i figur 4. Med denne teknikken telles både levende og slike som er inaktivert, men som ennå ikke er begynt å gå i oppløsning (blitt nedbrutt).

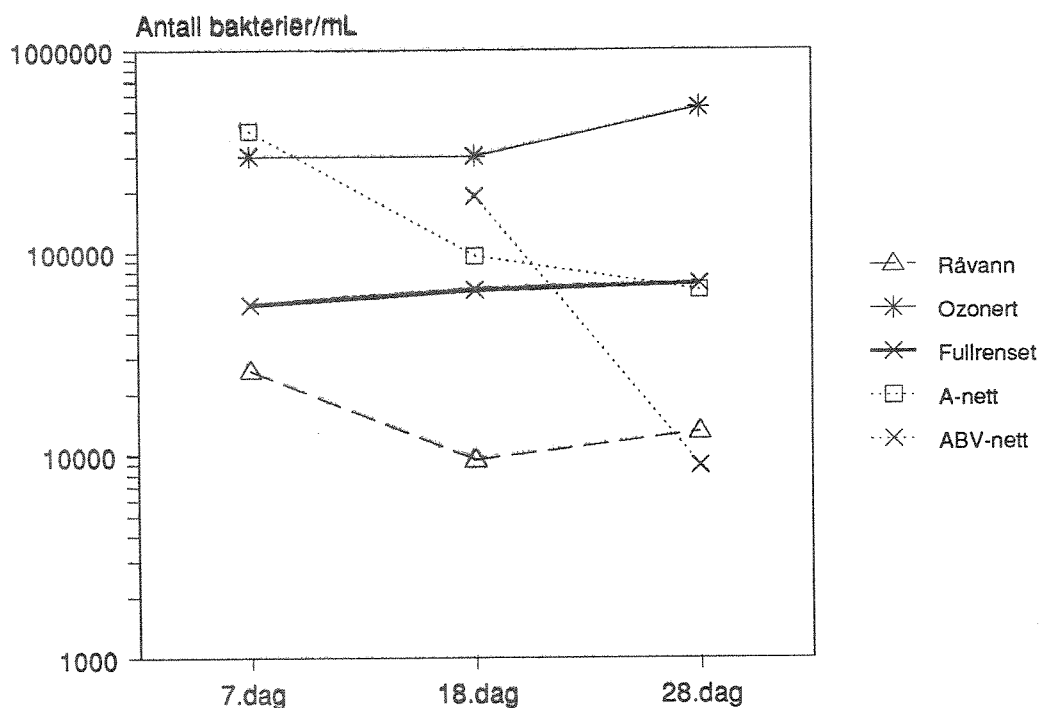


Figur 4. Totalantall bakterier/mL bestemt ved EPI-fluorecens, telt siste dag i hver eksponeringsperiode.

Det var stabil produksjon av bakterier i fullrenset- og ozonert vann. Som snitt for siste del av testperioden viste fullrenset vann verdier på ca 30 % av den for ozonert vann. For de øvrige testvann var det betydelig variasjon. For testperioden sett under et, viste råvann og ozonert vann $7-8 \times 10^5$ bakterier/mL, mens vann fra A-nettet og vann fra ABV-nettet viste $6,2 \times 10^5$ bakterier/mL.

3.1.3 Innhold av levende bakterier i vannet

Fremvekst av levedyktig kim på MKA-medium er viste i figur 5.



Figur 5. Heterotrofe bakterier på MKA-medium (NS 4791 B)

Råvann viste lavest innhold av bakteriekim med denne metoden. Verdiene var 1×10^4 kim/mL i råvann og 6×10^4 kim/mL for fullrenset vann, mens det for ozonert vann var $30-50 \times 10^4$ kim/mL. Kimtallene i ozonert vann var 5-8 ganger høyere enn i fullrenset vann, altså en stor forskjell også med denne metoden. Verdiene for vannet i ledningsnettene varierte mye over tid, særlig for ABV-nettet, men for denne vanntypen forligger bare 2 analyseverdier. Kimene i vannet fra A-nettet viste en reduksjon over tid, og lå ved slutten av testperioden på samme nivå som for fullrenset vann.

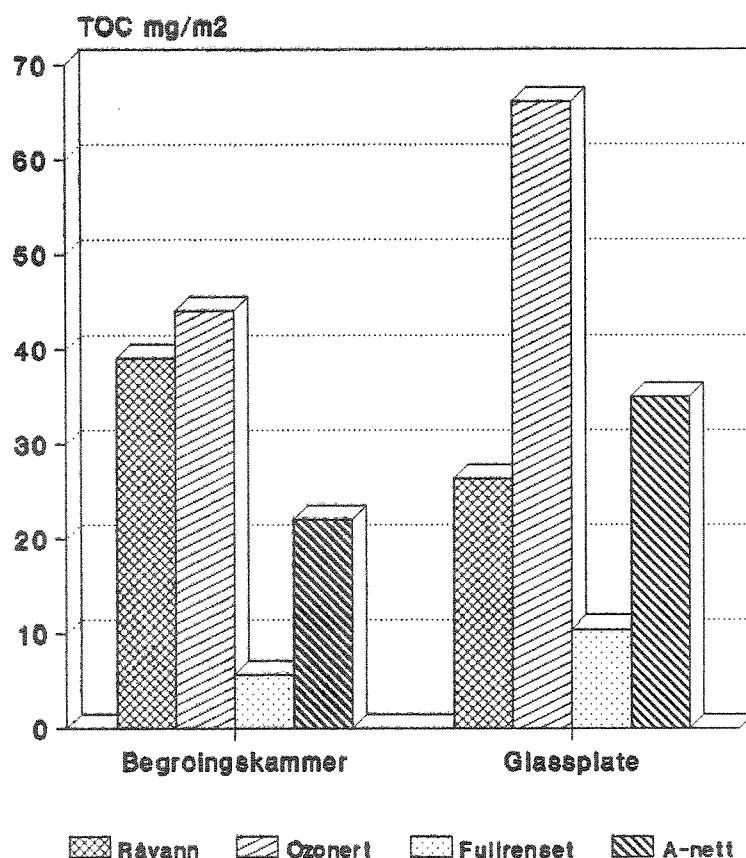
3.2 Begroing på glassplater og i begroingskammer

Som beskrevet i begynnelsen av dette kapitlet, ble det observert løsriving av begroingen på objektglassene med vann fra A-nettet og vann fra ABV-nettet, men ikke fra de andre testenhetene. Dette betyr at begroingen i de to nevnte enhetene ikke var festet så godt til underlaget som i de fire andre enhetene. En forskjell mellom disse vanntypene og de tre andre typene var at begge typene av nettvann hadde vært tilsatt desinfeksjonsmidlet klor. En annen undersøkelse (6)

har vist at vann som er klordesinfisert, og inneholder en lav, men målbar fri klorrest, ikke så lett frembringer begroing i ledninger som ozonert og UV-desinfisert vann.

3.2.1 Kjemisk karakterisering av begroingen

Mengde fastsittende begroingen som etablerte seg i vekstkamrene i løpet av testperioden er illustrert i figur 6 og 7. TOC-analysene for slam fra ABV-vann viste stort forskjell mellom glassplate og begroingskammer, og er derfor ikke vist i figur 6.



Figur 6. Begroing i kamrene og på platene, bestemt som TOC.

