

problemer med
slam og dyr
i distribusjonsnett
for vann

siv.ing. Kari Ormerod

februar 1974

FORORD

Denne rapport handler om problemer med dannelse av slam i vannledninger, hovedsakelig drikkevannsledninger, men også ledninger for inntaksvann til kraftverk og for bruksvann til industrien (kjølevann etc.).

De mulige årsaker til slamdannelse blir belyst, og et undersøkelsesprogram for å finne hovedårsaken til slamdannelse blir foreslått.

Slamdannelse fører til at dyr og større mikroorganismer kan finne eksistensmuligheter i ledningene. Derfor er det også tatt med en beskrivelse av de dyr som er relativt vanlig å finne i vannledninger i Norge og andre land i Europa.

Metodikk for effektiv fjerning av slam og dyr fra ledningene blir angitt, og tiltak for å forhindre slamdannelse og inntrengning av dyr blir diskutert.

En rekke av disse dyrene kan ha tilholdssted også i sandfiltre i renseanlegg for drikkevann, men sandfiltre er ikke tema for diskusjon i denne rapport.

Oslo, februar 1974

Kari Ormerod

Sivilingeniør

Innhold

1. <i>Innledning – Med historisk tilbakeblikk</i>	11
2. <i>Dannelse av slam i drikkevann</i>	15
2.1 Årsak til slamdannelse	15
2.2 Problemer forbundet med slamdannelse . . .	18
2.3 Nærmere beskrivelse av de bakterier som hyppigst medvirker til dannelse av brunt/ brunsvart ledningsslam	19
2.4 Sammenstilling av opplysninger som kan indikere årsaken til slamdannelsen	25
3. <i>Dyr i ledningsnett for drikkevann</i>	28
4. <i>Bekjempelse av slamproblemer</i>	45
4.1 Metoder for innsamling av slam og bedømmelse av slammets sammensetning . .	45
4.2 Fjerning av dyr og slam fra ledningsnettet .	46
5. <i>Litteraturhenvisninger</i>	54
Bilag: Beskrivelse av omtalte metoder og reagenser	57

Tabellfortegnelse

1. Forskjellige behandlingsmetoder for drikkevann	13
2. Bakteriologiske kriterier for drikkevann, SIFF, Norge	14
3. Oversikt over taksonomisk plassering av dyr som kan forekomme i vannledninger	43-44
4. Nødvendige vannhastigheter for effektiv spyling	49
5. Problemer med slam og dyr i distribusjonsnett for vann. Skjematisk beskrivelse av årsaker, og metoder til bekjempelse av problemene	50-53

Figurfortegnelse

1. Den jern-oksyderende bakterie <i>Gallionella</i>	17
2. <i>Clonothrix</i> -tråder etter avfarging med oxalsyre-reagens	17
3. Jern- og mangan-bakteriene <i>Crenothrix</i> og <i>Clonothrix</i>	20
Fargebilag:	
I Den jern-oksyderende bakterie <i>Leptothrix ochracea</i>	21
II Bakterie fra genus <i>Leptothrix</i> , som oksyderer to-verdige jern- og mangan-salter	21
III Typisk utseende av slam med innhold av jern- og mangan-oksyderende <i>Leptothrix</i>	22
IV Typisk utseende av slam med innhold av <i>Clonothrix</i>	22
V <i>Hyphomicrobium</i>	23
VI Slam med innhold av jernbakterien <i>Siderocapsa</i>	23
VII Ferskvannssvamp	24
VIII Gemmulae (overvintringsform) fra svampen <i>Spongilla lacustris</i>	24
4. Sammenheng mellom dominerende bakterietype i slamm, og vannets innhold av jern, mangan og organisk stoff	26
5. Størrelse og utseende av bakterier fra ledningsslam	27
6. Relative størrelsesforhold mellom poreåpning mellom idealiserte sandkorn (i sandfiltre) og noen akvatiske mikroorganismer	29
7. Relative størrelsesforhold mellom maskevidde for forskjellige mikro-silduker og noen akvatiske mikroorganismer	29
8. Mikroorganismer fra ledningsslam. Bakterier, phytoplankton, zooplankton, diverse egg og larver	30
9. Dyr fra ledningsslam. Hjuldyr, bjørnedyr, nematode, diverse larver	31
10. Nematode i ledningsslam	32
11. Hjuldyr i ledningsslam	32
12. Dyr fra ledningsslam. Nematode, hoppekreps og vannloppe	34
13. Hoppekreps, tangloppe, gråsusge, fjørmygg-larve og fåbørstemakk	35
14. Brønntrådmakk, taglorm, igler, snegl, musling	39
15. Dyr fra ledningsslam	40
16. Dyr fra ledningsslam	41
17. Fnokk av slam som er dannet ved sedimentering, før og etter avfarging med oxalsyre-reagens	47
18. Fnokk av slam som er dannet ved bakterievekst, før og etter avfarging med oxalsyre-reagens	48

Forklaring av noen spesielle ord brukt i rapporten

<i>Detritus</i>	Her: Dødt, organisk materiale — rester av dyr og planter, humusstoffer.
<i>Taksonomi</i>	Den vitenskap som har å gjøre med klassifisering av levende ting.
<i>Phylum</i>	Se klassifisering i tabell 3.
<i>Genus</i>	— » —
<i>Agar</i>	<p>Et stoff som utvinnes fra alger, og som har den egenskap at det kan få væsker til å "stivne", danne gelé.</p> <p>I bakteriologien blandes agar sammen med næringsbuljong slik at denne stivner, således at bakterier kan vokse inne i den uten å kunne spre seg utover, eller de kan vokse bare på overflaten hvis dette er ønskelig. Innen bakteriologien brukes ordet "agar" også som betegnelse på slik stivnet næringsbuljong.</p>
<i>Flagelle</i>	Et organ som noen bakterier og protozoer har, og som de benytter for å bevege seg i vandig miljø.
<i>Dihydrogen-sulfid</i>	Ble før kalt svovelvannstoff.

1. Innledning – med historisk tilbakeblikk

Folk er naturlig nok alltid blitt alarmert hvis de har funnet uvanlige ting i drikkevannet sitt. De første kjente observasjoner av levende vesener i drikkevann skriver seg fra det fjerde århundre før Kristi fødsel, og det var Aristoteles som beskrev slam på vannoverflaten i urene brønner på denne måten: ”Først er det hvitaktig, så blir det svart, siden blodrødt. Noen røde fargeflekker er bevegelige, og i vannskorpen henger det små byggverk som det senere pleier å komme insekter med vinger ut av”.

På 12-hundretallet omtales for første gang de såkalte brønntrådmarker av Albertus Magnus. Tre århundrer senere berettet sveitseren Konrad von Gesner om en annen hårtynn, svart og ubevegelig mark som ofte fantes i brønner. Ifølge folketroen på 15-hundretallet utviklet disse seg fra hestehår som falt i vannet når hestene drakk vann i brønnen. De ble derfor kalt hestehårsmark, og har senere fått det latinske navn *Gordius aquaticus*.

I middelalderen trodde man også at den ikke sjeldent forekommende rustrøde misfarging av vann som fikk stå i åpne beholdere, var et tegn på at vannet var forgiftet. I våre dager er dette fenomen lett å forklare, men vi har fremdeles de samme problemer med rustdannelse fra enkelte drikkevannskilder. På estetisk grunnlag ble slikt slamholdig vann fra gammel tid av bedømt som uegnet til drikkevann for mennesker.

Det var først i det 19. århundre at vannets innhold av forskjellige mikroorganismer ble satt i sammenheng med dets brukbarhet som drikkevann. De første personer nevnt i denne forbindelse er franskmennene Donné og Dupasquier i 1840. De frarådet bruk av vann fra elvene Saône og Rhône til drikkevannsforsyning til Lyon, på grunn av at vannet i disse elvene inneholdt rikelige mengder ”animalcules infusoires” – infusjonsdyr – som mikroorganismer som protozoer, nematoder, bakterier etc. ble kalt.

Dette ble imidlertid ikke generelt godtatt som grunnlag for å fraråde bruk av slikt vann til drikkevann, og så sent som i 1877 ble det skrevet (von Naegeli) at tilstedeværelse av mikroorganismer i drikkevann kun hadde estetisk betydning.

Den moderne drikkevannsbiologi – slik vi kjenner den i dag – begynte sin utvikling i 1850-årene, og de første grunnleggende publikasjoner om

dette utkom omtrent samtidig i to forskjellige land, enda forfatterne ikke visste om hverandres arbeid. Den mellomeuropeiske litteratur stammet vesentlig fra professor Ferdinand Cohn ved universitetet i Breslau, og hans verk om vannforsyning ble publisert i 1853. Den engelskspråklige litteratur stammet vesentlig fra den engelske apoteker og algolog Hassal, og hans verk ble publisert i 1850. For begges vedkommende var det koleraepidemier som var årsaken til deres drikkevannsbiologiske undersøkelser. Begge forskerne strebet etter metoder til å bestemme forurensingsgraden av vann ved hjelp av vannets innhold av forskjellige partikler, inkludert mikroorganismer. De prøvde bl.a. å finne frem til indikatororganismer for rent og urent vann, og det var Cohn som først bedømte mikroorganismer som *Sphaerotilus* og *Beggiatoa* som typiske indikatororganismer for urent, eller som vi nå sier, forurenset vann.

Ut fra dette utviklet det seg forskjellige retninger av vannforskning: Den kjemiske — som også før dette hadde vært under utvikling — den biologiske, og den rent hygieniske, som ble særlig viktig etter at Robert Koch i 1880-årene påviste at kolera-epidemier kunne spres gjennom drikkevann infisert med bakterien *Vibrio comma*. Selvom Antonie van Leuwenhoek med sine selvlagete linser hadde observert organismer som protozoer og bakterier i drikkevann allerede i siste halvdel av det 17. århundre, skulle det altså gå to hundre år før man fikk kjennskap til at bakterier kunne være årsaken til smittsomme sykdommer.

Den biologiske drikkevannsundersøkelse begrenset seg opprinnelig til å undersøke svevestoffer — eller slam — i vannet. Til å begynne med ble slammet samlet etter sedimentering i prøven, men senere ble det frafiltrert ved hjelp av papirfiltre, glassull og liknende. Senere ble gasnett og flanell tatt i bruk, og rundt århundreskiftet ble planktonnett anbefalt til dette bruk i Tyskland av von Blücher. Planktonnett ble benyttet minst 5 år tidligere her i Norge, da Wille og Huitfeldt-Kaas brukte slike nett i 1895 i sin undersøkelse av vannforsyningen til Oslo fra Maridalsvatnet. Biologiske undersøkelser av frafiltrerbart materiale fra vann har siden blitt utviklet i mange forskjellige retninger, blant annet til opprettelse av det såkalte saporibiske system for bedømmelse av forurensingsgraden av vassdrag.

Kvalitetskrav til vann fra offentlige vannforsyningsnett har forandret seg mye i de år som er gått siden de første ble bygd. Det første forsyningsnett i New York var f.eks. ikke anlagt for drikkevann, men for vann til brannslukning og til å spyle gatene rene, og det hadde derfor ingen betydning om vannet var rent eller ikke. Likeså var det første vannverk i Hamburg i 1845 bygd for å forsyne byen med vann til brannslukning, men allerede i 1849 ble det tatt i bruk for drikkevannsforsyning. Det var ellers vanlig at folk fikk sitt drikkevann fra brønner, og noen av de første organiserte vannforsyninger til større befolkningsgrupper ble dannet ved at

de forskjellige brønner ble forbundet med rør, og enkelte ganger i tillegg tilført overflatevann. I denne første tid for felles vannforsyning var det derfor rikelig anledning til at vannkvaliteten ble dårligere enn den hadde vært før, både med hensyn til synlige partikler og hygieniske forhold.

I våre dager settes det strenge krav til vann som skal distribueres til offentlig vannforsyning via et fordelingsnett. Disse regler er blitt utarbeidet på grunnlag av de erfaringer man hittil har høstet på dette området. Det er derfor ikke sikkert at et vannforsyningsnett vil bli fritt for problemer selv om disse reglene følges, men sannsynligheten for at problemer vil oppstå, vil da være betraktelig redusert.

Vann som skal benyttes til drikkevannsforsyning, må først undersøkes med hensyn til dets innhold av uønskede komponenter. Tabell 1 gir en oversikt over noen slike uønskede komponenter, samt aktuelle rens tiltak. Rens tiltakene må bestemmes for hver vannkilde, da de er avhengig av hvilke komponenter man ønsker fjernet. I Norge er det Helsedirektoratet, under Sosialdepartementet, som er ansvarlig for vannforsyningsanlegg. Det har utarbeidet "Forskrifter om drikkevann m.m. og vannforsyningsanlegg", som ble gitt ved kongelig resolusjon den 28. september 1951 med hjemmel i Sunnhetsloven av 16. mai 1860 og Næringsmiddeloven av 19. mai 1933. Forskriftene omhandler også vann for bruk til annet formål enn

Tabell 1. Forskjellige behandlingsmetoder for drikkevann.

Komponenter som ønskes fjernet eller uskadeliggjort	Rens tiltak
Partikulært stoff	Mikrosiling, hurtige sandfiltre
Partikulært stoff og oppløst organisk stoff	Langsomme sandfiltre
Kolloidalt løste stoffer	Kjemisk felling og filtrering (fullrensing)
Farge	Bleking med f.eks. klor, ozon, kjemisk felling
Jern, mangan	Oksydasjon og filtrering
H ₂ S, svovelhydrogen	Lufting
Korrosivitet (surt vann)	Alkalisering (kalk)
Patogene bakterier og andre mikroorganismer	Desinfisering (klor, klordioksyd, klora-miner, ozon, pyrethrin ^{x)})
Uønsket lukt og/eller smak	Ozon, klordioksyd, aktiv-karbon filter

x) Benyttes i Storbritannia for bekjempelse av krepsdyr, men alltid under overoppsyn av den lokale "Medical Officer of Health".

drikkevann, f.eks. til spyling av fisk, vann til saltlake og generelt til næringsmiddelproduksjon, og til rengjøring av redskaper og lokaler.

I praksis er det Statens institutt for folkehelse som har overoppsyn med vannforsyning fra større anlegg. Instituttet har på grunnlag av egen erfaring utarbeidet retningslinjer for de hygieniske krav til drikkevann. Disse er gjengitt i tabell 2.

Tabell 2. Bakteriologiske kriterier for drikkevann.

Statens institutt for folkehelse, Norge (SIFF).

Vannkilde	Kimtall 37 °C Antall/ml	Presumptiv coli, 37 °C Antall/100 ml	Fullstendig prøve, coli 37 °C Antall/100 ml	Fæcale coli, 44 °C Antall/100 ml
Liten brønn, urensset, privat	< 50		Helst < 2 Til nød < 23	Tåles inntil 2 fra enkelt- prøver i en serie
Vannverk, urensset, mindre enn 5000 innbygg.	< 50		Helst < 2 Til nød < 23	Tåles ikke
Vannverk, urensset, mer enn 5000 innbygg.	< 50		< 2 Unntaksv. < 10	Tåles ikke
Renset vann	< 50		< 2 Til nød 2	Tåles ikke
Militærforlegninger	< 50	< 2	< 2 Til nød 2	Tåles ikke

(Offentliggjøres med tillatelse fra SIFF, 1973)

Det kan her også være aktuelt å gjengi svenske retningslinjer for innhold av andre komponenter enn bakterier i vann som skal benyttes som "råvann" til drikkevannsforsyning. Disse retningslinjer gjelder for vann som kan benyttes uten annen form for behandling enn grovsiling og desinfeksjon, og de er utgitt av Statens Naturvårdsverk i 1969:

Permanganattall ^{x)} , mg KMnO ₄ /1:	mindre eller lik	20
(mg 0/1	» » »	2)
mg Fe/1:	» » »	0,20
mg Mn/1:	» » »	0,50

x) Permanganattall er et relativt mål for konsentrasjon av organisk stoff i vann: Den mengde permanganat (eller oksygen fra permanganat) som forbrukes under oksydasjon av det organiske stoff i vannet.

Disse krav har sammenheng med det som skal omtales i de følgende kapitler.

2. Dannelse av slam i drikkevann

2.1 *Arsaker til slamdannelse*

I innledningen ble det nevnt at folk før i tiden trodde vannet var forgiftet dersom de fant at det hadde en rustrød hinne på overflaten. Dette hender ofte med brønnvann. Vannet kan se klart og fint ut med det samme det kommer opp av brønnen, men det får en tydelig hinne på overflaten når det har stått en stund i et åpent kar. Senere kan det danne seg et rustbrunt slam på bunnen eller i selve vannet. Dette skyldes at grunnvannet som er kilde for brønnen, inneholder oppløste jernforbindelser. Når vannet kommer i kontakt med oksygen fra luften, oksyderes jernet til uløselige jernforbindelser, som så felles ut som rust.