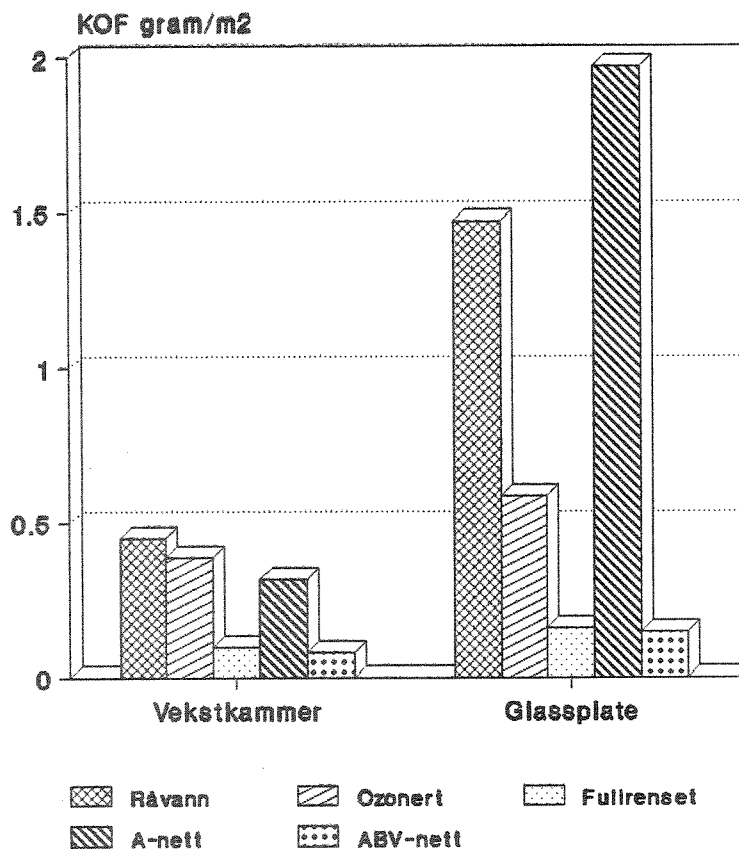
Det er god overensstemmelse mellom de to alternative begroingsflatene, slik at de relative forhold mellom testvannstypene må betraktes som tilfredsstillende dokumentert. Ozonert vann viser imidlertid størst avvik, med ca 50% høyere verdi for platearealet enn for veggene i kamret.

De relative verdiene som ble oppnådd synes å være i god overensstemmelse med de visuelle observasjoner som ble gjort under høstingen av begroingen. Råvann viste relativt høye TOC-verdier sett i forhold

til ozonert vann og A-nettet. Dette kan forklares ved at partikulært materiale (detritus) som ble observert i enkelte leveranser av råvann, ved sedimentering kan ha gitt et tilskudd til TOC og KOF-verdiene.

Den mest interessante forskjell ble oppnådd mellom ozonert- og fullrenset vann. Begroingen i fullrenset vann utgjorde 14-16 % av verdiene for ozonert vann, og ca 25-30% av begroingen i vann fra A-nettet.

Figur 7 viser fastsittende begroing målt som kjemisk oksygenforbruk (KOF). KOF ble analysert som et supplementet til TOC, og for å ha et alternativ i beregningsgrunnlaget, særlig om TOC-analysene p.g.a. små prøveuttak av prøver med partikulært materiale skulle vise seg å gi et lite representativt resultat.



Figur 7. Begroing i kamrene og på platene, bestemt som KOF.

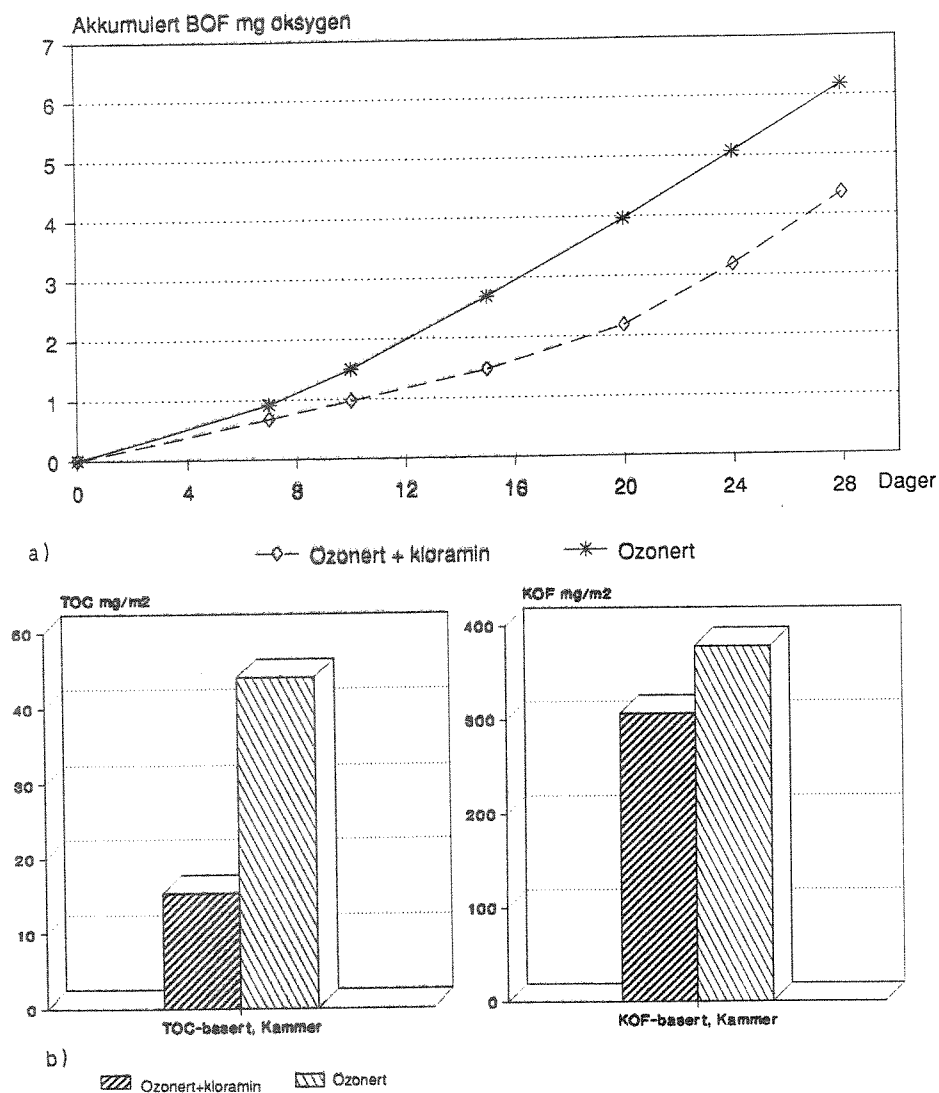
Begroingsverdiene for kamrene er i rimelig overensstemmelse med TOC-verdiene, mens glassplatene viser betydelig avvik. Her er det særlig verdien for råvann og A-nettet som er spesielt høye.

KOF-verdiene gir plausible begroingstall for ABV-nettet. Det ble dannet lite fastsittende begroing, og mengden var på samme nivå som for fullrenset vann. Det ble observert en betydelig løsrivning av begroing under siste halvdel av testperioden, og fnokker var lett synlige i eksponert testvann fra ABV-nettet. Begroingsstrukturen i ABV-nettet var voluminøs, og skilte seg vesentlig fra begroingsstrukturen i de andre testvanntypene. Bakterieantallet i vannfasen og respirasjonen (oksygenforbruket, fig. 2 og 3) viser også at det var høy mikrobiell aktivitet i ABV-nettet i første del av testperioden, for deretter å avta. Dette kan forklares med at det ble dannet en type begroing som lett løsnet og derfor ble fjernet ved vannskift.

Det er kjent at bakterier under forhold med begrensning av nærings-salter (spesielt fosfor) kan ha relativ høy respirasjon uten at det gir seg utslag i omsetning av organisk stoff. Det relative høye oksygenforbruket i ABV-nettet kan ikke settes i direkte sammenheng med nitrogen- eller fosforbegrensning. Analyser for nitrogen og fosfor (se vedlegg) viste at det ikke var markert forskjell mellom vann fra Holsfjorden og Aurevatn, med unntak for fullrenset vann fra Aurevatn.

3.2.2 Virkning av kloramin i ozonert vann på BOF og begroing

Forskjell i biokjemisk aktivitet og dannelse av begroing i ozonert vann med og uten kloramin er vist i figur 8, a og b.



Figur 8. Utviklingen i oksygenforbruk og etablert begroing i ozonert vann med og uten kloramin.

Utviklingen i oksygenforbruk var betydelig påvirket ved at mikroorganismene ble hemmet av desinfeksjonsmidlet. Dette var mest påviselig under de første 20 døgner av testperioden. Etter ca 20 døgner var opptakshastigheten for vann med klorrest kommet på tilnærmet samme hastighet som for ikke klorert vann. Dette tydet på at organismene i begroingen adapterte seg til den klorrestkonsentrasjon som var i

vannet over tid. Den samme utvikling ble observert med hensyn til dannelse av begroing i kamrene. Begroingsmengden målt som TOC var ca 35 % i ozonert vann med kloramin i forhold til uten tilsetning. Basert på KOF var forskjellen betydelig mindre, som det fremgår av figur 8 b.

3.2.3 Akkumulering av jern og mangan i begroingen

Resultatene fra analyse for jern og mangan i begroingen er vist i nedenfor stående tabell.

| Begroingsslam | Begroing fra kamrene | | Forhold Fe/Mn |
|-------------------|----------------------|-------------|---------------|
| | Jern µg/L | Mangan µg/L | |
| Råvann | 330 | 330 | 1 |
| Ozonert | 230 | 90 | 2,6 |
| Ozonert, klorrest | 230 | 24 | 9,6 |
| Fullrenset | 41 | 8 | 5,1 |
| A-nettet | 280 | 19 | 14,7 |
| ABV-nettet | 49 | 7,2 | 6,8 |

Tabell 1. Innhold av jern og mangan i høstet begroingslam.

Begroingen som ble dannet fra råvann hadde like høyt innhold av jern og mangan. Begroingen fra ozonert vann inneholdt litt mindre mangan i forhold til jern, og i ozonerte vannet med klor-rest var det avleiret enda mindre mangan i forhold til jern. Det samme forhold var enda noe større i begroingen fra A-nettet. Dette viser av behandling av råvannet med ozon motvirket akkumulering av mangan i slamm, og at klordesinfisering uttterligere motvirket slik akkumulering. Begroingen fra fullrenset vann og fra ABV-nettet hadde lavt innhold av både jern og mangan.

3.3 Mikroskopingsanalyser

Objektglassene i gjennomstrømningskamrene var plassert nesten horisontalt, slik at noe sedimentering i tillegg til vekst av mikroorganismer (begroing) kan ha funnet sted. Fra hver av endene av den begrodde flaten ble det skrapet av belegg som ble samlet i litt vann og benyttet til mikroskopering. Deretter ble observasjonene kontrollert ved direkte mikroskopi av det intakte belegget midt på objektglasset.

For A-nettet og ABV-nettet satt den dannede begroing løsere festet til objektglasset enn med de andre vanntypene, som nevnt i det foregående. De forskjellige begroingsprøvene ble karakterisert med hensyn på innhold av mikroorganismer, og inntrykket ble dokumentert ved fotografering i mikroskop, både med farge- og sort/hvitt film. Typisk utseende av de forskjellige begroingsbelegg er vist på de etterfølgende figurer, og beskrevet i medfølgende tekst.

3.3.1 Hovedinntrykket fra undersøkelsen ved mikroskopering

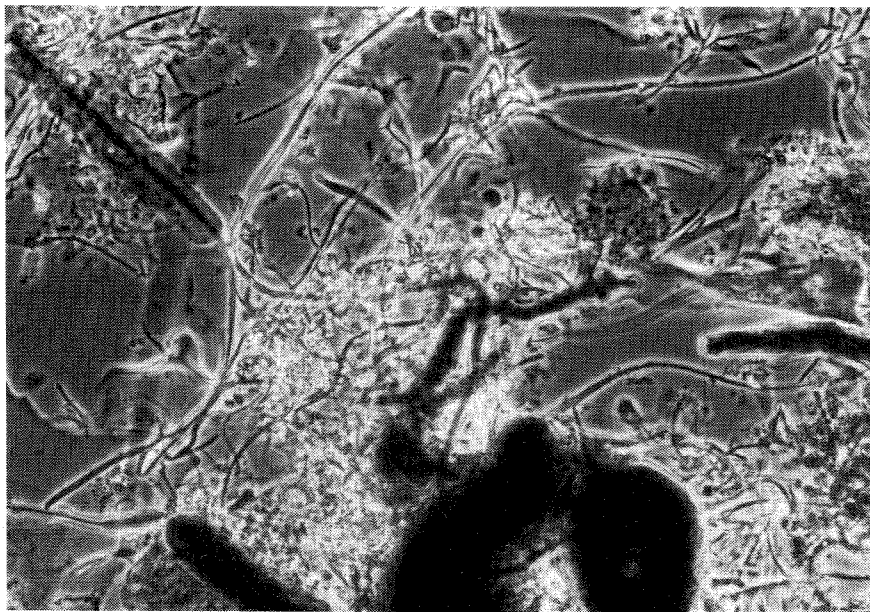
Slammet fra råvannet, som hadde høyt innhold av både jern og mangan, var det eneste som inneholdt Leptothrix-bakterier med tykk, mørke brun avleiring i kapselen. De to andre slamtypene med tydelig innhold av Leptothrix-bakterier, det fra ozonert vann og det fra A-nettet (Brynsveien), inneholdt mye mer jern enn mangan, og de nevnte bakteriene hadde lyse brun og meget tynn (smal) kapsel. Slammet fra vannet fra Brynsveien inneholdt også en annen type hylsebakterie (Clonothrix-liknende) med ansamling av rustkorn-liknende partikler på kapselen (kapselen består av høypolymere stoffer som dannes utenpå hylsen som bakterien vokser inne i, som perler på en snor).

Det ser etter dette ut som om manganoksidasjonen ikke kommer skikkelig igang igjen etter ozoneringen. Slammet fra det ozonerte vannet som hadde hatt kloraminrest ved starten av forsøket, inneholdt minst mangan, og i dette slammet ble bakterien Hyphomicrobium hverken observert ved mikroskopering eller påvist i anrikningskultur. Denne bakterien ble mikroskopisk påvist i slammet fra ozonert vann uten kloramin, og også raskt påvist i anrikningskultur. Hyphomicrobium fra ledningsnettet fra Aurevatn behandlingsanlegg ble tidligere påvist å være aktivt jern- og manganoksiderende (5). Det er mulig at denne bakteries tilstedeværelse er årsaken til at slammet fra ozonert vann uten kloramin har høyere manganinnhold.

Det lyktes imidlertid ikke å påvise manganoksiderende Hyphomicrobium på PC-medium. Dette vekstmedium er anbefalt av Tylor (3), til slik påvisning. Slammet hadde også et annet utseende enn det som var vanlig for ledningsslam dengang jern- og manganoksiderende Hyphomicrobium ble påvist (2). Den gang var det sjelden å se Leptothrix tråder i begroing fra nettet, mens de vanligvis var tilstede i slam fra råvann og mikrosilt vann. Det er mulig at dette kan forklares ved at råvannskvaliteten idag er forskjellig fra den man hadde i 1960-årene, slik at vannet idag har mer jern og mindre mangan, og kanskje også lavere innhold av humusstoffer, enn dengang.