Når slikt vann tas i bruk i vannforsyning til større befolkningsgrupper og dermed blir distribuert via et ledningsnett, kan tilsvarende slamdannelse føre til store problemer. Rustslam som felles ut mens vannet går i rørene, kan sedimentere på enkelte steder i ledningsnettet der strømmingen ikke alltid er kraftig nok til å holde det suspendert. Hvis strømningsforholdene i slike partier plutselig forandres, f.eks. ved litt større vannforbruk enn vanlig, kan slamteppet virvles opp og føres videre med vannmassene, og konsumentene får brunt vann. Slike slamdannelser kan også opptre når vannkilden inneholder humus; en nokså vanlig komponent i vårt drikkevann. I slikt vann er jern til stede i partikulær form, men en stor del vil også foreligge i de kolloidalt løste humusstoffer. Både partikulært og humusbundet jern kan sedimentere i ledningene og føre til periodevis brunt vann hos forbrukerne.

Beskrivelse av slike problemer finner man ganske hyppig i europeisk litteratur fra tiden som fulgte etter at det ble vanlig å distribuere drikkevann til større befolkningsgrupper via ledningsnett. Noen eksempler på dette kan nevnes her. Det ene eksemplet er fra drikkevannsforsyningen til Praha i Tsjekkoslovakia. Dette vannet inneholdt en del humusstoffer fordi infiltrasjon av vann fra elven Moldau ble brukt som tillegg til vannforsyningen fra grunnvannsbrønner. Det var ikke store mengder slam i dette ledningsnettet, men det stadige innhold av små mengder brune partikler førte til at en kjent papirfabrikk ikke lenger kunne produsere helt hvite papirsorter, fordi partiklene gav papiret en tydelig gulbrun tone.

Dette var i 1910. Det andre eksemplet er fra Berlin, der det i 1876 ble tatt i bruk et vannverk som skulle forsyne byen med vann fra grunnvannsbrønner. Etter bare et halvt års drift begynte vannet i ledningene å anta en rustbrun farge. Dette ble bare verre og verre, og man kunne snart observere slampartikler. Problemet gjorde seg ikke så sterkt gjeldende i selve vannverket, men ble betydelig i enkelte av lagringsbassengene. I et slikt basseng på 35 000 m³ var slamutviklingen så omfattende at hele bassenget ble dekket av slammasser. Det måtte ukentlig fjernes 140 m³ våtslam fra disse bassengene, og til slutt, etter bare syv års bruk, ble grunnvannsbrønnene oppgitt som råvannskilde.

Slike problemer oppstod flere steder i Europa, og vitenskapsmenn i de forskjellige land ble rådspurt om hva som kunne gjøres for å mestre dem. De oppdaget snart at jern var en hovedkomponent i slammet. De trodde først at jernet stammet fra ledningene, men også ledninger av annet materiale enn jern kunne ha slamførende vann. Det var spesielt ett tilfelle med jernslam i ledningsvannet i Dresden (1906) som bidro til å kaste lys over opprinnelsen til jernet i slammet. Ledningsnettets hadde vært i bruk i 30 år, og det ble funnet et 3 cm tykt rustbelegg på rørenes innside. Rørene var laget av jern, men de var belagt med asfalt på innsiden, og dette lag av asfalt ble funnet å være intakt. Rustbelegget satt utenpå asfaltbelegget, og jernet kunne derfor ikke ha kommet fra rørene. Etter hvert ble man klar over at det var vannets jerninnhold som var kilden til problemene.

Vitenskapsmennene som prøvde å finne fram til årsaken til slamdannelsen, undersøkte imidlertid også slammet under mikroskop, og da fant de at det inneholdt andre ting enn bare rustpartikler. De ble etter hvert klar over at det de så, var mikroorganismer — bakterier — og at disse vokste fastsittende på rørenes indre flater. Bakteriene var i stand til å ta opp toverdige jernsalter fra vannet, oksydere dem og så felle ut jernoksydene, slik at bakteriene selv etter hvert ble innhyllet i rustbrunt slam. Selv om det var små mengder oppløst jern i vannet, var det nok til at bakteriene dannet store mengder slam. De fleste av disse bakteriene var også i stand til å ta opp mangan fra vannet og oksydere det til brunsten, som ble utfelt på samme måte som jernoksydene. Slikt manganholdig slam var ofte helt brunsvart.

Etter hvert som disse problemene ble nøyere utforsket, ble man klar over at naturen av det dannede slam hadde nøye sammenheng med vannets innhold av organisk stoff i tillegg til jern og mangan: Slamdannelsen i Dresden viste seg å være forårsaket av bakterien *Gallionella*, fig. 1. Vannets jerninnhold var på 0,30-0,40 mg/l, men innholdet av organisk stoff var lavt. I en annen by med slamførende drikkevann dominert av *Gallionella* var også innholdet av organisk stoff lavt, det viste et permanganattall på 5-7 (mg KMnO₄/l). Vannet i det nevnte vannverk i

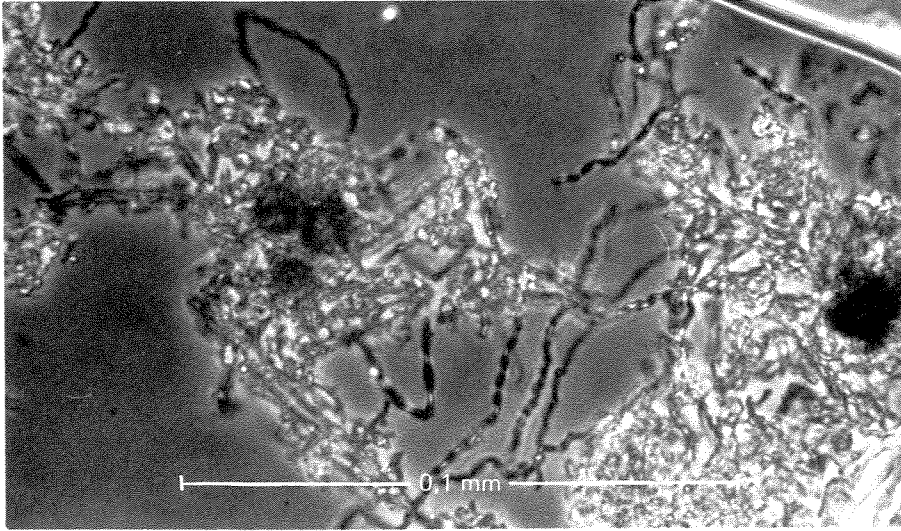


Fig. 1. Den jern-oksyderende bakterie *Gallionella*. Slam med innhold av relativt nydannede, tvunnete tråder.

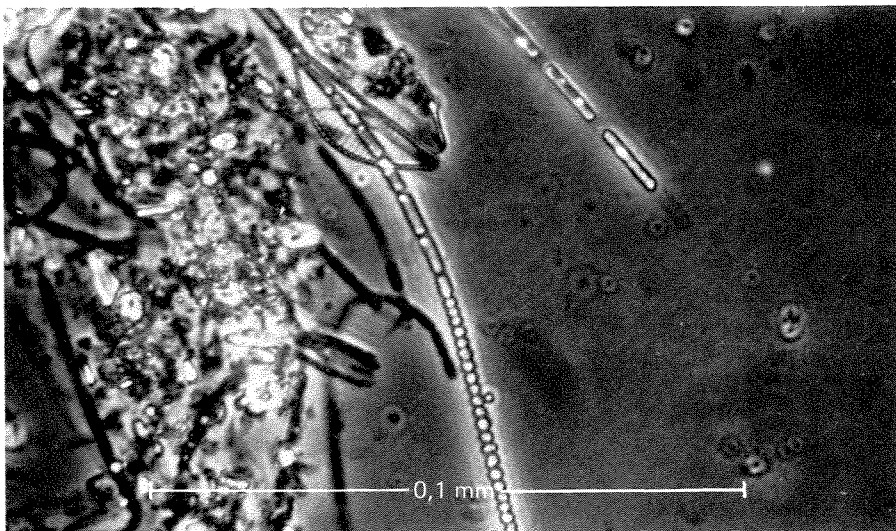


Fig. 2. *Clonothrix*-tråder etter avfarging med oxal-syre-reagens. Store, refraktile staver i skyggeaktig hylse i bildets øvre del. En lang kjede av staver som går over i kuleformede sporer midt på bildet.

Berlin viste et permanganattall på 17, altså ikke nevneverdige mengder organisk stoff, men slamplagen viste seg å være forårsaket av en annen type bakterie, nemlig trådbakterien *Leptothrix ochracea*, fig. 1 (se s. 17). I Praha der grunnvannet var tilført humusholdig overflatevann, dominerte en annen type *Leptothrix*, fig. II og fig. III (se s. 21 og 22), samt trådbakterien *Crenothrix*, fig. 2 og fig. IV (se s. 17 og 22). De nevnte bakterier ble gitt navnet "jernbakterier".

Hvilken type jernbakterie som skulle komme til å dominere, så altså ut til å ha forbindelse med vannets innhold av organisk stoff, mens årsaken til at det ble dannet rustslam hadde tydelig forbindelse med vannets innhold av jern. Vann fra grunnvannsbrønner inneholder ofte oppløste toverdige jernsalter, og dette var som regel hovedårsaken til problemene med slam fra disse vannkildene. Det er for å forhindre slike problemer at det settes grenser for vannets innhold av jern, mangan og organisk stoff.

Også andre typer bakterier enn de foran nevnte er i stand til å danne slam i vannledninger. De nevnte jernbakterier kan kalles spesialister på området fordi de normalt vokser fastsittende på objekter som står i strømmende vann. De klarer seg godt i vann med lav konsentrasjon av organiske næringsstoffer, fordi den mengde næring som passerer dem pr. døgn, godt kan være stor, selv om konsentrasjonen i vannet er liten. I vann med større mengder næring overtar gjerne de vanlige typer bakterier, og i vannledningsrør kan vi finne slike voksende i tette slimlag. De er ofte også assosiert med mangandioksyd slik at slammet er brunsvart. Slike bakterier omgir seg med en slimaktig substans som binder dem til hverandre og til rørveggen. Noen slike bakterier bryter ned organiske forbindelser som inneholder jern (f.eks. humusstoffer), slik at jernet felles ut som rust og oppfanges i slimet. Dette kan lett demonstreres i laboratoriet ved å dyrke slike mikroorganismer på ferric-ammonium-citrat agar. Slik slimvekst vil også kunne fange opp eventuelt partikulært mangandioksyd i vannet, og tilstedeværelse av mangandioksyd i slammet vil katalysere en videre oksydasjon og utfelling av oppløst mangan.

2.2 Problemer forbundet med slamdannelse

Ved større forandringer av strømforholdene i rørene rives bakteriologisk dannet slam lett løs og føres med vannet. Det kan da komme til å synke til bunns i eventuelle bassenger eller ledningspartier med liten strømhastighet. Hvis dette slamteppet går i forråtnelse, kan det føre til at vannet får vond lukt og smak. Der slammet ikke sedimenterer, vil det føre til at forbrukerne får „brunt vann”. Små mengder slam i vannet fører ofte til at husmødrene klager over ødelagt klesvask. Dette skjer særlig i forbindelse

med enkelte typer moderne vaskemaskiner der klærne under skylleprosessen virker som filter for vannet. Klærne får rustfargede eller mørkebrune flekker av henholdsvis jern- og mangandioksyd, og det er meget vanskelig å få fjernet disse flekkene fra tøyet.

Slam blir ofte lett synlig når vannet tappes i badekar eller i vanlige drikkeglass, og i de verste tilfeller kan vannet være synlig brunt når det tappes fra kranen. Ved NIVA har vi fått flere slike henvendelser. Vi har også fått henvendelser fra industribedrifter som er avhengig av partikkel-fritt vann, og som derfor har installert spesielle filtre. De klager over at filtrene tettes igjen unormalt fort. Produsenter av mineralvann klager over at deres produkter inneholder fnokker og partikler som de mistenker for å stamme fra vannet. Om sommeren har vi stadig henvendelser fra folk som kommer med brunt vann fra sine hytter, og spør om det er farlig å drikke det. Vi har også hatt henvendelser fra vannverk som ønsker hjelp til å løse problemer med slamførende vann.

2.3 Nærmere beskrivelse av de bakterier som hyppigst medvirker til dannelse av brunt/brunsvart ledningsslam

I en undersøkelse for et vannverk kom vi over en bakterie som ikke før var beskrevet i forbindelse med slamdannelse i ledningsnett. Bakterien viste seg å kunne oksydere jern og mangan. Den tilhører ordenen *Hyphomicrobiales*, genus *Hyphomicrobium*. Denne bakterie danner et nettverk av protoplasmatråder og fanger derfor med letthet opp svevende partikler fra vannet, fig. V (se s. 23). Slammet viste stor anrikning på mangandioksyd, enda vannet inneholdt under 0,05 mg Mn/l. Årsaken til begroingen tyder i dette tilfellet på at den har sammenheng med den behandling råvannet gjennomgår i vannverkets renseanlegg. Råvannet er humuspreget, men ellers næringsfattig og blir ozonert for å få fargen redusert fra ca. 40 °Hazen til maksimalt 20 °Hazen (°Hazen = mg Pt/l). Vannet tilsettes dessuten kalk for å hindre korrosjon på jern- og kobberledninger. En undersøkelse viste at ozoneringen nedbrøt de relativt stabile humusstoffer til lettere nedbrytbare stoffer, noe som gav utslag i vesentlig høyere biokjemisk oksygenforbruk (BOF) for vannet etter ozoneringen. *Hyphomicrobium* kan bare benytte organisk stoff med 1-2 karbonatomer, f.eks. metanol og metylamin, så slike stoffer må derfor være blitt dannet ved ozoneringen av vannet. Det var altså vannets innhold av lett nedbrytbart organisk stoff som var hovedårsaken til begroingen, men minst én av de dominerende organismer viste seg også å kunne oksydere jern og mangan.

De fleste av de før nevnte jern- og manganbakterier tilhører ordenen *Clamydobacteriales*. De består av lange kjeder av stavformede celler som er

omgitt av en tettsluttende hylse. Hylsen er omgitt av en kapsel av varierende tykkelse, og det er i denne kapselen at jern- og manganoksydene felles ut og innleires. Noen av bakteriene formerer seg ved dannelse av sporer. Disse hører til familien *Crenothrichaceae*. Genus *Crenothrix* danner sporer i flere lag, *Clonothrix* har sporene i ett lag som perler på en snor. Begge er manganoksyderende. (Fig. 2, 3 og IV). Hylsebakterier som ikke danner sporer, kan frigjøre bevegelige celler ved enden av hylsen. Disse henføres til familien *Chlamydobacteriaceae*, genus *Leptothrix* med arten *Leptothrix ochracea* som oksyderer bare jern, fig. I, samt *Leptothrix major* og *Leptothrix discophora* som oksyderer jern og mangan, og som er de hyppigst forekommende jernbakterier i norske ledningsnett med humuspreget overflatevann, fig. II. En annen genus i samme familie er den typiske forurensingsbakterie *Sphaerotilus*. Trådformede bakterier finnes også ofte assosiert med vann som inneholder dihydrogensulfid. Disse bakterier hører til under ordenen *Beggiatoales*, genera *Beggiatoa* og *Thiothrix*.

Av andre, ikke hylse- og kapseldannende jernbakterier, finnes som før nevnt genus *Gallionella* fra ordenen *Pseudomonadales*, familie *Caulobacte-*

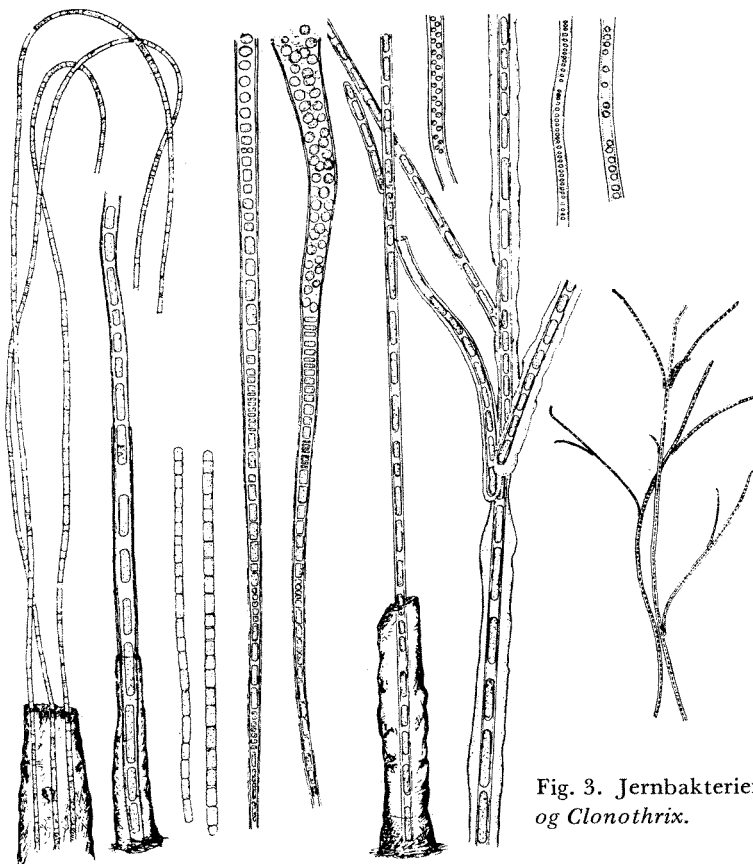


Fig. 3. Jernbakteriene *Crenothrix* og *Clonothrix*.