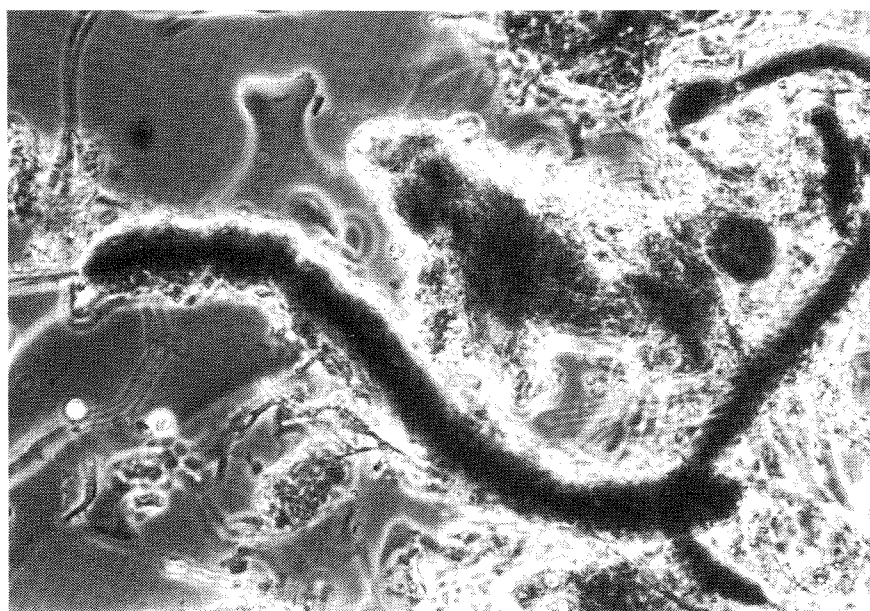
Slammet som ble dannet med vannet fra fullrenseanlegget ved Aurevatn renseanlegg og med vannet fra ABV-nettet hadde et helt annet utseende. De brunfargete Leptothrix-trådene var helt forsvunnet, slammet hadde et kornet utseende, men disse kornete fnokkene inneholdt en mengde stavbakterier. Noen få fnokker fra ABV-slam inneholdt Hyphomicrobium-liknende bakterier, og slike ble også påvist i anrikningskultur. Begroingen her inneholdt imidlertid lite mangan, selv om Hyphomicrobium ble påvist. Disse bakterier vokser også godt uten at mangan er tilstede i vannet. De ernærer seg hovedsakelig av lavmolekylært organisk stoff, men kan oksidere mangan når det er tilstede i vannet.

Den benyttede type fullrenseprosess ser ut til å ha fjernet vekstgrunlaget for de bakteriene som fra de andre vanntypene dannet brunfarget slam, slik at det slammet som ble dannet ved sedimentering og begroing ble ganske likt slammet fra ABV-nettet.

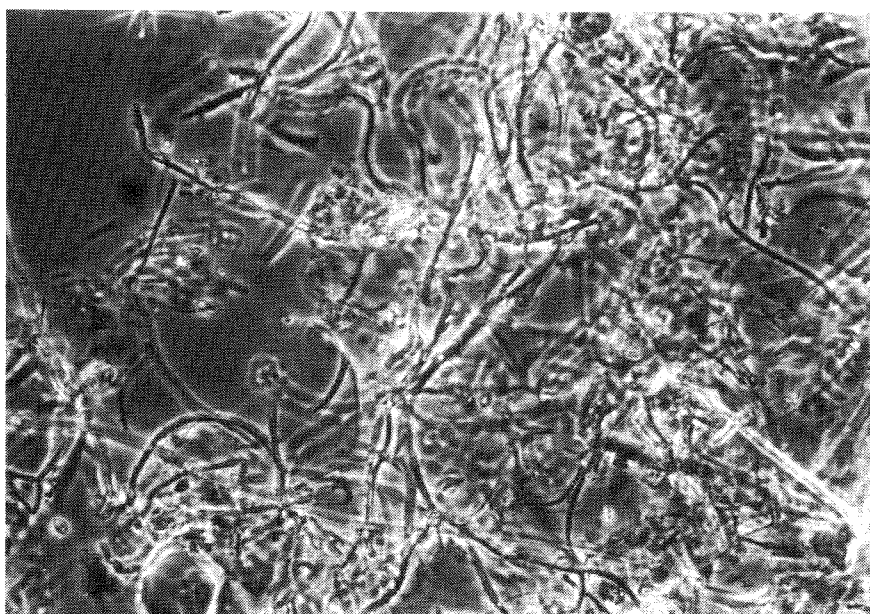


Figur 9
Råvann

Bilde 1
182 x forstørret



Bilde 2
290 x forstørret



Bilde 3
290 x forstørret

3.3.2 Råvann

Begroingen besto av tykt, brunt belegg, nærmest rustbrunt av farge.

Slammet hadde høyt innhold av tråder av hylsebakterien Leptothrix. Trådene var omgitt av brunt, jern- og manganholdig materiale. Slammet hadde også høyt innhold av trådformede organismer uten avleiring av jern og mangan. I tillegg inneholdt det stavbakterier i ansamlinger. Disse ansamlingene inneholdt både jern og mangan. Av høyere organismer ble det observert stilk-ciliater (Vorticella-liknende) og amøber. Slammet ble strøket ut på PC-medium for påvisning av manganoksiderende organismer, men slike organismer lot seg ikke påvise. Det fremkom imidlertid store mengder amøber på platene. Slam ble også podet i anrikning for nitratreduserende Hyphomicrobium, men slike bakterier ble ikke påvist.

Slammets utseende er vist ved bildene på figur 9.

Bilde 1:

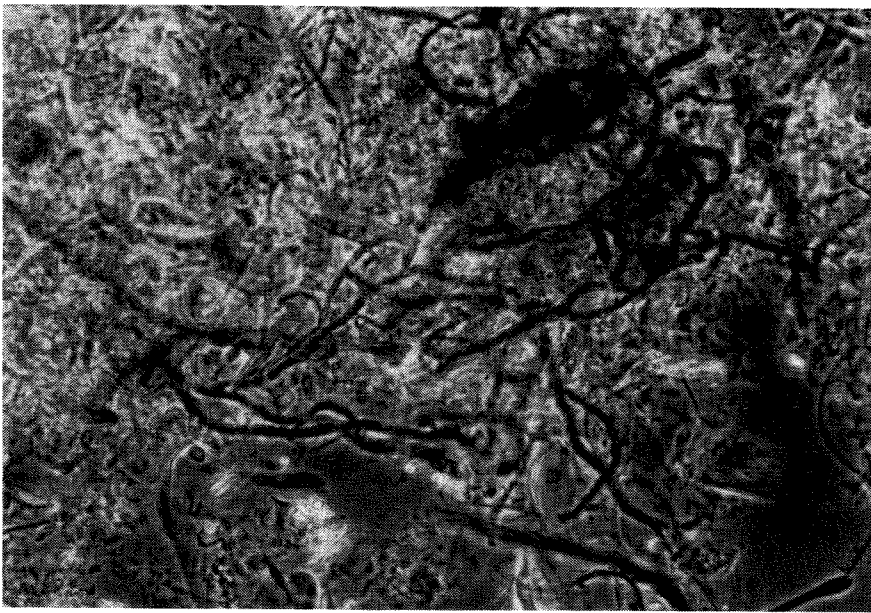
Oversiktsbilde som viser Leptothrix-tråder med tykt belegg, og tynne tråder uten slikt belegg.

Bilde 2:

Bildet viser Leptothrix tråd med tykk kapsel (belegg) og fnokker som inneholder stavbakterier.

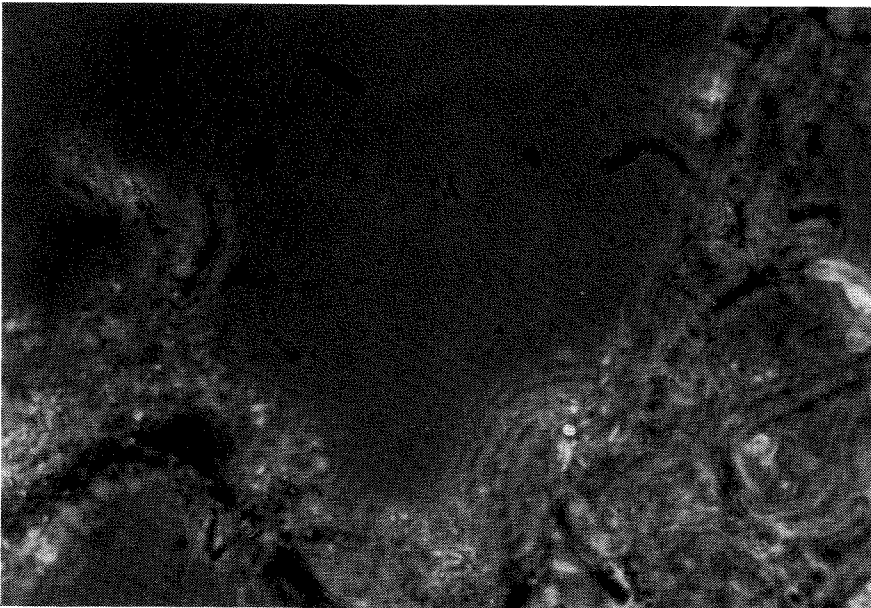
Bilde 3:

Bildet viser trådformede organismer. Disse kan være nydannet vekst av Leptothrix som ennå ikke har fått utfelling av jern og mangan, eller andre trådformede organismer.