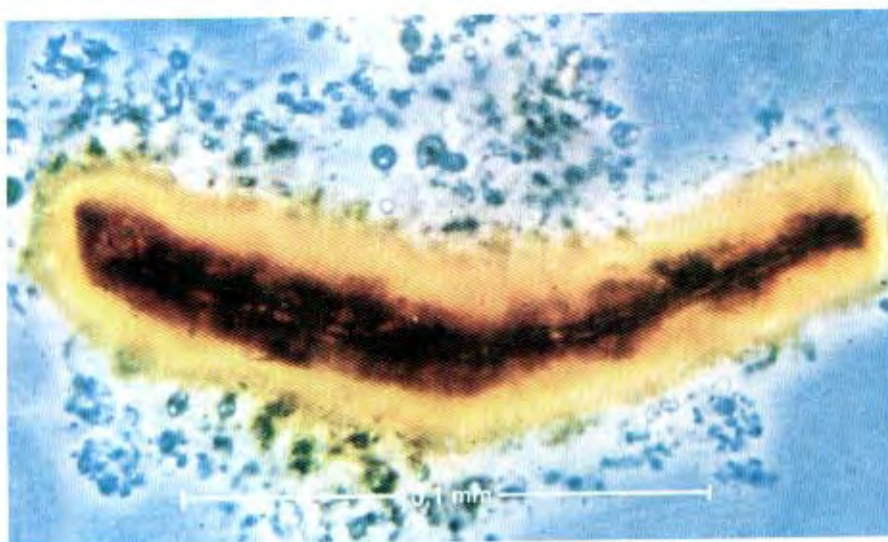
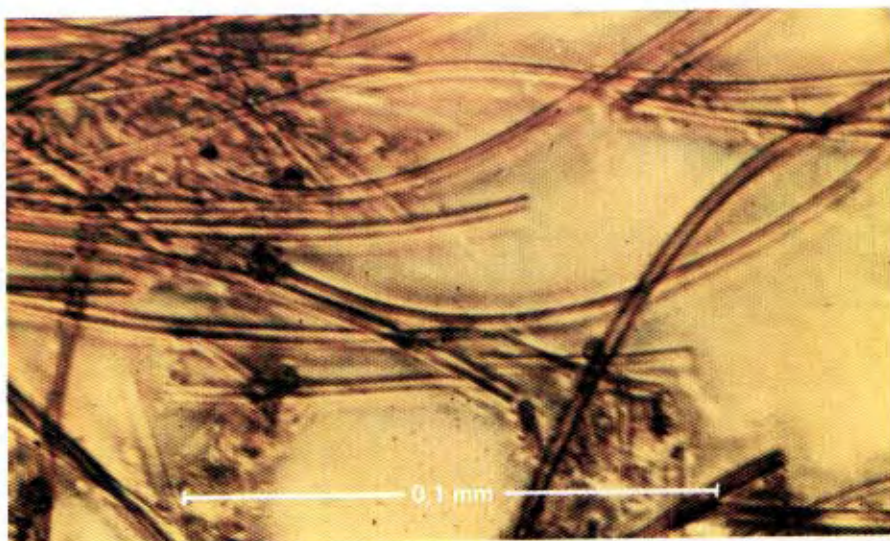


Fig. I. Den jern-oksyderende bakterie *Leptothrix ochracea*. Bakterien består av stavformede celler som ligger tett etter hverandre inne i en hylse. Utenpå hylsen er det en tynn kapsel. I denne kapselen utfelles de brune jern-oksydene.

Fig. II. Bakterie fra genus *Leptothrix*. Stavformede celler ligger på rad inne i en hylse. Utenpå hylsen er det en tykk kapsel. Bakteriene oksyderer to-verdige jern- og mangan-salter, og feller ut de uløselige oksydene i kapselen. Mangan-oksydene gjør at fargen blir mørkere enn for *L.ochracea*.

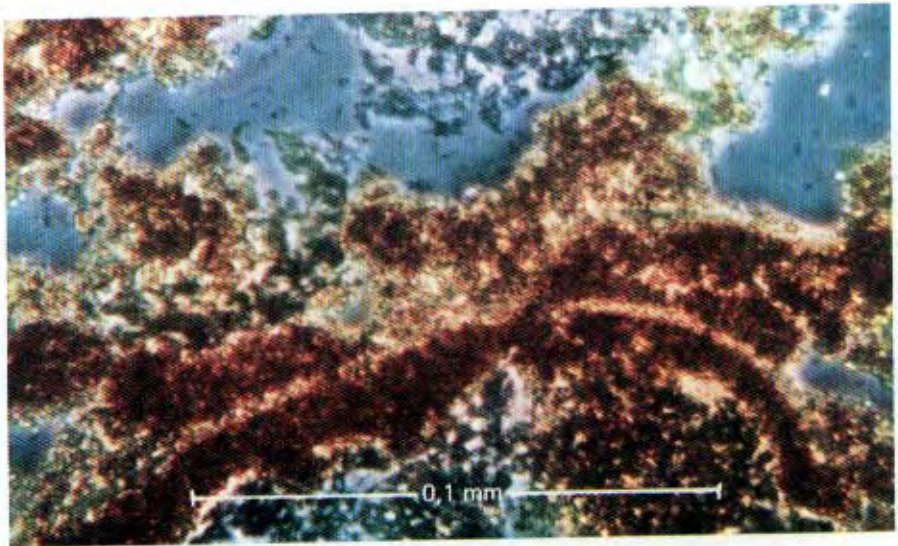
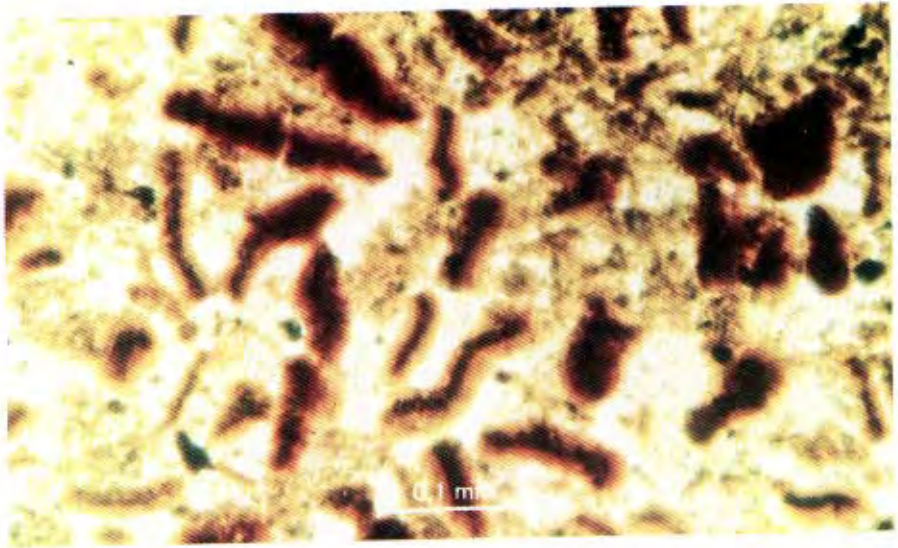


Fig. III. Typisk utseende av slam med innhold av jern- og manganoksyderende *Leptothrix*.

Fig. IV. Typisk utseende av slam med innhold av *Clonothrix*.

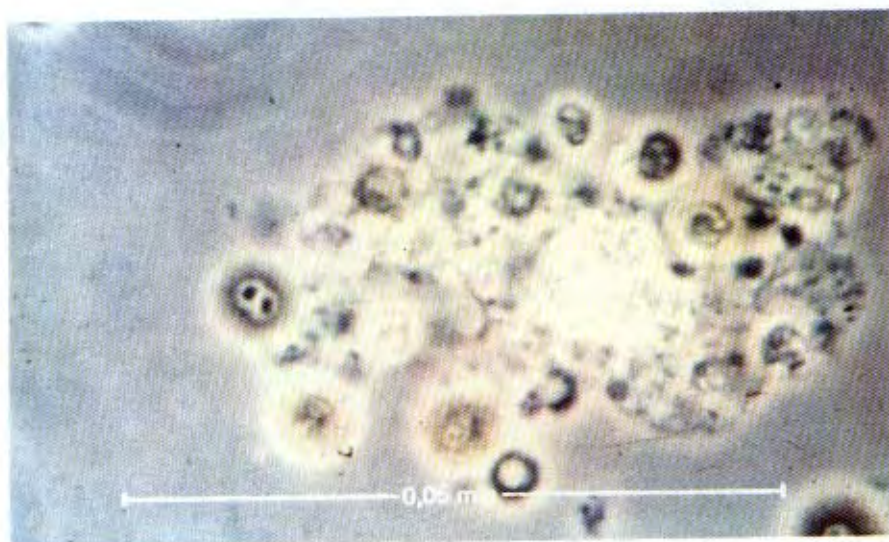
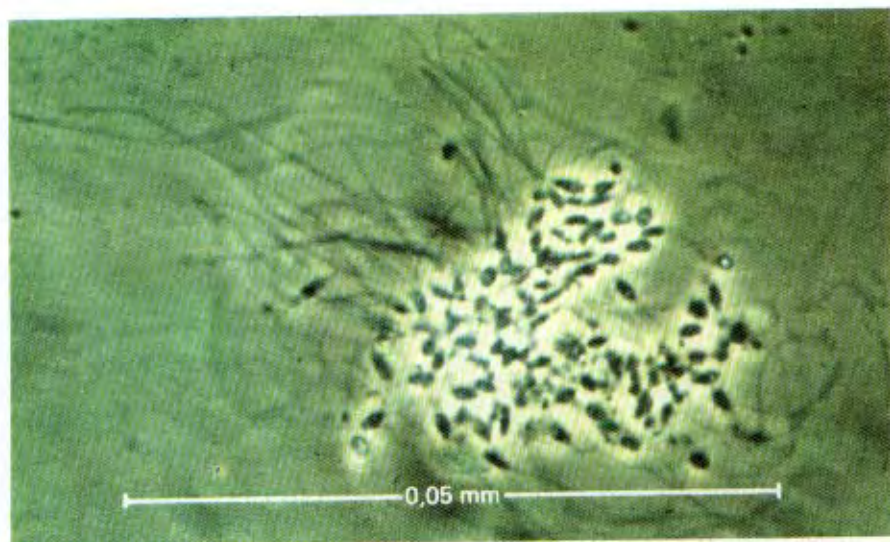


Fig. V. *Hyphomicrobium*. I midten av bildet er det en koloni av ovale celler. Disse cellene produserer lange tråder, som på bildet strekker seg ut fra kolonien. I enden av disse trådene produseres nye bakterier, som så river seg løs, svømmer bort ved hjelp av en flagelle, for siden å feste seg et annet sted hvor de så danner nye kolonier.

Fig. VI. Slam med innhold av jernbakterien *Siderocapsa*. Ved fnokkens høye ende ses en skyggeaktig ring med stort, lyst senter som inneholder to mørke kjerner. Disse kjernene er bakterien *Siderocapsa*, og ringen er en slags kapsel med utfelte jernoksyder.

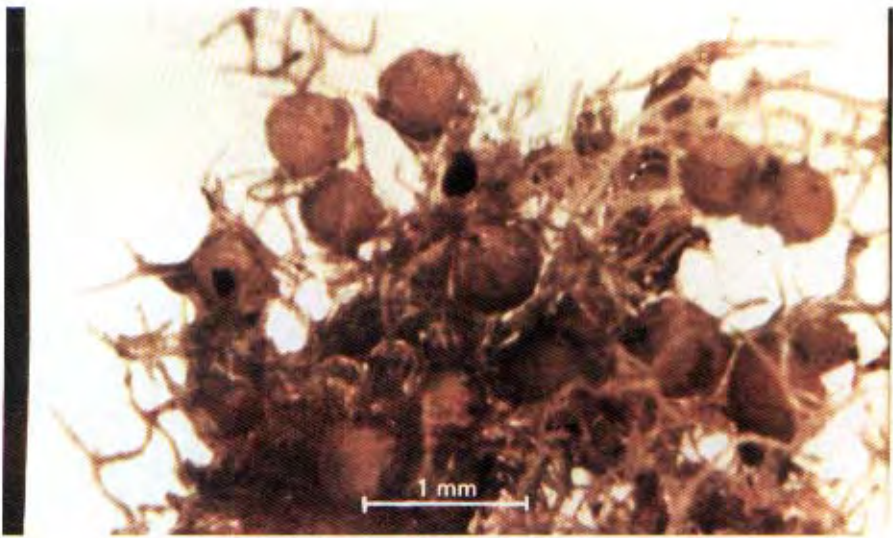
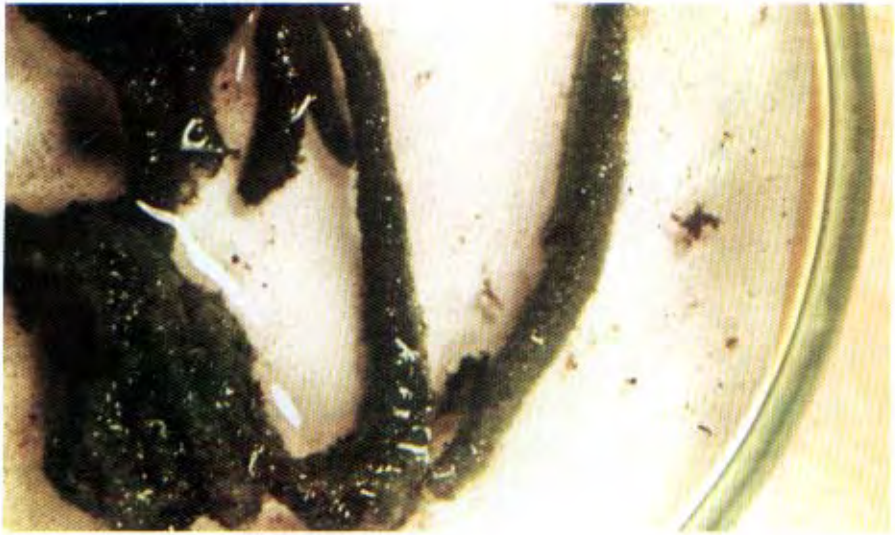


Fig. VII. Ferskvannssvamp, ca. 2 x forstørrelse.

Fig. VIII. Gemmulae (overvintringsstadium) fra svampen *Spongilla lacustris*.

raceae. Til samme familie hører også genus *Caulobacter*, fig. 5. Vi har vært ute for ett tilfelle der denne stilkebakterie dannet vekst som holdt store rustmengder samlet i løse fnokker i mineralvann.

Bakterien *Gallionella* består av stavformede eller nyreformede bakterier som er festet til underlaget ved hjelp av tvunne, tynne og meget lange tråder. Den opptrer ofte i jernavleiringer i bekker og dreneringsgrøfter, og dessuten der metallisk jern står i kontakt med surt vann. Vi har fått den til å vokse på jernspiker i kolber med næringsfattig, humuspreget vann. Organismen ble oppdaget i 1834 av Ehrenberg i jernavleiringer i grøfter nær Berling. Det er imidlertid meget sjelden at man får se selve bakteriene, fordi disse lett rives løs fra trådene. Det er bare i helt ny vekst at man ser trådene slik de er illustrert på fig. 5. I gammel vekst er trådene omgitt av tykke lag av jernoksyd, og utseendet minner da om hardt tvunnet tau, fig. 1. I slam fra drikkevann er trådene gjerne brukket opp i fragmenter og viser seg som meget lysende, tvunne tråder under mikroskopet. Det er bare noen få forskergrupper som hevder å ha *Gallionella* i renkultur, og enkelte av dem mener at selve trådene er organismen, og ikke bare noe som holder de såkalte "hodene" fastsittende på underlaget. *Gallionella* antas å være kjemoautotrof – den benytter karbondioksyd som karbonkilde, og oksydasjon av jern til energikilde – men dette er ennå ikke entydig bevist.

En annen jernbakterie fra ordenen *Pseudomonadales* er *Siderocapsa*, fig. VI (se s. 23). Den er vidt utbredt i humuspåvirkede innsjøer, men vi har ikke funnet den som dominerende organisme i drikkevannslam.

Det finnes, som før nevnt, også andre bakterier som kan danne slimvekst i ledninger med vann som inneholder større mengder organisk stoff. *Aerobacter aerogenes* har ofte vært funnet i slikt vann, samt *Serratia indica* og *Serratia marcescens*. Alle disse tilhører familien *Enterobacteriaceae*, og man bør være spesielt oppmerksom på at *Aerobacter* kan danne slikt slam, fordi dens tilstedeværelse i drikkevannsledninger vil gi positivt utslag i de vanlige rutineanalyser for coliforme bakterier. Flere *Bacillus*-arter har også vært funnet i ledningsslam, deriblant den manganoksyderende *Bacillus manganicus*.

2.4 Sammenstilling av opplysninger som kan indikere årsaken til slamdannelse

Vi kan oppsummere våre erfaringer slik (se også illustrasjonen i fig. 4):

1. Slam med jern- og mangandioksyd uten tydelig innhold av aktive mikroorganismer tyder på at slammet er dannet ved fysisk eller kjemisk utfelling, eller korrosjon.

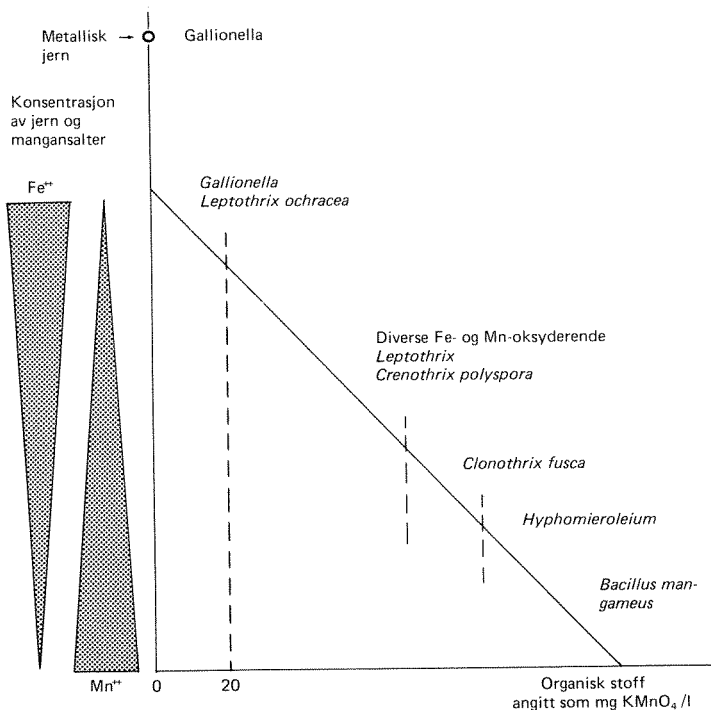


Fig. 4. Sammenheng mellom dominerende bakterietype i slammet, og vannets innhold av jern, mangan og organisk stoff. Omarbeidet etter Beger 1952.

2. Når oksygenrikt vann strømmer gjennom jernrør, vil det på rørveggen bli dannet en film av korrosjonsprodukter som beskytter rørveggen mot videre korrosjon. *Gallionella* har imidlertid evnen til å feste seg på rørveggen og kan dermed forhindre at den beskyttende film av treverdige oksidasjonsprodukter dannes. Bakterien utnytter de reduserte jernforbindelser i sin energiproduksjon, og de treverdige oksidasjonsproduktene avleires rundt bakterien istedenfor i en beskyttende hinne på røroverflaten. *Gallionella* kan derfor være med på å holde korrosjonen i gang. Den kan imidlertid også vokse på annet underlag enn jern hvis vannet inneholder oppløste, toverdige jernsalter.
3. Tilstedeværelse av *Leptothrix ochracea* tyder på at vannet inneholder oppløste, toverdige jernsalter, og at dette er hovedårsaken til slamdannelsen.
4. Tilstedeværelse av andre *Leptothrix*-arter eller *Crenothrix* tyder på at vannets innhold av toverdige mangan i tillegg til jern og organisk stoff er medvirkende årsak til slamdannelsen.
5. Hvis slammet er dominert av andre bakterier enn disse, er dette en indikasjon på at det er vannets innhold av organisk stoff som er hovedårsaken til slamdannelsen, uansett om slammet er brunt eller ikke.

Konklusjonen må bli at både fysisk/kjemiske og biologiske prosesser er medvirkende til at det dannes slam i drikkevann. I utfellingen av jern- og manganoksyder spiller de såkalte jernbakterier en viktig rolle, men også andre bakterier kan være indirekte årsak til slik utfelling.

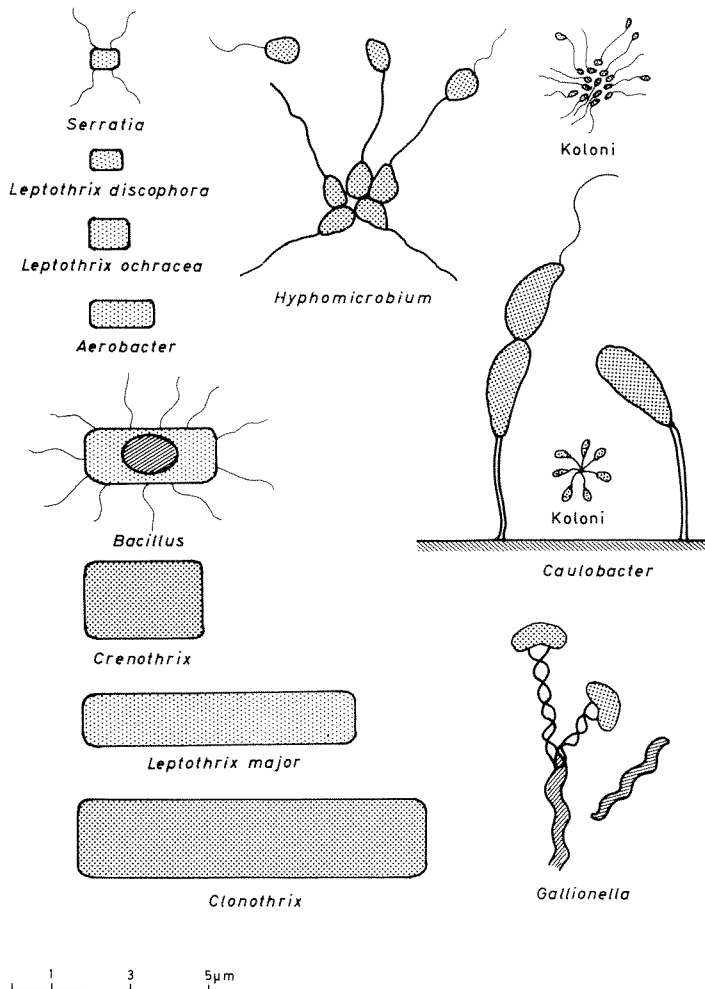


Fig. 5. Størrelse og utseende av bakterier fra ledningsslam.

3. Dyr i ledningsnett for drikkevann

Her i landet er det meget vanlig å benytte beskyttede, regulerte innsjøer til råvannskilde. På grunn av at innsjøen beskyttes mot ferdsel av mennesker og husdyr i dens umiddelbare nærhet, pleier det å ansees som tilstrekkelig behandling om vannet undergår grovsiling og lettklorering før det sendes ut i distribusjonsnett. Disse vannkildene er ofte preget av humusstoffer i partikulær og kolloidalt oppløst tilstand. Ved grovsiling kan både slike humusstoffer og zoo- og phyto-plankton, samt egg og larver og ofte også voksne individer av forskjellige dyr og insekter, med letthet føres inn i distribusjonsnett. Selv om kloreringen er sterk nok til å drepe dem, hvilket slett ikke alltid er tilfellet, vil de likevel kunne tjene som føde for dyr som lever i ledninger og reservoarer. Klorresten vil ikke holde seg lenge i vann som er rikt på organisk stoff, og de klorrester som vanligvis finnes i grovsilt vann her i landet, er ikke høye nok til å forhindre vekst av mikroorganismer og dyr i ledningene.

Det har vist seg at flere slags dyr kan leve i et ledningsnett for drikkevann. Forutsetningen for at dette skal skje, er at de må klare å komme seg inn i ledningsnett, at de må finne fysisk tilfredsstillende oppholdssteder (gunstige strømningsbetingelser), og at de kan finne nok mat. Den viktigste næringskilde for slike dyr er slam som er dannet i ledningsnett, enten sedimentert eller bakteriologisk dannet slam.

Bakterier, zoo- og phyto-plankton kan trenge gjennom sandfiltre og mikrosiler selv når disse drives forskriftsmessig. Bakterier vil dessuten være til stede i luften over bassenger og på veggene, slik at det alltid vil være kim til stede som kan starte slamdannelse. Egg, larver og hvilestadier av forskjellige dyr, og eventuelle innvollsparasitter, kan også trenge inn gjennom slike filtre. Selv ved bruk av 10 μm maskevidde i mikrosilduken vil bakterier og enkelte protozoer kunne trenge gjennom. Det vil derfor være effektiviteten av desinfeksjonen som i disse tilfeller avgjør om mikroorganismene er levedyktige når de føres videre med det behandlede vann.

Fig. 6 og fig. 7 viser en skjematisk fremstilling av porestørrelsen eller maskeåpningene i forskjellige sandfiltre og mikrosilduker i forhold til størrelsen av enkelte av de nevnte organismer. Organismer som har et

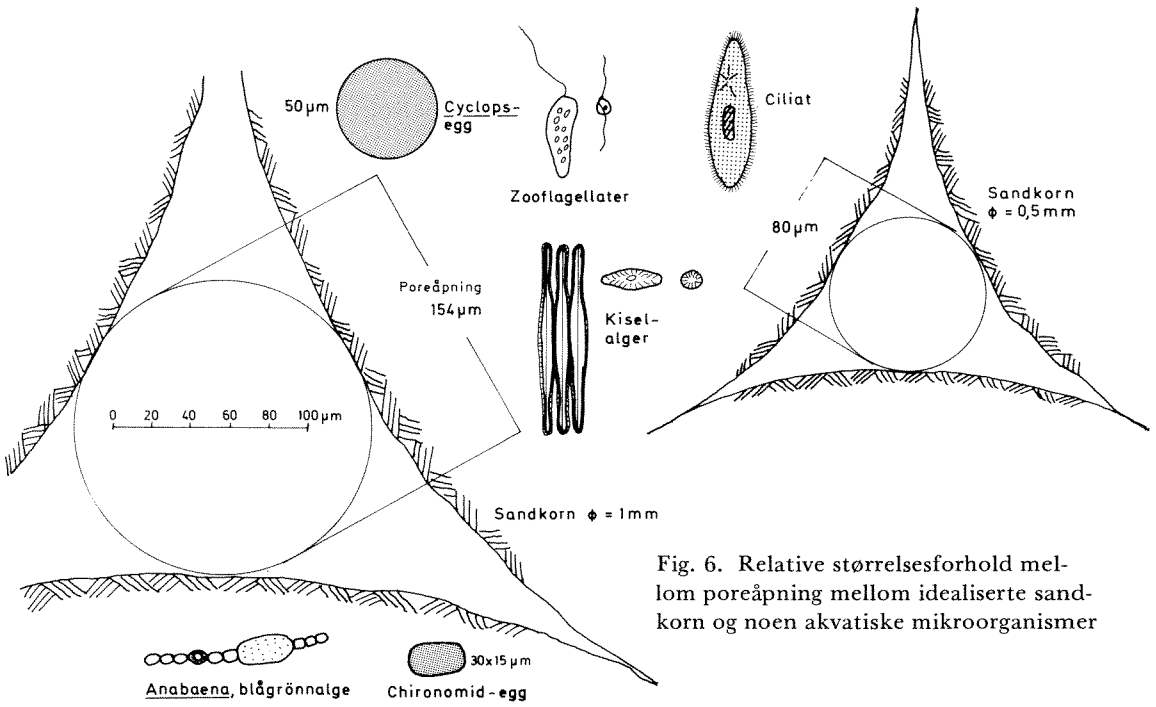


Fig. 6. Relative størrelsesforhold mellom poreåpning mellom idealiserte sandkorn og noen akvatiske mikroorganismer

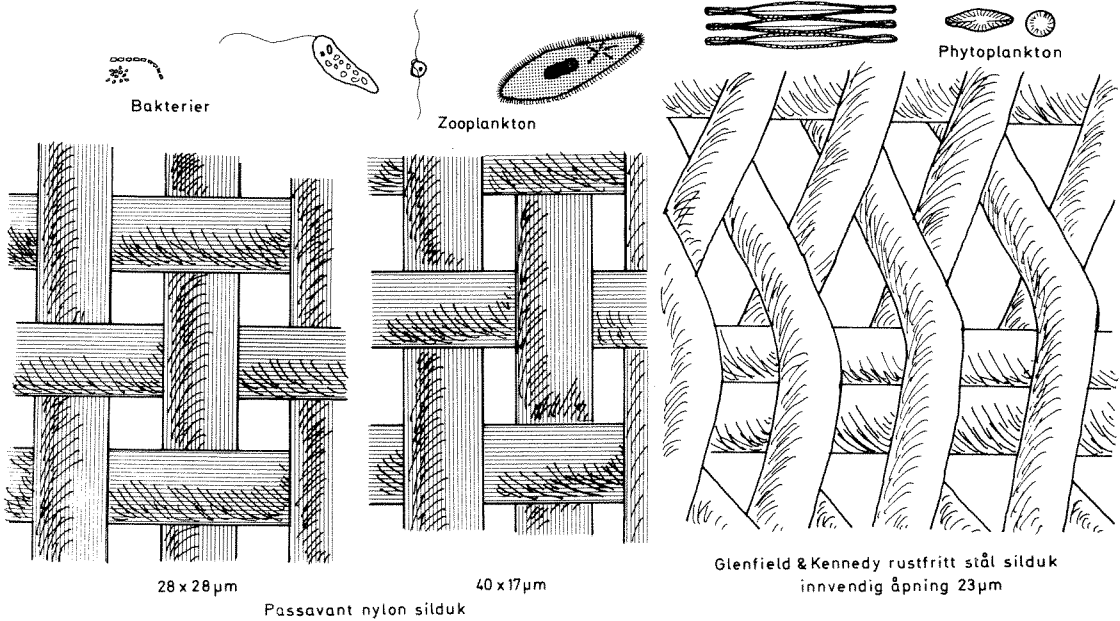


Fig. 7. Relative størrelsesforhold mellom maskevidde for forskjellige mikrosilduker og noen akvatiske mikroorganismer.

larvestadium i vann, men som i fullvokst tilstand holder til på land, kan også komme inn i ledningsnettene via åpne reservoarer, via tildekkede reservoarer med overløp eller ventileringskanaler som ikke er godt nok beskyttet, eller til og med via udekkede nøkkelhull i dører inn til reservoarene. Metemark og landsnegler kan komme seg inn på slike steder, og selv om de ikke kan leve og formere seg i ledningsnettene, fører de til klager fra de konsumenter som får dem ut av springen.

Levedyktig phytoplankton vil ikke kunne formere seg i et lukket ledningsnett, da de får sin energi fra sollys. De kan imidlertid sedimentere i rørene og bidra til å danne slam der.

For zooplankton derimot, kan ledningsnettene være et ypperlig tilholdssted, da de ernærer seg av organisk detritus og bakterier. Zoo-flagellater og ciliater finnes nesten alltid i slikt slam. De er illustrert på fig. 8 sammen

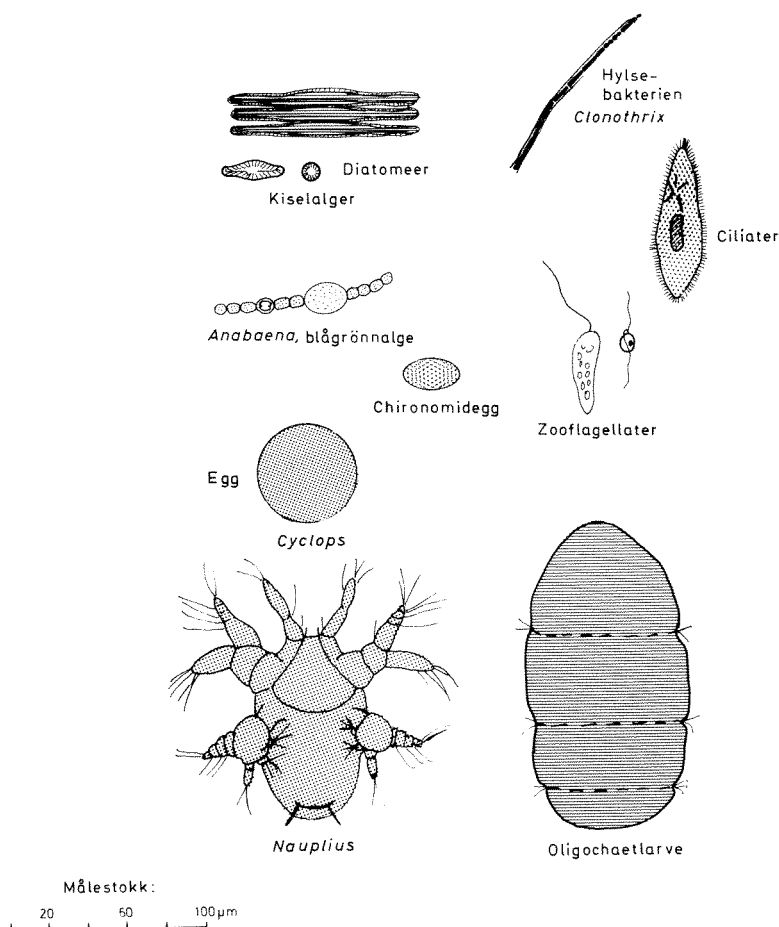


Fig. 8. Mikroorganismer fra ledningsslam.

med noen alger og bakterier, for å demonstrere det relative størrelsesforhold mellom disse mikroorganismene. Av samme grunn er det også tatt med noen egg og larver av andre dyr som omtales i det etterfølgende.