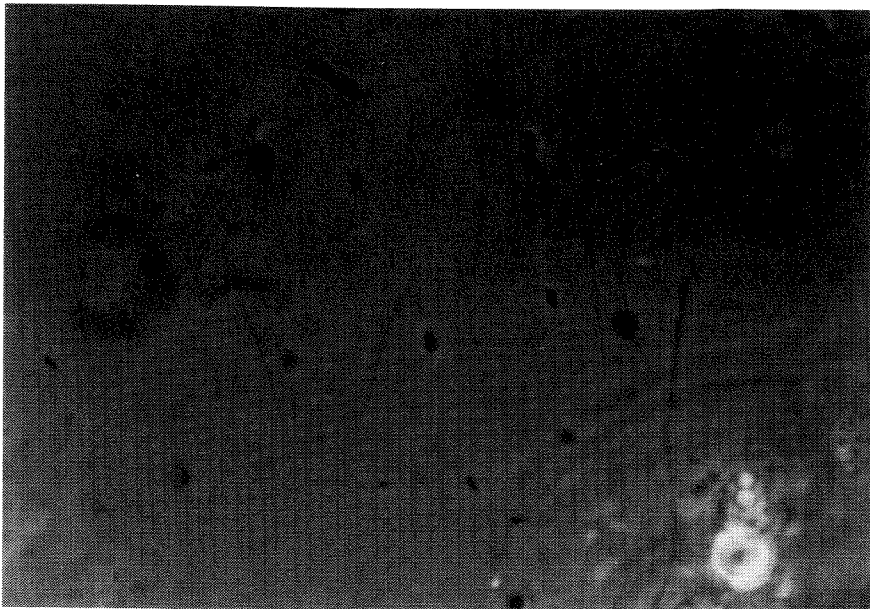


Figur 10
Ozonert vann

Bilde 1
182 x forstørret



Bilde 2
460 x forstørret



Bilde 3
1155 x forstørret

3.3.3 Ozonert vann

Slammet hadde et gråbrunt utseende.

Slammet var dominert av Leptothrix tråder. Trådene viste betydelig mindre brun avleiring enn slammet fra råvann. De fleste trådene hadde brun avleiring, men også tråder uten slik avleiring ble observert. Foruten trådformede organismer inneholdt slammet fnokker med stavformede bakterier. Lange tynne tråder med bakterie i enden stakk ut fra fnokkene. Disse likner på de jern- og manganoksiderende (Hyphomicrobium) bakterier som før er påvist i slam fra ledningsnettene fra Aurevatn behandlingsanlegg (2, 5).

Slammet ble strøket ut på PC-medium for påvisning av manganoksiderende organismer, men slike organismer lot seg ikke påvise. Amøber forekom på platene. Slam ble også podet i anrikning for nitratreducerende Hyphomicrobium, og slike bakterier ble påvist i slammet.

Slammets utseende er vist ved bildene på figur 10.

Bilde 1:

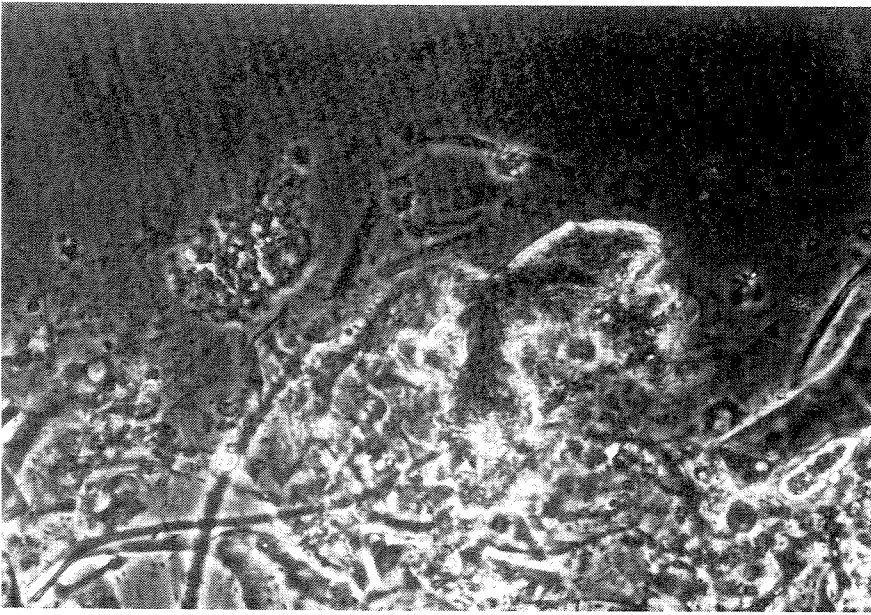
Oversiktsbilde som viser trådformet organismer.

Bilde 2:

Illustrasjon av trådformede organismer og fnokker med tråder stikkende ut fra kanten.

Bilde 3:

Detaljbilde som viser tråder med bakterie i enden, antakelig Hyphomicrobium.

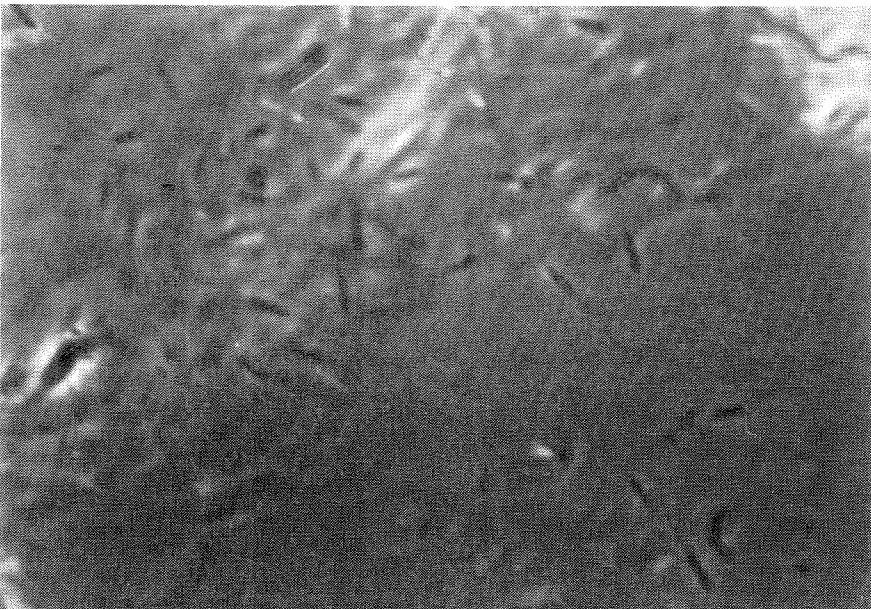


Figur 11
Ozonert vann med
klorrest

Bilde 1
290 x forstørret



Bilde 2
290 x forstørret



Bilde 3
1155 x forstørret

3.3.4 Ozonert vann med kloramin

Slammet var gråbrunt av utseende. Det inneholdt ikke de lange Leptothrix tråder som var tilstede i ozonert vann uten kloramin, men hadde høyt innhold av trådformet vekst uten brun avleiring. Korte fragmenter av brune tråder var tilstede. Slammet hadde også høyt innhold av stavbakterier både i og utenom fnokkene.

Slammet ble strøket ut på PC-medium for påvisning av manganoksiderende organismer, men slike organismer lot seg ikke påvise. Amøber forekom på platene. Slam ble også podet i anrikning for nitrat-reducerende Hyphomicrobium, men slike bakterier ble ikke påvist.