Nematoder forekommer hyppig i slikt slam, likeså hjuldyr (*Rotifers*). Et annet dyr av samme størrelsesorden er tardigradene. De kan være til stede i ledningsslam, selv om de er vanligst å finne ute i naturen. De lever av planteceller og smådyr. De kan tåle både tørke og streng kulde, og ligger da i en slags dvaletilstand. Noen av dem kan i fasong og bevegelse likne på bjørnen; noe som har ført til betegnelsen "bjørnedyr".

Av disse mikroorganismene, som er illustrert på fig. 9, 10 og 11, er det bare nematodene som vil bli lagt merke til hvis de kommer ut av springen hos konsumentene. En av grunnene til dette er at de har kraftige

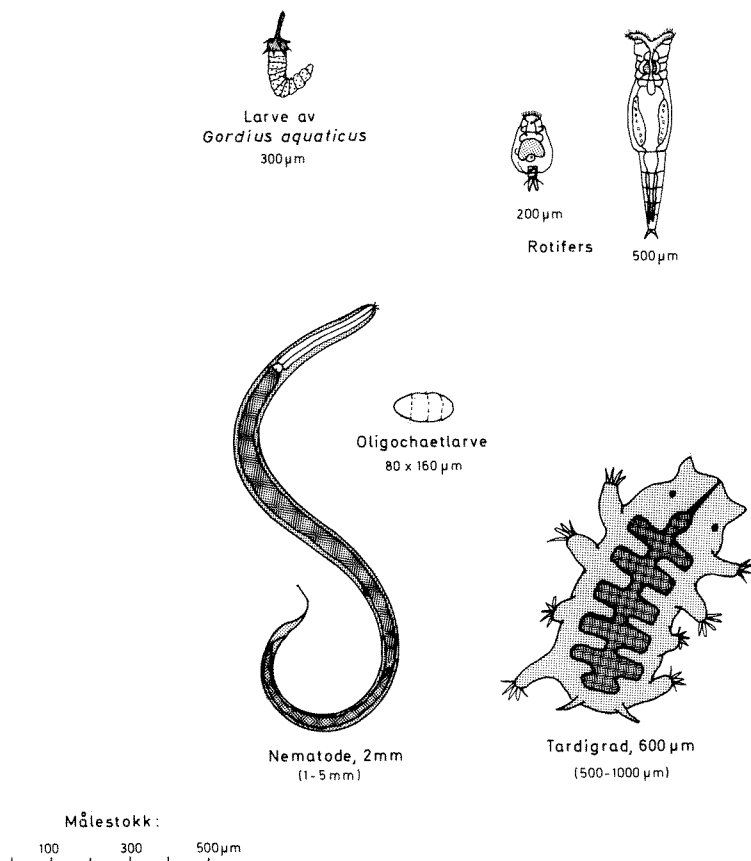


Fig. 9. Dyr fra ledningsslam.



Fig. 10. Nematode i ledningslam.

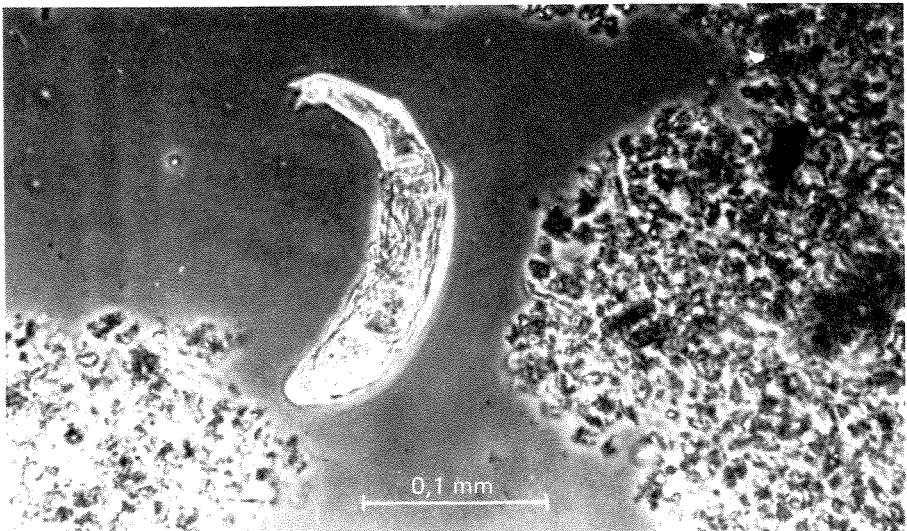


Fig. 11. Hjuldyr i ledningslam.

bevegelser. Nematoder i ledningsslam kan bli opp til 5 mm lange. Ved ett tilfelle i USA ble tilstedeværelse av større mengder nematoder i et ledningsnett oppdaget på følgende måte: En mor la merke til at hennes baby ikke klarte å suge melken ut av tåteflasken sin. Da hun skulle prøve å rense hullet i smokken, så hun at en liten ”mark” satt fast der. Videre undersøkelser viste at det var en nematode, og at vannet i springen inneholdt mange slike. Vanligvis legger nematodene egg, men eggene kan også holdes tilbake av enkelte nematoder til de klekkes som små, ennå ikke fullt utviklede individer. De er meget resistente overfor klor og andre desinfeksjonsmidler og er derfor vanskelig å fjerne fra ledningsnett. De lar seg spyle ut sammen med slammet, men dette er ikke tilstrekkelig til å hindre ny infisering. Man forhindrer best større utvikling av nematoder ved å sørge for at de ikke har noe å leve av i ledningsnett, dvs. forhindre bakterievekst og sedimentering av organisk detritus. Disse to effekter oppnås ved hyppig spyling og desinfeksjon, eller ved å rense vannet for partikulært og oppløst organisk stoff.

Noen små krepssdyr fra forskjellige underklasser innen *Crustacea* er også hyppig å finne i forbindelse med slam i drikkevannsledninger. De ernærer seg av bakterier, andre smådyr og partikulært organisk materiale. Disse krepssdyrene er fritt svømmende og kan bli opptil 2,5 mm lange, men er vanskelig å se uten forstørrelse. De er illustrert på fig. 12. *Daphnia* og *Chydorus* er typiske eksempler fra underordenen *Cladocera*. De har meget karakteristiske, raske bevegelser, og kalles på norsk for vannlopper. De bærer eggene i et ynglekammer på ryggen, og ungene klekkes også der slik at man lett kan se flere små krepssdyr inne i det store. *Cyclops* fra underklasse *Copepoda* kalles for hoppekreps. *Cyclops*-hunnen bærer to meget karakteristiske ynglekamre eller -poser på bakkroppen. Eggene er 0,05 mm lange og er levedyktige selv om de kommer utenfor ynglekammeret. De kan derfor trenge igjennom sandfiltre med råvannet og komme levedyktige inn i ledningsnett (se fig. 6). De klekkes til naupliuslarver, fig. 8. Disse gjennomgår en rekke forskjellige stadier før de fremtrer som voksne *Cyclops*, fig. 12. Vannloppene kan man bli kvitt ved å fjerne slammet de lever i, fra ledningsnett.

Større krepssdyr, som tanglopper og gråsugger, kan også leve i ledningsnett. De er store nok til lett å bli lagt merke til dersom de kommer ut av springen, fig. 13. De av disse krepssdyr som har flattrykt rygg/bryst, kalles isopoder, og de som har flattrykte sider, kalles amphipoder. *Gammarus* er en amphipode og kan komme opp i en lengde på 15 mm. På norsk kalles den for tangloppe. Tangloppene svømmer langs rørveggene og spiser andre smådyr, bakterier og algerester. De kan leve i 1-2 år, og de formerer seg ofte. Deres avføring kan føre til klager over skittent vann.

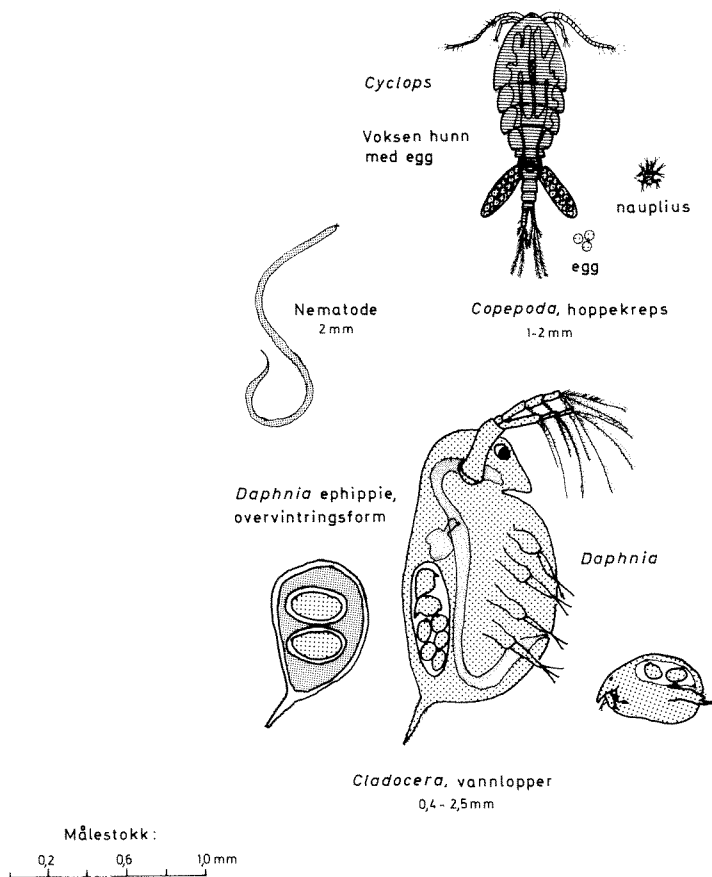


Fig. 12. Dyr fra ledningsslam.

Tangloppene er store nok til lett å bli lagt merke til av konsumentene, og døde krepsdyr som nedbrytes i ledningsnettet, kan føre til vond lukt og smak på vannet. Tangloppene holder seg ikke fast til rørveggene og kan fjernes ved vanlig spyling hvis vannhastigheten blir høy nok. Ellers kan de fjernes sammen med sedimentert stoff og slimbelegg ved hjelp av skrubbing med sylindere av skumplast som presses gjennom hovedledningene med vanntrykket. Vannreservoarer bør imidlertid tilsettes det spesielle desinfeksjonsmiddelet pyrethrin, slik at krepsdyrene blir drept og ført ut med spylevannet. (Mer om dette i det etterfølgende kapittel om bekjempelse av slamproblemer.)

En undersøkelse som ble foretatt av Water Research Association i England – over hvilke dyr som var til stede i britiske vannforsyningsnett – viste at disse relativt store krepsdyrene var til stede i store mengder.

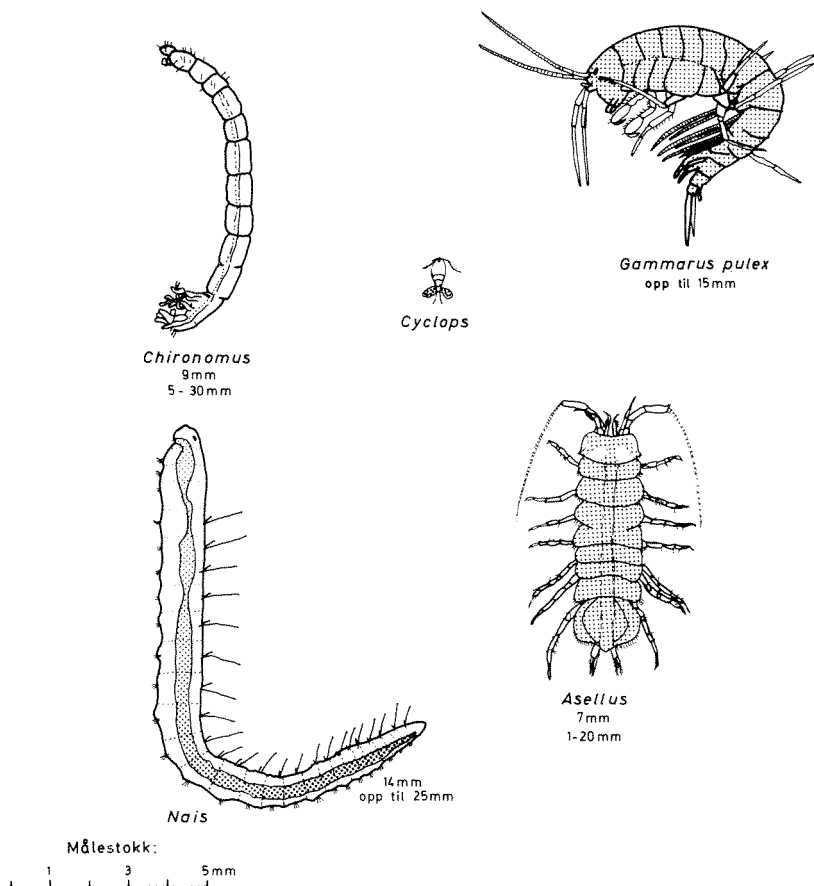


Fig. 13. Dyr fra ledningslam.

Isopoden *Asellus*, på norsk kalt gråsugge (engelsk: water louse), ble funnet å være det dyr som skapte de største problemene. Vanligvis er disse 5-7 mm lange, men kan bli inntil 20 mm lange. Selv om ledningsnett er sterkt infisert med *Asellus*, vil de vanligvis ikke bli med vannet ut. De lever nemlig på rørveggene, hvor de holder seg meget godt fast. Gråsuggene ernærer seg av dyre- og planterester som har sedimentert i rørene, og også av nydannet biologisk vekst på rørveggene. De er storetere og kan til og med sluke vesentlige mengder rust sammen med organisk materiale. De produserer store mengder avføring, og det er denne som fører til stadige klager over skittent vann i sterkt infiserte ledningsnett. Da gråsuggene holder seg så hardt festet til rørveggene (og til bunn og vegger i eventuelle reservoarer), lar de seg ikke fjerne ved spyling av ledningsnett. Den mest effektive metode for å fjerne dem er desinfeksjon med pyrethrin i

konsentrasjon på 0,01 mg pr. liter vann. Dette er tilstrekkelig til å paralisere gråsuggene slik at de slipper taket i rørveggen. De kan ikke svømme, og er de først kommet ut i de frie vannmasser, kan de spyles ut av ledningsnett på vanlig måte. Mange av de andre krepsdyrene dør ved lengre tids opphold i denne pyrethrinkonsentrasjonen.

Hvis et ledningsnett er infisert med *Asellus*, vil klagen over dyr i vannet ofte komme i perioder. Dette henger sammen med livs-syklusen for *Asellus*. Hvert individ lever i 6-12 mdr. Hannene dør etter paringen, og hunnene dør når ungene er klekket. I månedene november til februar er det liten tendens til formering, og derfor ikke mange klager over dyr i vannet. I løpet av februar starter formeringssesongen. I april har ca. 70% av hunnene egg, og hannene, som dør, fører til mange klager i denne måned. I mai klekkes ungene, som da er ca. 1 mm lange, og hunnene dør – dvs. nye klager i mai. Hvis eggene blir fjernet fra ynglekammeret, klekkes de ikke, og de klekkes heller ikke dersom hunnen dør. Ungene vokser fort, og i juni-juli er de blitt 3 mm lange og formeringsdyktige. I september dør igjen en mengde hanner, og i oktober dør hunnene etter den andre formeringsperioden. Noen hunner med egg i ynglekammeret vil også være til stede i vinterperioden. Den beste perioden for behandling av et ledningsnett for å bli kvitt *Asellus*, er ifølge rapporten fra Water Research Assoc., april måned. Behandlingen vil da føre til at dyrene løsner og kommer ut i vannet. Selv om hovedledningene spyles, vil noen dyr kunne finne veien til fordelingsnett og føre til klager fra forbrukeren. Siden april likevel ville ha vært klagemåned på grunn av døde hanndyr etter den første formeringsperioden, vil ikke konsumentene bli påført en ytterligere periode med dyr i vannet på grunn av behandlingen. Ved å sette inn behandlingen på dette tidspunkt får man også drept årets yngel før den får spredd seg i nettet. Effektiv utspyling av endeledninger er vanskelig, og dette gjelder også behandlingen med pyrethrin. Bare noen få desimeter ubehandlet ledning kan føre til at dyrene derfra infiserer ledningsnett på nytt. I ledningsnett med mange endeledninger kan det derfor være nødvendig å desinfisere ledningsnett hvert år.