Slammets utseende er vist ved bildene på figur 11.

Bilde 1:

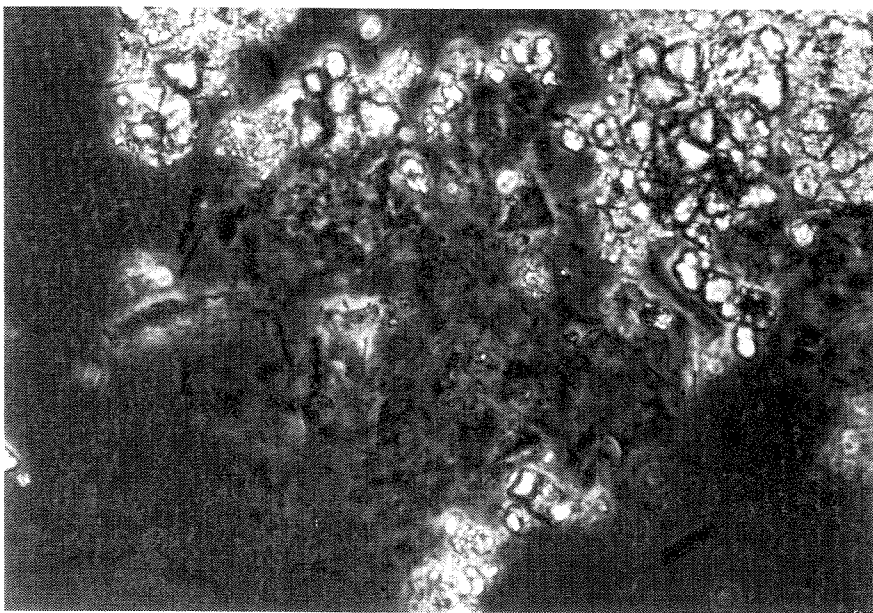
Oversiktsbilde som viser trådvekst, fnokker og stavbakterier.

Bilde 2:

Fnokk med høyt innhold av stavbakterier. Slike bakteriene ser ut til å sitte fast på tynne tråder som stikker ut fra fnokkene, og de har også ofte en tråd stikkende ut fra den andre enden.

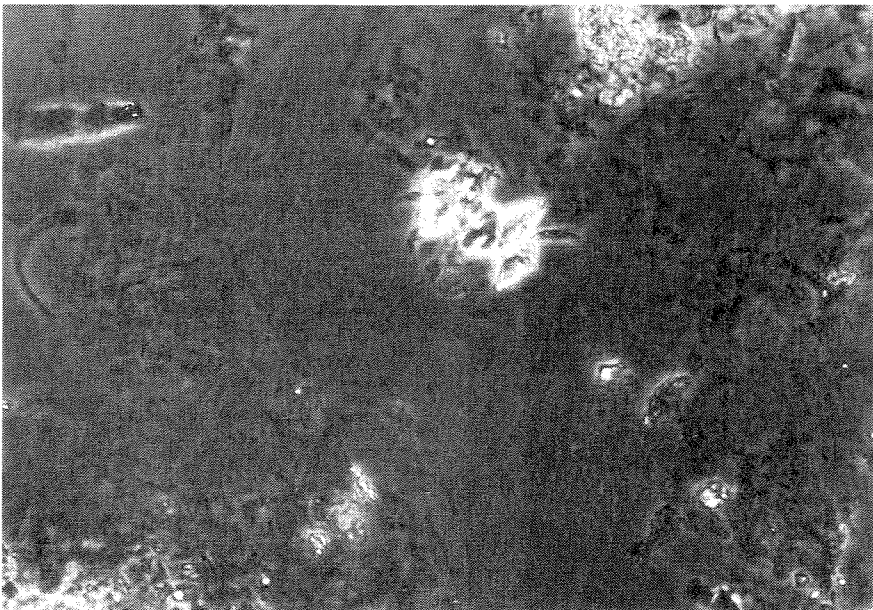
Bilde 3:

Noen av bakteriene på dette bildet har tynne tråder stikkende ut fra begge endene. Bakteriene gir inntrykk av å være forskjellige fra de Hyphomicrobium-liknende som er illustrert i figur 10, bilde 3.

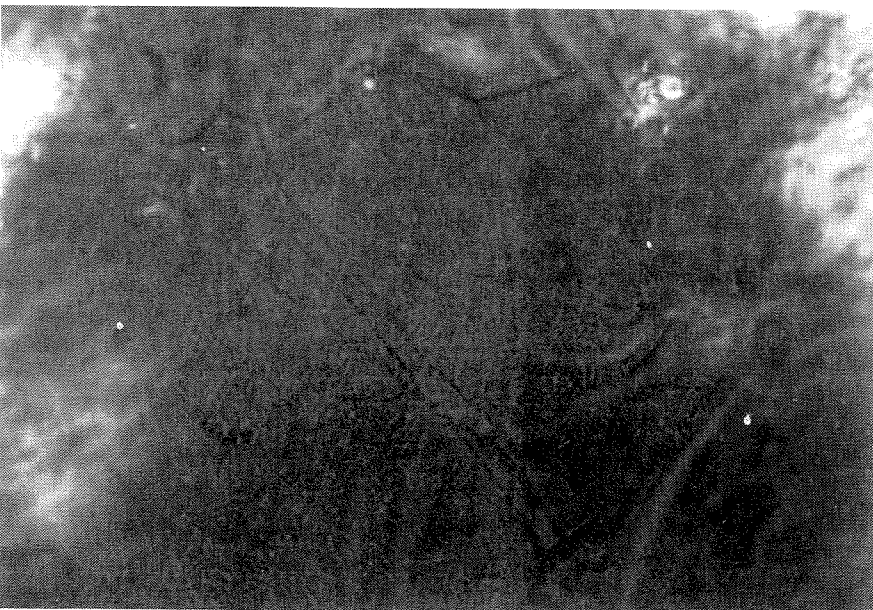


Figur 12
Fullrenset vann

Bilde 1
290 x forstørret



Bilde 2
460 x forstørret



Bilde 3
1155 x forstørret

3.3.5 Fullrenset vann

Slammet var helt lyst av farge, og var dominert av kornet materiale. Det inneholdt ikke tråder av hylsebakterier med brun avleiring. Slammet inneholdt imidlertid noen meget tynne og lange tråder, sannsynligvis bakterier. Tynne fnokker med stavbakterier var tilstede, slik som er typisk for nydannet bakterievekst. Bevegelige bakterier og flagellater ble også observert.

Slammet ble strøket ut på PC-medium for påvisning av manganoksiderende organismer, men slike organismer lot seg ikke påvise. Amøber forekom på platene. Slam ble også podet i anrikning for nitrat-reducerende Hyphomicrobium, men slike bakterier ble ikke påvist.

Slammets utseende er vist ved bildene på figur 11.

Bilde 1:

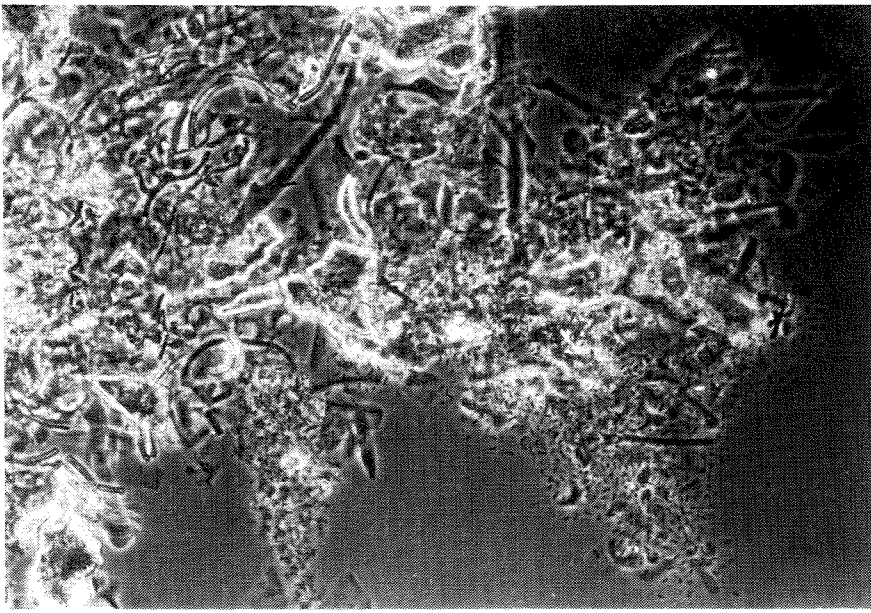
Bildet viser slam med kornet struktur.