Skall av døde krepsdyr er meget motstandsdyktige mot nedbrytning. De danner gjerne ansamlinger i assosiasjon med jern og blir av den grunn brunfarget og kan føre til klager over skittent vann.

En annen type dyr som, likesom krepsdyrene, klassifiseres til phylum *Arthropoda*, er dipterlarver fra underklasse *Insecta*, fig. 13. De kan komme inn i ledningsnett som egg direkte med råvannet, eller ved at voksne insekter legger sine egg i dårlig beskyttede reservoarer eller sandfiltre. Larver av fjørmygg, de såkalte chironomider, finner man ganske ofte i ledningsslam. Larvene er ofte i meget karakteristisk aktiv bevegelse og kan være røde, grønne eller hvite av farge. Et typisk eksempel er den

røde *Chironomus* som kan nå opp i en lengde på 25 mm. Som mygg er den bare 5 mm lang. På engelsk kalles de røde chironomider ofte for "bloodworms".

En annen gruppe insekter som også bør nevnes i forbindelse med vannledninger, er vårfluelarver som lever av partikler de "filtrerer" fra vannet. Disse vårfluelarvene spinner fangstnett som kan føre til at rister og siler tetter seg, og larver og nett har også vært funnet inne i ledninger. Vårfluelarvene *Neureclipsis* og *Hydropsyche* har vært observert i meget store mengder på inntakssiler for kraftverk. Vårfluelarver nevnes også ofte i forbindelse med korrosjon av inntakssiler, jernbjelker, -plater og -ledninger i norske kraftverk, blant annet ved Oslo lysverkers anlegg for overføring av vann i Hallingdal, og i kraftverk i nedre del av Glåma. Ved inspeksjon av inntakssilene i ett av de sistnevnte kraftverk ble det foruten vårfluelarver også funnet store mengder rustfargede, slimete klumper på silene og jernbjelkene bak disse. Mikroskopering viste at klumpene bestod av en tilsynelatende ren kultur av bakterien *Gallionella*. Vårfluelarvene og deres nett kan være medvirkende årsak til korrosjon som skyldes organisk beleggdannelse på overflaten av metallet, men i sistnevnte tilfelle er det mer sannsynlig at *Gallionella* var medvirkende årsak til korrosjonens store omfang. Ved dette kraftverket hadde de også problemer med vårfluene, fordi de ble klekket i så store mengder at de opptrådte i svermer som tettet igjen silene i luftinntakene om våren.

Dyr fra phylum *Annelida* er heller ikke sjelden å finne i ledningsnett, fig. 13. Vi har flere ganger mottatt vannprøver som inneholdt "marker" som er kommet ut av springen. De mest vanlige er oligochaetene — fåbørstemakkene — i familien *Naididae*. De lever stort sett av dødt organisk materiale (detritus) og bakterier, og kan bli opptil 25 mm lange. Fåbørstemakkene synes å være mest aktive i perioden når vanntemperaturen er høyest, fra mai til oktober. De formerer seg oftest ved deling. Makker fra genus *Nais* kan dele seg opptil én gang pr. tredje dag, slik at en enkelt makk kan formere seg til 1 000 i løpet av en måned. Slike makker er store nok til at en vanlig vannforbruker observerer dem, og dessuten bidrar de som matkilde for andre uønskede dyr i ledningene.

Både her og i England er det dessuten observert en oligochaet med et litt annet levevis, nemlig *Tubifex* fra familien *Tubificidae*. Den har vanligvis seksuell formering. Den kan leve på steder der det er lite oksygen, og på slike steder ute i naturen kan de påtreffes i store ansamlinger. Dens tilstedeværelse i større mengder i et ledningsnett for drikkevann tyder på at større ansamlinger av organisk materiale er under nedbrytning, og dette kan føre til vond lukt og smak på vannet. Disse oligochaetene fjernes effektivt ved god spyling, men for å hindre ytterligere infisering av

eksemplarer som ikke blir spylt ut, anvendes gjerne klorering med høye klordoser under og en stund etter spylingen.

Den såkalte brønntrådmarken, *Haplotaxis gordioides*, som ble nevnt i innledningen, er også en oligochaet. Den er meget tynn og kan bli opptil 30 cm lang. Den er rød og bevegelig, som en vanlig oligochaet. Brønntrådmarken synes helst å forekomme på lyssvake steder som i brønner og vannledninger, men lever også i myrer og elveslam. I Tyskland, for det meste i eldre litteratur, er den rapportert som vanlig organisme fra vannledninger.

Iglar klassifiseres også til phylum *Annelida*, og de er heller ikke så sjelden å finne i vannledninger. I Norge er hundeglen *Herpobdella octoculata* (eller *Erpobdella octoculata*) ganske vanlig. Både den og bruskglen *Glossiphonia complanata* fant man også i de britiske ledningsnett (fig. 14). Hundeglen sluker hele oligochaeter og chironomider samt andre smådyr, mens bruskglen suger kroppsvæske fra andre dyr – gjerne fra den lille damsneglen *Limnaea pereger* (*Lymnaea peregra*). Denne sneglen ble også funnet i de britiske ledningsnett. Iglene kan fjernes fra ledningsnett ved hjelp av skumplast-skrubbing og spyling, og i spesielt vanskelige tilfeller også ved bruk av høye klorkonsentrasjoner. Tilstedeværelse av større mengder igler tyder på at det også er store mengder av andre dyr i ledningsnett. Den beste metoden til å forhindre masseutvikling av igler, er å forhindre ansamling av detritus og bakterieslam i ledningene, slik at dyrene som lever av dette, ikke finner gode livsbetingelser i ledningsnett. Den foran nevnte sneglen *Limnaea pereger* er også observert i norske ledningsnett. Britene fant også hyppig en snegl som de kaller "Jenkin's spire shell", *Hydrobia jenkinsi*, (også kalt *Potamopyrgus jenkinsi*), fig. 14. Disse sneglene ernærer seg av organisk detritus eller slam som er dannet i ledningene, og produserer egg som ikke trenger å befruktes. Sneglene er vanskelig å fjerne ved spyling, og kan blokkere ledninger, vannmålere etc. Skumplastskrubbing vil fjerne de fleste.

Vannledninger kan også bli begrodd med muslinger. I USA har den asiatiske *Corbicula fluminea* spredd seg meget raskt fra California til de sørøstlige deler av landet, i ledninger for irrigasjonsvann i jordbruket ("kunstig vanning"). Den var antakelig brakt til USA for bruk i akvarier.

I England er vandremuslingen *Dreissena polymorpha* funnet i vannledninger. Den kalles også "Zebra Mussel", fordi den har striper på skallet. Disse muslingene sitter godt festet til veggene også etter at de er døde. De ernærer seg av partikulært, organisk stoff fra vannet, og vil derfor som oftest være å finne i vann med relativt høyt innhold av slike stoffer, i alminnelighet i råvannsledningene. Det er rapportert at en 900 mm vannverksledning i England fikk indre diameter redusert til 200 mm på grunn av muslingvekst. Muslingskallene må fjernes ved skraping, og ny

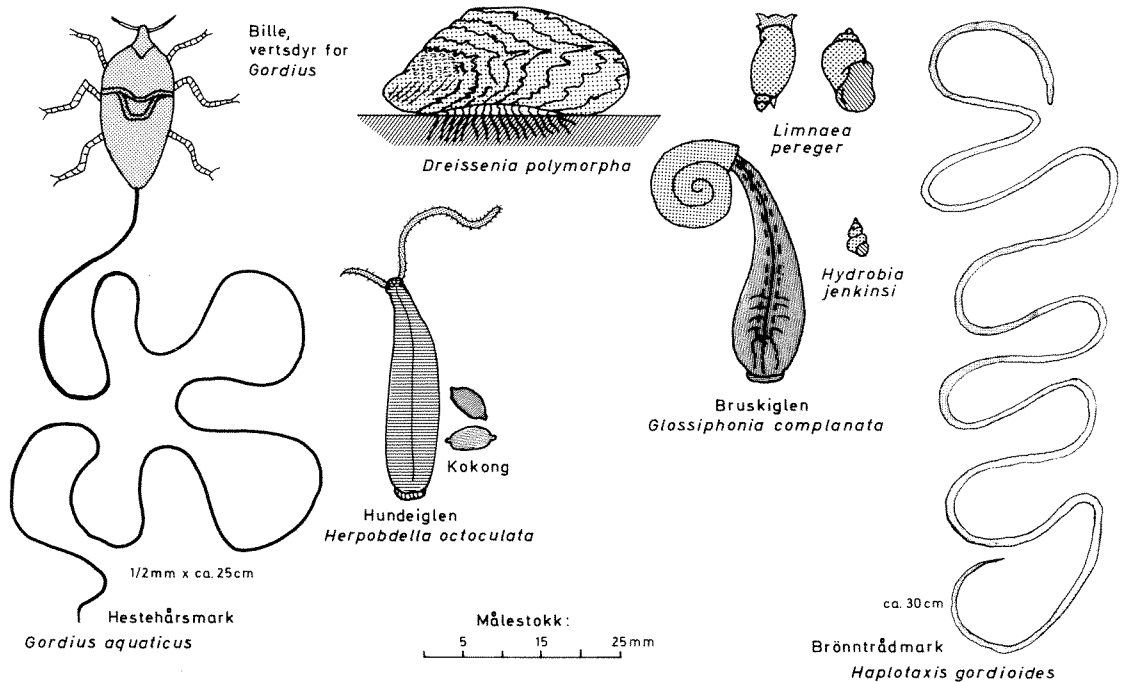


Fig. 14. Dyr fra ledningsslam.

infisering med fritt svømmende larver kan avverges ved klorering. Når disse molluskene dør, vil nedbrytningen av dem kunne føre til vond lukt og smak på vannet. Muslinger har også vært funnet i danske ledningsnett.

Dyr fra phylum *Aschelminthes* kan også finnes i drikkevannsledninger. I tillegg til de allerede nevnte rotifers og nematoder finner man her i landet også ganske ofte den lange, tynne taglormen fra klassen *Nematomorpha*, *Gordius aquaticus*. Dette er den "hestehårsmark" som ble omtalt i innledningen. Den er ca. ½ mm bred og kan bli ca. 25 cm lang. Taglormen er sort eller hvit, og har bare langsom eller ingen bevegelse. Det er lite sannsynlig at den kan leve og formere seg i et ledningsnett. Derfor må den komme inn med råvannet. Den har en meget spesiell livssyklus med seksuell formering. Som voksent individ tar den ikke til seg næring, den bare legger egg i vann. Eggene klekkes til små larver som spises av insektlarver i vannet. Deretter borer de seg gjennom insektlarvens tarm og inn i kroppshulen. De tar sannsynligvis opp næring direkte gjennom kroppsvæggen. I de voksne insekter utvikler de seg til voksne individer. Når insektet kommer i kontakt med vann, kryper taglormen ut, se fig. 14.

Som nevnt i innledningen til dette kapittel er det her i landet vanlig med bare grovsiling og svakklorering av vann som skal distribueres i ledningsnett. Derfor kan vi få vekst av dyr som man ellers bare finner i råvannsledninger. Ett eksempel på dette er mosdyrene – bryozene – *Plumatella* og *Cristatella*, fig. 15. De kan danne tette kolonier som fører til tilstopning av rørene. I England er de funnet i grusen i dreneringsgrøfter for hurtige sandfiltre. Også svamper (*Porifera*) kan danne tette, tykke belegg i ledningene. Vi har observert belegg av ferskvannssvampene *Spongilla* og *Ephydatia*, fig. 16. Både svamper og mosdyr gjennomgår et hvilestadium om vinteren. Bryozoene danner brune statoblaster, og svampene gemmulae. *Spongilla* har gulfargede gemmulae. Når statoblaster og gemmulae er dannet, "dør" resten av dyret, og i nedbrytningsperioden kan det føre til vond lukt og smak på vannet. Mosdyrenes pergament-

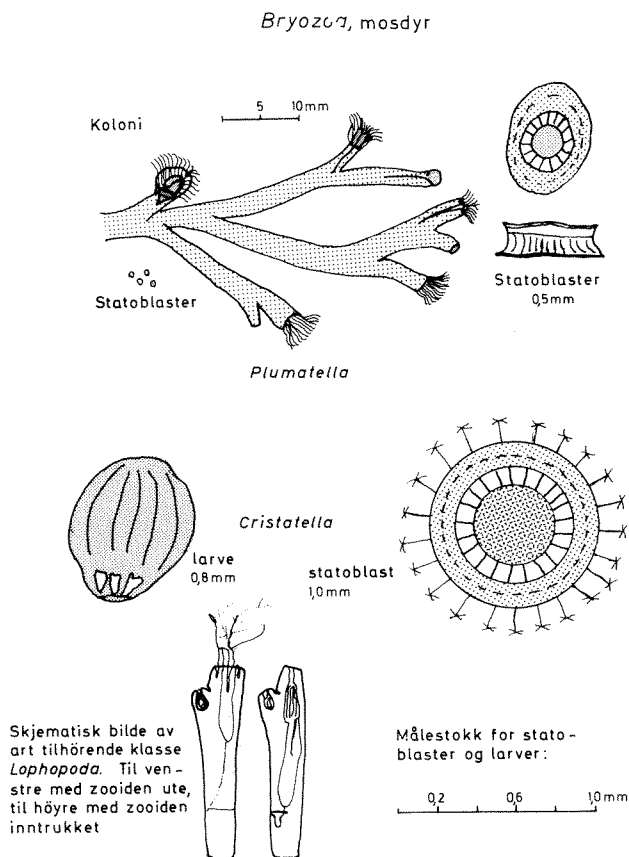


Fig. 15. Dyr fra ledningsslam.
Målestokk:
som angitt under de forskjellige figurer.

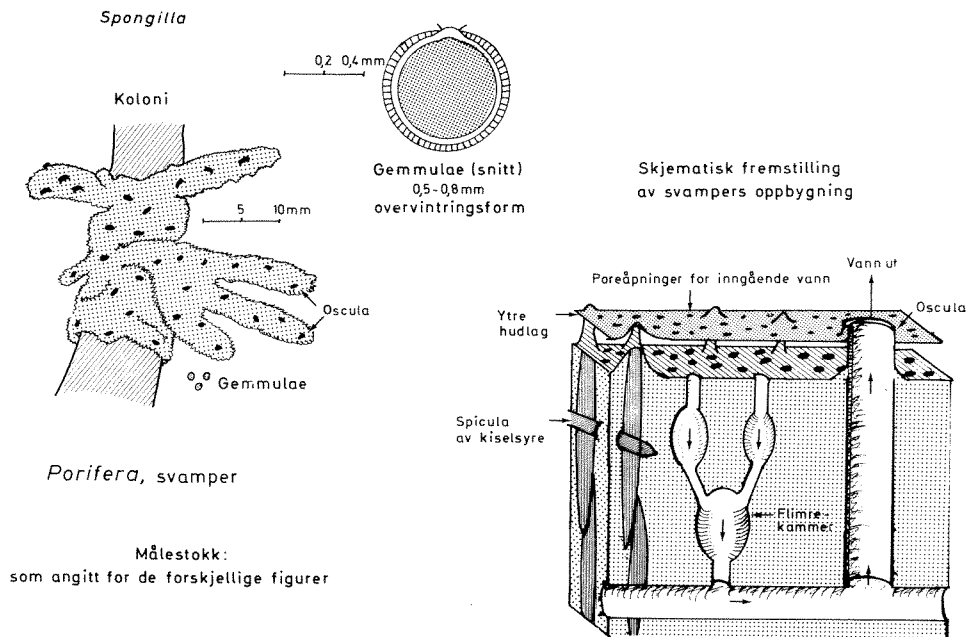


Fig. 16. Dyr fra ledningsslam.

liknende hylstre blir sittende igjen på veggene og kan bare fjernes ved kraftig skraping.

Både mosdyr og svamper ernærer seg av partikulært organisk materiale i vannet. Mosdyr spiser f.eks. kiselalger og protozoer. De er et tegn på at vannet inneholder mye partikulært materiale. Svampene tar inn vann gjennom noen små porer på overflaten og pumper det gjennom sitt indre ved hjelp av små flimmerhår i såkalte "flimmerkammer" (se skjematisk fremstilling av en svamp på fig. 16). Svampene er bygd opp av et skjelett av små kiselsyre-nåler (spicula), som er holdt sammen av en kittsubstans av hornaktig karakter, spongin. Ca. 1/13 av svampens vekt kan være kiselsyre. Grunnsubstansen består av såkalte amøbocytter, som er i stand til å produsere alle de andre delene av svampen, samt å holde tilbake og fordøye partiklene som kommer inn med vannet. Amøbocytene danner også hudlaget, veggene i porer og kanaler, og flimmerhårene, men alle amøbocytter kan gå tilbake til felles form. Når omgivelsene av en eller annen grunn blir ugunstige, omgir amøbocytene seg med et tykt "skall", de danner gemmulae. Inne i svampen blir næringsstoffene fordøyd, og det som ikke kan benyttes, føres videre med vannet gjennom stadig større kanaler til det til slutt går ut gjennom de store poreåpningene som kalles oscula.