Bilde 2:

Dette bildet viser tynne fnokker med stavbakterier og tynne tråder.

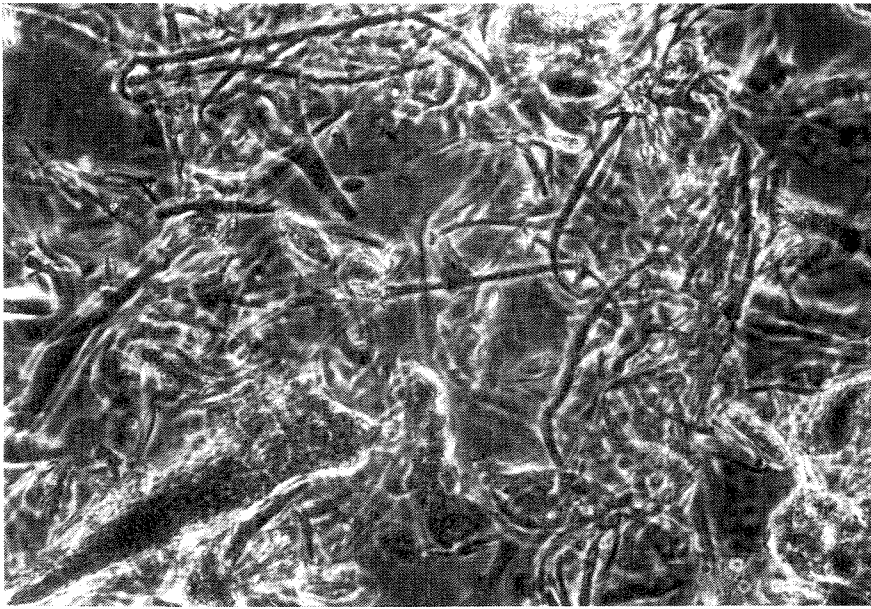
Bilde 3:

På dette bildet vises de tynne trådene tydelig. De er forskjellige fra de trådene som dannes av Hyphomicrobium.

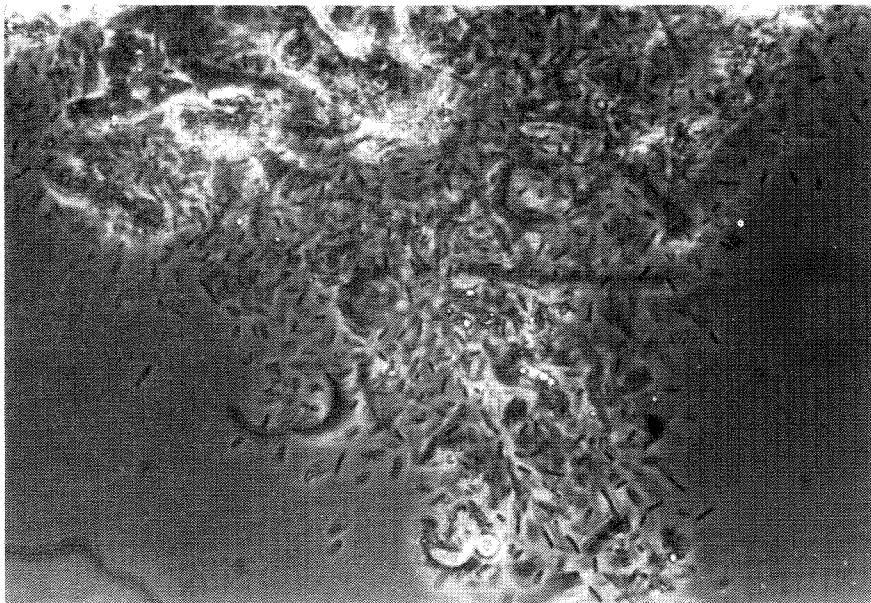


Figur 13
A-nettet

Bilde 1
182 x forstørret



Bilde 2
290 x forstørret



Bilde 3
460 x forstørret

3.3.6 Vann fra Aurevath-nettet, Brynsveien

Slammet var dominert av Leptothrix tråder. Trådene viste brun avleiring som i slammet for ozonert vann. De fleste trådene hadde litt avleiring, men også tråder uten slik avleiring ble observert. Slammet hadde også annen form for brun avleiring enn den som er typisk for jern- og manganoksiderende Leptothrix. Avleiringen besto av kornet materiale, og liknet på avleiringen rundt tråder av en annen hylsebakterie, Clonothrix.

Slammet ble strøket ut på PC-medium for påvisning av manganoksiderende organismer, men slike organismer lot seg ikke påvise. Amøber ble ikke påvist på platene. Slam ble også podet i anrikning for nitrat reduserende Hyphomicrobium, men slike bakterier ble ikke påvist. Slammets hadde også høyt innhold av stavbakterier i fnokker.

Slammets utseende er vist ved bildene på figur 13.

Bilde 1:

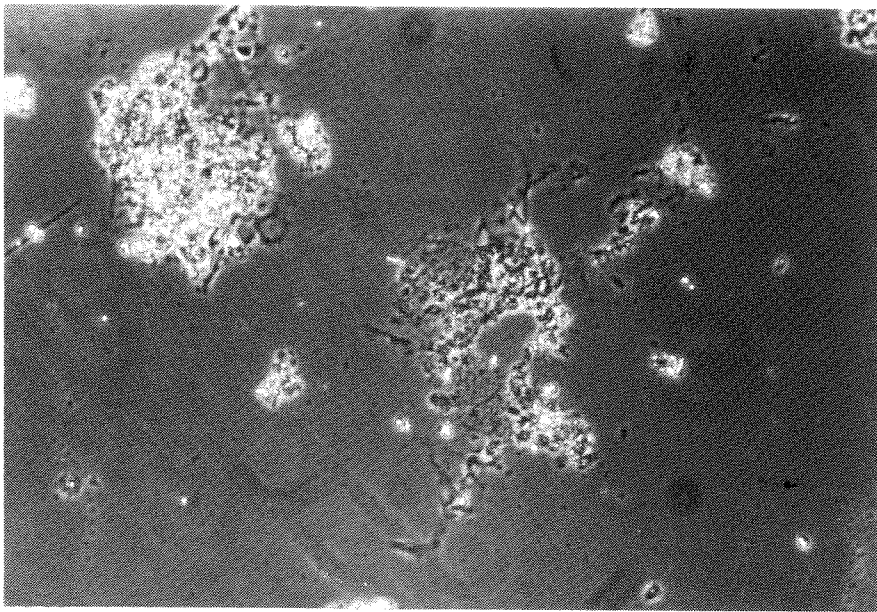
Oversiktsbilde som viser trådformede organismer.

Bilde 2:

Bildet viser fnokk med høyt innhold av trådbakterier. I nedre venstre del av bildet sees et fragment av en Clonothrix-liknende tråd med kornet avleiring.