Tilstedeværelsen av mosdyr og svamper kan lett påvises sent på høsten eller om vinteren ved å la vann fra springen renne gjennom et passende planktonnett. Hvis dyrene er til stede i ledningsnettet, kan en vente å finne gemmulae og/eller statoblaste i det materiale som samles opp i nettet.

I den undersøkelse som Water Research Association foretok av de britiske vanledningsnett, viste det seg at av de litt over 100 arter som ble funnet i ledningsnettene, var det bare noen få som førte til klager fra konsumentene. Ingen av de artene som levde og formerte seg i ledningsnett, ble funnet å frembringe eller overføre sykdommer til mennesker eller dyr. I tropene kan det stille seg noe annerledes, da f.eks. krepsdyret *Cyclops* er vertsdyr for overføring av nematoden *Dracunculus medinensis*, eller Guineaormen. Denne nematode slipper sine larver i vann, og der blir de spist av bl.a. copepoden *Cyclops* sammen med annen føde. Hvis vannet drikkes av mennesker, vil larvene, som utvikler seg videre inne i copepoden, vandre gjennom menneskets tarmvegg og ut i et av lemmene. Der utvikler den seg i løpet av 10-14 måneder til smertefulle byller. Hannen blir 4 cm lang, mens hunnen kan bli over 1 meter lang. Hunnen utvikler larver i kroppshulen, og når byllen kommer i kontakt med vann, slipper nematoden larvene i vannet gjennom et lite hull i byllen.

I laboratorieforsøk er det funnet at ellers ufarlige nematoder kan overføre sykdomsbakterier via sine tarm, fordi nematodene generelt tåler høyere klorkonsentrasjoner enn bakterier og derfor ikke blir drept ved klorering av vannet. Dette er ikke forsøkt testet i felten. I begge de nevnte tilfeller vil sykdommer bare overføres via individer som nylig er trengt inn med råvannet, ikke via individer som er født og oppvokst i ledningssystemet.

En oversikt over systematikken for de nevnte dyrene er gitt i tabell 3.

Tabell 3. Oversikt over taksonomisk plassering av dyr som kan forekomme i vannledningene.

PHYLUM REKKE	KLASSE	UNDER- KLASSE	ORDEN	UNDER- ORDEN	FAMILIE	GENUS SLEKT	ART
Protozoa	Mastigophora Ciliophora	Zoomastigina Ciliata	Holotricha	Hymenostomata	(Zooflagellater)	Paramecium	
					(Ciliater)		
Porifera Svamper	Demospongia		Monaxonida		Spongillidae Ferskvannsvamper	Spongilla Ephydatium	S. lacustris E. fluviatilis
Bryozoa (Ectoprocta, Polyzoa) Mosdyr	Lophopoda (Phylactolaemata)					Plumatella Cristatella	
Mollusca	Bivalvia Gasteropoda		Eulamelli- branchiata Pulmonata	Heterodonta	Dreissenidae	Dreissenia	D. polymorpha
				Basommatophora	Limnaeidae	Limnaea (Limnaea)	Limnaea peregrina (Limnaea peregrina)
				Hydrobiidae	Potamopyrgus (Hydrobia)	Potamopyrgus (Hydrobia)	Liten damsnegl Wandering snail P. jenkinsi (H. jenkinsi) Jenkin's spire shell
Arthropoda Leddyr	Crustacea Krepsdyr	Entomostraca	Cladocera		Daphnidae	Daphnia	
					Chydoridae	Chydorus	
						Vannlopper	
						Muslingkreps	
			Ostracoda				
			Copepoda	Cyclopoida	Cyclopoidae	Cyclops Hoppekreps	
		Malacostraca	Isopoda	()	Aseillus	A. aquaticus	Gråsugge Water louse

PHYLUM REKKE	KLASSE	UNDER- KLASSE	ORDEN	UNDER- ORDEN	FAMILIE	GENUS SLEKT	ART
			<i>Amphipoda</i>		<i>Gammaridae</i> ()	<i>Gammarus</i> <i>Crangonyx</i> }	Tanglopper
	<i>Labiata</i>	<i>Insecta</i>	<i>Diptera</i>	<i>Nematocera</i>	<i>Chironomidae</i>	<i>Chironomus</i> Fjørmygglarve	
			<i>Trichoptera</i>		<i>Polycentropidae</i> <i>Hydropsychidae</i>	<i>Neureclipsis</i> <i>Hydropsyche</i> Vårfluelarver	<i>N. bimaculata</i>
	<i>Arachnida</i>		<i>Tardigrada</i> Bjørnedyr		()	<i>Macrobiotus</i>	
<i>Aschelminthes</i>							
			<i>Boboloidae</i> <i>Monogonata</i>				
			<i>Gordioidea</i>		<i>Gordiidae</i>	<i>Gordius</i>	<i>G. aquaticus</i> Taglmakk Horse hair worm
	<i>Citellata</i>		<i>Oligochaeta</i> Fåbørstemakk		<i>Naididae</i> <i>Tubificidae</i> <i>Haplotaxidae</i>	<i>Nais</i> <i>Tubifex</i> <i>Haplotaxis</i>	<i>H. gordioides</i> Brønntrådmakk <i>G. complanata</i> Bruskigle <i>H. octoculata</i> Hundeigle
			<i>Hirudinea</i> Iglar	<i>Rhynchobdellae</i>	<i>Glossiphoniidae</i>	<i>Glossiphonia</i>	
				<i>Pharyngobdellae</i>	<i>Herpobdellidae</i>	<i>Herpobdella</i> (<i>Erpobdella</i>)	

Denne tabell er utarbeidet i samarbeid med cand.real. Roald Larsen og cand.real. Arnfinn Langeland, NIVA.
() betyr at det ved hjelp av lett tilgjengelig litteratur ikke har vært mulig å finne fram til disse familienavn.

4. Bekjempelse av slamproblemer

4.1 Metoder for innsamling av slam og bedømmelse av slammets sammensetning

For effektivt å kunne bekjempe slamdannelse i et ledningsnett bør man først prøve å finne fram til hvordan slammets er dannet. Den beste fremgangsmåte vil være å få samlet nok slam til å utføre mikroskopering, samt analyser av frafiltrerbart tørrstoff, gløderest, jern og mangan. Ved å benytte glassfiberfiltre til filtreringen kan tørrstoff- og gløderestanalysene utføres direkte på filteret. Jern og mangan kan deretter ekstraheres med konsentrert saltsyre og ekstraktet viderebehandles for analyse av metallene.

Har man ikke mulighet til å gjøre dette, kan man komme langt med å filtrere fra partikler ved hjelp av et membranfilter, for deretter å utføre testing for jern og mangan direkte på filterene. Et filter kan klippes opp i f.eks. tre biter. Én bit tilsettes en blanding av kaliumferrocyanid og saltsyre. Saltsyren vil løse jernoksyd, og det tre-verdige jern danner en kompleksforbindelse med ferrocyanid-ionet. Forbindelsen er sterkt blåfarget, og hvis alle kalium-ionene byttes ut med jern, får vi tungt løselig forbindelse som felles ut. Dette saltet kalles berlinerblått.

Den andre biten kan tilsettes eller legges over på et stykke filtreringspapir fuktet med en spesiell manganreagens, kalt leukomalakittgrønt. Hvis prøven som ble tilsatt leukomalakittgrønt, inneholder mangandioksyd (brunsten), vil det dannes et mørkt blå-grønt fargestoff som sprer seg ut fra de brune partiklene. Metoden baserer seg på at leukoformen av fargestoffet malakittgrønt bare lar seg oksydere av sterke oksydasjonsmidler som f.eks. kromat, permanganat og mangandioksyd. Av disse er bare mangandioksyd til stede i naturlige vannmasser. Den tredje biten kan tørkes og plasseres på et objektglass. Ved å tilsette vanlig mikroskoperingsolje blir filteret gjennomsiktig, og de frafiltrerte partikler kan mikroskoperes direkte.

Når det grønne fargestoffet malakittgrønt dannes, går en del av det brune stoffet i oppløsning. Dette kan benyttes ved mikroskopering for å avgjøre i hvilken grad slam består av organisk eller uorganisk materiale. Til

samme formål kan man også benytte en løsning av 5% oksalsyre i 1 N saltsyre. Da kan man lettere se eventuelle mikroorganismer i slammet, fordi den brune fargen som ofte dekker store deler av preparatet, forsvinner, slik at slammets struktur trer tydeligere fram. Disse testreaksjoner for jern og mangan kan også utføres direkte i slamprøver hvis man har tilstrekkelige mengder slam. Da kan farging av jernholdig materiale, manganholdig materiale og avfarging med oksalsyre-reagens også utføres direkte på objektglasset mens man følger prosessen i mikroskopet, fig. 17 og fig. 18.

Man bør være oppmerksom på at svart slam ikke alltid betyr at det inneholder mangandioksyd. Jernsulfid dannes ofte i anaerobt slam, og det er svart av farge. Dersom et svartfarget slam ikke gir grønnfarge med leukomalakittgrønt, kan man tilsette saltsyre. Hvis slammet inneholder jernsulfid, vil det bli dannet jernklorid og dihydrogensulfid – en gass med meget karakteristisk lukt, som råttent egg. Dersom slam fra et ledningsnett inneholder jernsulfid, betyr det at det må være anaerobe tilstander enkelte steder i nettet. Det vil igjen si at større mengder organisk stoff har gått i forråtnelse, og dette vil føre til vond lukt og smak på vannet.

4.2 Fjerning av slam og dyr fra ledningsnettet

Spyling av ledningsnettet er i det foregående nevnt som et middel til å bli kvitt plager med dyr og slam i vannet. En forutsetning for å kunne utføre en effektiv spyling er at det kan oppnås tilstrekkelig vannhastighet også i de store hovedledningene. Tabell 4 viser hvilke vannhastigheter som er nødvendig for å suspendere og transportere større mengder av partikler på ca. 0,2 mm i diameter og med forskjellig tyngde. Hvis partikkelstørrelsen er mindre, og hvis partikkelkonsentrasjonen i vannet er lav, kan spylingen bli effektiv også ved lavere vannhastigheter. Mange dyr og andre mikroorganismer i slammet er meget små og har spesifikk vekt på ca. 1,0. Dersom det er større mengder rustpartikler eller sand i ledningsnettet, kan det bli nødvendig med høyere vannhastigheter enn de som er angitt for spesifikk vekt 3,0. Teknikken med den nevnte skumplastskrubbing av nettet er utviklet i England og er beskrevet i en rapport fra Water Research Association (WRA Technical Inquiry Report TIR 130 (26)).

Desinfisering med pyrethrin er også beskrevet i en rapport fra The Water Research Association (Technical Paper TP. 63, 1969: The Control of Animals in Water Mains). Pyrethrin er ufarlig for mennesker og dyr, og er i Storbritannia tillatt brukt til drikkevannsdesinfeksjon i konsentrasjoner opptil 0,1 mg/l. Den funne letale dose av pyrethrin er på 50 g for

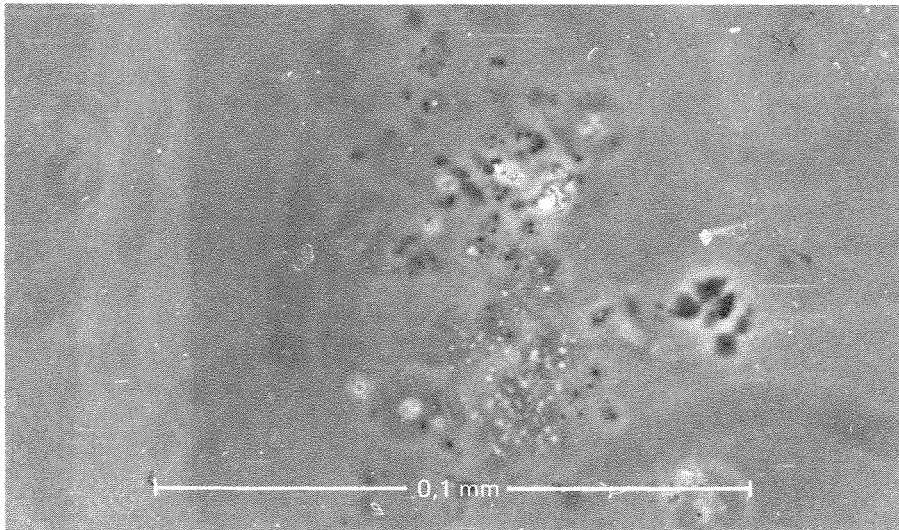
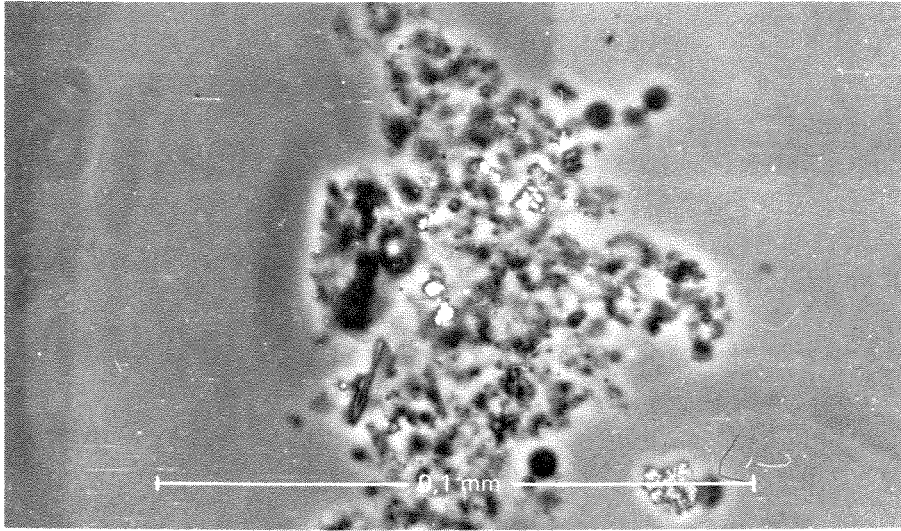


Fig. 17. *Fnokk av slam som er dannet ved sedimentasjon. Det øverste bildet viser fnokken før, det nederste bildet etter tilsetning av oxalsyre-reagens. Fnokken mister sin struktur, den løser seg opp og de enkelte partikler følger med væskestrømmen ut av preparatet.*

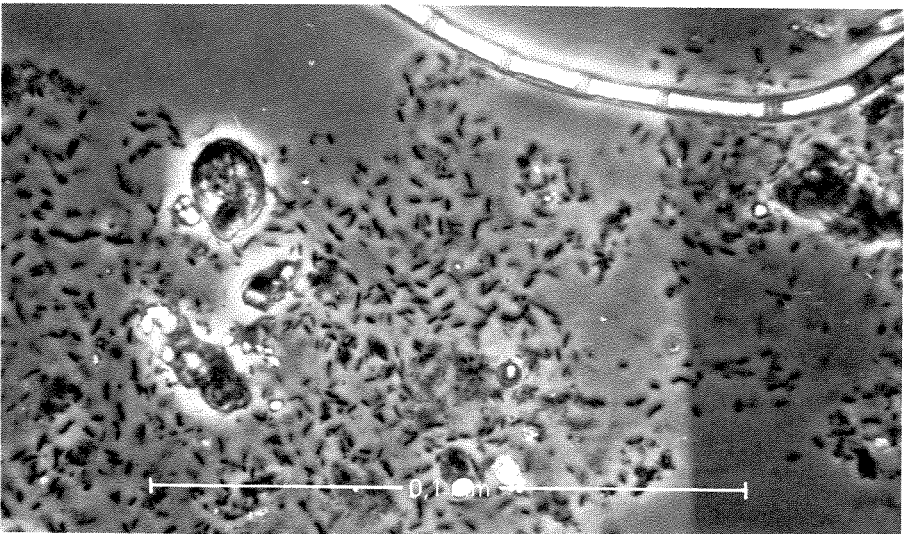
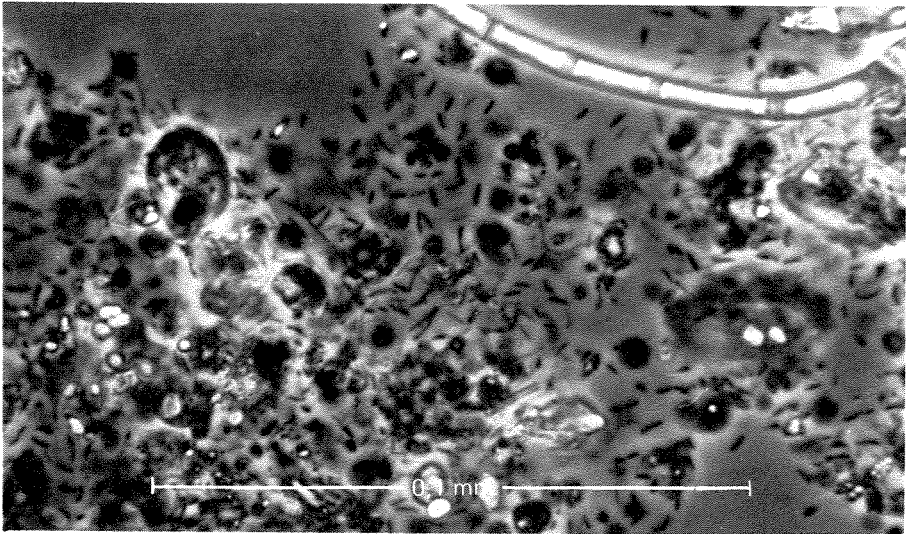


Fig. 18. *Fnokk av slam som er dannet ved bakterievekst.* Det øverste bildet viser fnokken før, det nederste bildet etter tilsetning av oksalsyre-reagens. Fnokkens innhold av bakterier trer tydeligere frem etter behandling med oksalsyre. Selv om det brune materialet løses opp og forsvinner, beholder fnokken sin struktur, fordi det er bakterieveksten som holder den sammen.

et menneske på ca. 70 kg. Det har imidlertid vært rapportert at fisk kan bli påvirket av konsentrasjoner på fra 0,1 mg/l og høyere. Water Research Association anbefaler derfor at en konsentrasjon på 0,01 mg/l i ledningsvannet benyttes ved desinfisering. Denne konsentrasjon er tilstrekkelig til å bli kvitt krepsdyrene, og det vil da ikke være nødvendig å ta spesielle forholdsregler for å beskytte akvatiske organismer i resipienten for det behandlede ledningsvann.