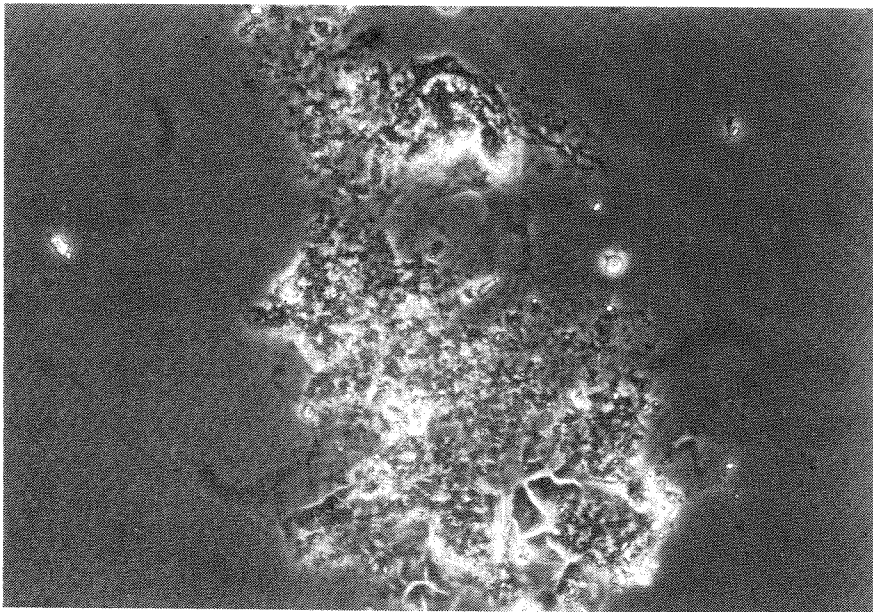
Bilde 3:

Detalj fra bilde 1 hvor en tydelig kan se stavbakteriene. De var ikke festet til fnokken med tråder, og var av en annen type enn dem som ble påvist i ozonert vann.

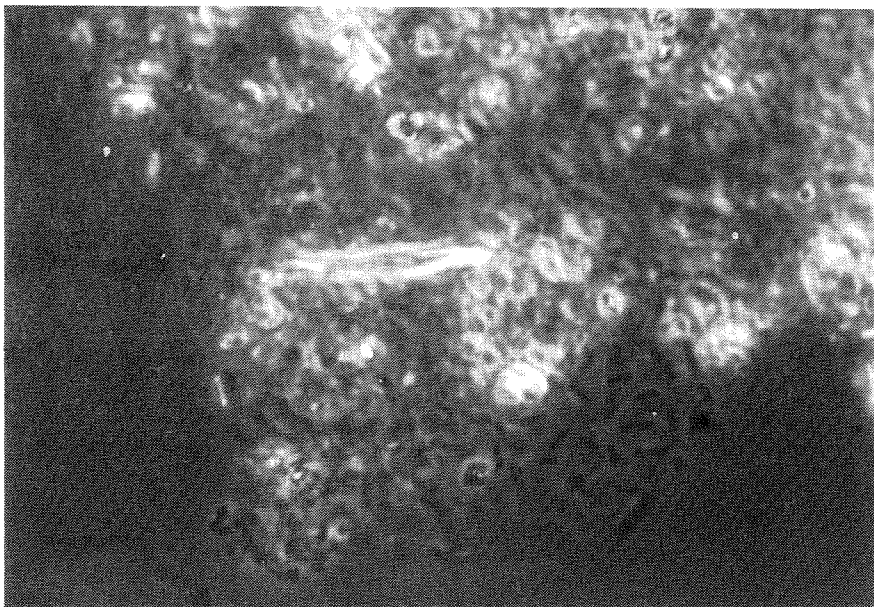


Figur 14
ABV-nettet

Bilde 1
182 x forstørret



Bilde 2
290 x forstørret



Bilde 3
1155 x forstørret

3.3.7 Vann fra Asker og Bærum nettet (Holsfjord-vann)

Slammet var helt lyst av farge, løstet meget lett fra objektglasset og gled ned i vannet i begerglasset ved fjerning av objektglasset fra begreingskamret.

Slammet besto av kornet lyst materiale, med noe innslag av brunt materiale. Noen fnokker inneholdt tråder uten brun avleiring. Andre fnokker inneholdt stavbakterier og tynne trådbakterier. Noen Hyphomicrobium-liknende bakterier ble observert. Likeså ble det observert noen flagellater i dette stammet.

Slammet ble strøket ut på PC-medium for påvisning av manganoksiderende organismer, men slike organismer lot seg ikke påvise. Kontroll av de fremkomne kolonier for innhold av amøber ble ikke påvist. Slam ble også podet i anrikning for nitratreducerende Hyphomicrobium, og slike bakterier ble påvist i slammet.

Slammets utseende er vist ved bildene på figur 14.

Bilde 1:

Dette bildet viser fnokk som inneholder trådbakterier.

Bilde 2:

Dette bildet viser fnokk med kornet struktur, som også inneholder stavbakterier.

Bilde 3:

Bildet viser periferien av en fnokk, der stavbakterier er synlige.

4. LITTERATURLISTE

1. Ghosh, M.M. et.al.
Developing av ATP Index for Degradation of Drinking Water Quality by Attached Microbes. Missouri University, Colombia, Water Resources Research Center. Report, January, 1982.
2. Ormerod, K. et.al.
Slamdannelse i vannforsyningsnettet fra Aurevatn, Bærum
Undersøkelser januar 1966 - februar 1969
3. Tyler, P.A. and Marshall, K.C.
Microbial oxidation of manganese in hydro-electric pipelines
Antonie van Leeuwenhoek 33:171-183, 1967.
4. Starr, M.P. et.al.
The Prokaryotes. A Handbook on Habitats, Isolation, and Identification of Bacteria. Volume I, 1981.
5. Tyler, P.A.
Hyphomicrobia and the oxidation of manganese in aquatic ecosystems.
Antonie van Leeuwenhoek 36:567-578, 1970.
6. Lund, Vidar.
PROBLEMER FORÅRSAKET AV BELEGGDANNELSE OG VEKST AV ORGANISMER I
DISTRIBUSJONSSYSTEMER FOR VANN.
Delrapport 3: Desinfeksjonsprosessers innvirkning på beleggdannelse
i vannledninger.
Drikkevannsrapport under utgivelse (1989) i serien av rapporter fra
NTNFs utvalg for drikkevannsforskning.

VEDLEGG 1

Tabell 1. Analyser på testvann fra siste vannskift.
(Fargetall og pH er gjennomsnitt-verdier fra analyser utført på flere leveranser av testvann).

| Testvann | Fargetall | Surhet | Org. stoff | | Total nitrogen | | Total fosfor | |
|---------------|-----------|--------|------------|-------|----------------|-------|--------------|-------|
| | Mg Pt/L | pH | TOC mg/L | | mikrogram/L | | mikrogr./L | |
| Råvann | 43 | 6,8 | Nytt | Eksp. | Nytt | Eksp. | Nytt | Eksp. |
| Ozonert | 27 | 6,2 | 6,17 | 6,35 | 300 | 270 | 3 | 2 |
| Ozonert+klor. | | 6,2 | 6,39 | 5,70 | 443 | 407 | 2 | 2 |
| Fullrenset | 6,7 | 7,9 | 4,64 | 5,12 | 446 | 452 | | |
| A-nettet | 27 | 7,2 | 3,79 | 3,12 | 245 | 233 | 1 | 1 |
| ABV-nettet | 16,9 | 7,6 | 5,79 | 6,29 | 443 | 431 | 2 | 2 |
| | | | 3,61 | 3,59 | 413 | 395 | 3 | 2 |

Tabell 2. Analyser på høstet begroingslam

| Begroing fra; | Organisk stoff | | | | Jern mikrogr./L | Mangan mikrogr./L |
|--------------------|----------------|------|-------------|-----|--------------------|----------------------|
| | TOC mg/L | | KOF-Cr mg/L | | | |
| | kam. | pl. | kam. | pl. | kammer | kammer |
| Råvann | 12,1 | 6,85 | 65 | 28 | 330 | 330 |
| Ozonert | 8,0 | 12,0 | 43 | 30 | 230 | 24 |
| Ozonert + kloramin | 9,1 | 7,0 | 21 | 35 | 230 | 90 |
| Fullrenset | 5,05 | 7,0 | 14 | 6 | 41 | 8 |
| A-nettet | 9,8 | 19,8 | 50 | 75 | 280 | 19 |
| ABV-nettet | - | 2.8? | 14 | 4 | 49 | 7,2 |