En skjematisk oversikt over årsaker til og metoder for bekjempelse av problemer med slam og dyr i ledningsnett er presentert i tabell 5.

På lang sikt vil den beste metode for å hindre slamdannelse i et ledningsnett være å fjerne årsaken til dets dannelse. Det kan bli nødvendig å fjerne jern og mangan ved spesielle oksydasjonsprosesser. Bakterivekst kan forsøkes forhindret ved tilsetning av desinfeksjonsmidler, men det kan være vanskelig å få desinfeksjonen til å bli vellykket. Det beste ville derfor være å fjerne så mye som mulig av det organiske stoff i vannet. Dette vil da bli et teknisk – men også ofte et økonomisk – problem.

Tabell 4. Nødvendige vannhastigheter for effektiv spyling.

Rørdiameter		Minimumshastighet for å suspendere løse sedimenter bestående av partikler av størrelse tilsvarende diameter 0,2 mm					
		Spes. vekt 3,0		Spes. vekt 2,0		Spes. vekt 1,5	
inches	mm	m/sek	l/sek	m/sek	l/sek	m/sek	l/sek
2	50	1,3	3,2	0,92	1,9	0,67	1,5
3	75	1,6	7,6	1,1	5,3	0,80	3,8
4	100	1,8	15	1,3	11	0,92	7,6
5	125	2,1	26	1,5	18	1,0	13
6	150	2,3	41	1,6	28	1,2	21
8	200	2,6	83	1,8	59	1,3	42

Denne tabell er omregnet etter tabell med engelske mål i WRA Technical Paper TP. 63 1969.

Tabell 5. Problemer med slam og dyr i distribusjonsnett for vann. Skjematisk beskrivelse av årsaker og metoder til bekjempelse av problemene.

ORGANISME	NÆRINGSKILDE	HABITAT	PROBLEM	FJERNING AV PROBLEMENE I SYSTEMET	FORHINDRING AV PROBLEMET
Ingen	—	(Oppløst i vannet)	Brunt vann	—	Bleking ved oksydasjon. Koagulering (fullrensing)
Ingen	—	(Utfelt fra vannet)	Brunt slam Korrosjon av ledningen	Spyling	Koagulering eller siling (humusstoffer). Fjerning av jern (rustslam). Forhindring av korrosjon ved nøytralisering av surt vann
Kiselalger Phytoplankton Grønnalger	Lys, CO ₂ , plante- næringsalter	Kan ikke leve i lukkede ledningssystem, må ha kommet inn med råvannet	Er med på å danne "sedimentert slam" i ledningene, grågrønt til brunt slam	Spyling	Siling, koagulering
BAKTERIER: <i>Gallionella</i> <i>Leptothrix ochracea</i>	Metallisk jern el. Fe ⁺⁺ , oppløst i vannet	På rørenes innside	Rustbrunt slam, korrosjon	Skumplastskrubbing, spyling	Fjerning av jern. Forhindring av korrosjon ved nøytralisering av vannet
<i>Leptothrix discophora</i> <i>Clonothrix</i> <i>Crenothrix</i>	Oppløst i vannet: Fe ⁺⁺ , Mn ⁺⁺ og små mengder organisk stoff	På rørenes innside	Rustbrunt til mørkebrunt slam	Skumplastskrubbing, spyling	Fjerning av jern og mangan
<i>Beggiatoa</i>	Vannet: Redusert svovel (H ₂ S) Små mengder oppløst organisk stoff i anaerobt vann	Overflaten av reservoarer På rørenes innside	Grått slam, vond lukt og smak	Skumplastskrubbing, spyling	Fjerning av H ₂ S (ved lufting) og filtrering
<i>Thiothrix</i>					

ORGANISME	NÆRINGSKILDE	HABITAT	PROBLEM	FJERNING AV PROBLEMET/ORGANISME I SYSTEMET	FORHINDRING AV PROBLEMET
<i>Hyphomicrobium</i>	Lavmolekylært org. stoff i lav konsentrasjon i vannet, eventuelt også oppløst Mn ⁺⁺	På rørenes innside	Mørke brunt slam	Skumplastskrubbning, spyling	1. Fjerne organisk stoff, enten ved fullstendig oksydasjon eller koagulering (evt. siling i sandfilter). 2. Kontinuerlig desinfisering av ledningsnett
<i>Caulobacter</i>	Små mengder oppløst organisk stoff i vannet	På rørenes innside	Brunt slam	Skumplastskrubbning, spyling	Fjerne mangan. Fjerne organisk stoff + kont. desinf. i tillegg
<i>Bacillus manganicus</i>	Større mengder oppløst organisk stoff i vannet, Mn ⁺⁺	På rørenes innside	Mørke brunt slam	Skumplastskrubbning, spyling	Fjerne organisk stoff + eventuelt jern og mangan, og kontinuerlig desinfisering i tillegg
<i>Bacillus-Aerobacter aerogenes</i> <i>Serratia indica</i> <i>Serratia marcescens</i> SOPP	Større mengder oppløst organisk stoff i vannet	På rørenes innside, spesielt på pakningsmaterialet i skjøter o.l.	Brunt til grått slam	Skumplastskrubbning, spyling	Forhindre slamdannelse
Zooflagellater Ciliater Hjuldyr (rotifers) Tardigrader Vannløpper: <i>Daphnia</i> <i>Chydorus</i> <i>Cyclops</i>	Sedimentert slam fra vannet. Bakterievekst på rørenes innside	I fastsittende og sedimentert slam i ledningene	Ingen i seg selv, er ikke synlige i slammene uten forstørrelse <i>Cyclops</i> kan være synlig uten forst.	Fjerne slammene	
Nematoder Opp til 5 mm lange	Slam i ledningene, sedimentert og produsert	Som ovenfor	Kan være synlige uten forstørrelse i slamførende vann	Fjerne slammene. Resistent overfor klor og andre desinfeksjonsmidler	Forhindre slamdannelse

ORGANISME	NÆRINGSKILDE	HABITAT	PROBLEM	FJERNING AV PROBLEMET/ORGANISME I SYSTEMET	FORHINDRING AV PROBLEMET
<i>Asellus</i> Gråsugge Waterlouse	Slam i ledningene sedimentert og produsert	Lever på rørenes innvendige flater, holder seg godt fast til veggen	Store nok til å være synlige, dør etter for- mering og kommer ut med vannet. Produ- serer også mye ekskre- menter som fører til skittent vann	Desinfeksjon med pyre- thrin. Dyrene lammes og løser fra veggene. Deretter spyling	Forhindre slamdannelse
5-7 mm, opptil 20 mm lange					
<i>Gammarus</i> <i>Crangonyx</i>	Slam i ledningene	Frittstående i ledningene og reservoarer	Kommer ut med vannet, klager over "dyr i vannet". Dekomponerende kreps- dyr fører til vond lukt og smak, skallene forår- saker ofte sammen med rust, slamførende vann. Det samme for deres ekskremitter	Spyling med høye vann- hastigheter, da de er gode svømmere. Skumplastskrubbing og spyling kombinert med pyrethrinbehandling er effektivt	Forhindre slamdannelse
Tanglopper					
Opp til 15 mm					
Oligochaeter: (Fåbøstemarkker) <i>Nais</i> opp til 25 mm <i>Tubifex</i> Chironomider (Fjørmygglarver)	Slam i ledningene	Lever i slammet	Klager over "makker i vannet". Dekomponerte dyr fører til grumset vann	Spyling med høye klor- doser under og en stund etter spyling	Forhindre slamdannelse
Snegler:	Slam i ledningene	Sitter fast eller vandrer langs veggene Tilstopping av ledningene og vann- målere	Dekomponerende mollusker fører til vond lukt og smak.	Skumplastskrubbing, spyling	Forhindre
<i>Limnaea pereger</i> (15 mm) <i>Potamopyrgus</i> (<i>Hydrobia</i>) <i>jenkinsi</i>					

ORGANISME	NÆRINGSKILDE	HABITAT	PROBLEM	FJERNING AV PROBLEMET/ORGANISME I SYSTEMET	FORHINDRING AV PROBLEMET
Igler: Hundigle (40 mm) <i>Herpobdella octoculata</i>	Sluker smådyr som makker, larver, krepsdyr.	Stillestående til langsomt flytende vann. Vannledning ikke naturlig som tilholdssted, da iglene lever av smådyr som ikke burde finnes der	Klager over "dyr i vannet".	Spyling med skumplastskrubbing og høye klor-doser	Forhindre små dyr fra å kunne leve i ledningsnett (slamdannelse). Forhindre inntrengning av igler i ledningsnett
Bruskigle: (30 mm) <i>Glossiphonia complanata</i>	Bruskiglen suger gjerne kroppssaft av snegler, f.eks. <i>Lirnaea</i>				
Muslinger: <i>Dreissenia polymorpha</i> (30 mm) Vandremusling Zebra mussel	Slam i ledningene	Sitter fast eller vandrer langs veggene	Vond lukt og smak. Tilstopping av ledninger	Kan fjernes bare ved kraftig skraping. Reinfisering forhindres ved klorering av vannet	Fjerne partikulært organisk stoff fra vannet
Mosdyr: <i>Plumatella</i> <i>Cristatella</i>	Partikulært, organisk stoff i vannet, f.eks. kiselalger, protozoer	Sitter fast på veggene	Dekomponerende organismer fører til vond lukt og smak. Tilstopping av ledninger	Mosdyrhyllstre sitter godt fast selv når dyret dør, og kan fjernes bare ved kraftig skraping. Svampe-rester kan muligens fjernes etter dekomponeringen (i vinterperioden) ved skumplastskrubbing og spyling (ikke prøvd)	Fjerne partikulært organisk stoff fra vannet
Svamper: <i>Spongilla</i> <i>Ephydatia</i>					

5. Litteraturhenvisninger

Noen litteraturhenvisninger angående mangan- og jern-oksyderende mikroorganismer

E.G. Pringsheim (Göttingen, BRD):

The Filamentous Bacteria *Sphaerotilus*, *Leptothrix*, *Cladothrix*, and their Relation to Iron and Manganese.

Phil. Trans. Roy. Soc. (London) Ser. B. 233, 453 – 482, 1949.

R. Schweisfurth und R. Mertes (Hamburg/Saar, BRD):

Mikrobiologische und chemische Untersuchungen über Bildung und Bekämpfung von Mangan-Schlamm-Ablagerungen in einer Druckleitung für Talsperrenwasser.

Archiv für Hygiene und Bacteriologie 146, (6) 1962.

R. Schweisfurth:

Mikrobiologische Untersuchungen an mangan-oxydierenden Mikroorganismen aus schwarzen Schlämmen.

Deutsche Gewässerkundliche Mitteilungen, Sonderheft 1963.

R. Schweisfurth:

Untersuchungen über mangan-oxydierende und -reduzierende Mikroorganismen.

Mitt. Internat. Verein. Limnol. 14, 179 – 186, 1968.

H. Brantner (Graz, Østerrike):

Zur Ökologie manganverwertender Bakterien.

gwf Wasser – Abwasser 107 (44) Nov. 1966.

H. Hanert (Hamburg, BRD):

Untersuchungen zur Isolierung, Stoffwechsel-physiologie und Morphologie von *Gallionella ferruginea* Ehrenberg.

Archiv für Mikrobiologie 60, 348 – 376, 1968.

E.G. Mulder and W.L. van Veen (Nederland):

Investigations on the *Sphaerotilus-Leptothrix* Group.

Antonie van Leeuwenhoek J. Microb. Ser. 29, no. 2, 121 – 153.

E. Olsen and Waclaw Szybalski (Danmarks tekn. højskole):

Aerobic Microbiological Corrosion of Water Pipes.

Acta Chemica Scand. 3 1949.

J.G. Ormerod (NIVA, Oslo):

A Simple Method for the Detection of Manganese in Particles on Membrane Filters.

Limnol. Oceanogr. 11 no. 4, 1966.

- P.A. Tyler and K.C. Marshall (Hobart, Tasmania):
Microbial oxidation of manganese in hydro-electric pipelines.
Antonie van Leeuwenhoek J. Microb. Ser. 33 (1967) No. 2, 171 – 183.
- P.A. Tyler and K.C. Marshall:
Form and Function in Manganese-Oxidizing Bacteria.
Archiv für Mikrobiologie 56, 344 – 353, 1967.
- G.A. Zavarzin (USSR):
Budding Bacteria.
Mikrobiologiya 30 (Eng. trans.) no. 5, 1961.
- Y. Hardman and A.T. Henrici (Univ. Minnesota, USA):
Studies of Fresh Water Bacteria: V. The Distribution of *Siderocapsa treubii* in some
Lakes and Streams.
J. Bact. 37, no. 1, 1939.
- R.L. Starkey (Rutgers Univ., USA):
Transformations of Iron by Bacteria in Water.
J. Am. Wat. Works Ass. 37, no. 10, 1945.
- S. Kucera and R.S. Wolfe (Univ. Illinois, USA):
A Selective Enrichment Method for *Gallionella ferruginea*.
J. Bact. 74, no. 3, 1957.
- R.S. Wolfe:
Microbial Concentration of Iron and Manganese in Water with low Concentrations of
these Elements.
J. A. Wat. Works Ass. 52, no. 10, 1960.
- P. Hirsch (Yale Univ., USA):
Biology of Budding Bacteria.
Archiv für Mikrobiologie 60, 1968.

Bøker og hefter

- Quality Aspects of Water Distribution Systems.
Proceedings: Fifth Sanitary Engineering Conference, University of Illinois Engineering
Experiment Station Circular No. 81, 1963.
- Beger, Herbert:
Leitfaden der Trink- und Brauchwasserbiologie.
Schriftenreihe des Vereins für Wasser- Boden- und Lufthygiene Berlin – Dahlem, No. 5,
1952, samt
2. überarbeitete und ergänzte Auflage von Dr. J. Gerloff und Dr. D. Lüdemann. 1966.
- Cholodny, N.:
Die Eisenbakterien. Beiträge zu einer Monographie.
Pflanzenforschung, Heft 4, Verlag Gustav Fischer, Jena, 1926.

Dorff, Paul:

Die Eisenorganismen. Systematik und Morphologie.

Pflanzenforschung, Heft 16, Verlag Gustav Fischer, Jena, 1934.

Meddelande från Kungl. väg- och vattenbyggnadsstyrelsen, Nr. VA 7 1962:

Spolning och desinfektion av vattenledningar.

Water Research Association, 1966:

Technical Inquiry Report TIR. 130:

Mains cleaning using foam swabs.

Noen litteraturhenvisninger angående dyr som kan forekomme i drikkevannsledninger

Animals Associated with Potable Water Supplies.

Operator's Identification Guide, AWWA Manual 17 prepared for the American Water Works Association by William M. Ingram and Alfred F. Bartsch. Også i AWWA Journal December 1960.

The Control of Animals in Water Mains.

The Water Research Association Technical Paper TP. 63, 1969, by R.J. Sands.

Living Organisms in Public Water Mains.

By K.M. Hart, Journal of the Institution of Municipal Engineers, Vol. 83, No. 10, April 1957, 324 – 333.

A Key to the British Fresh – and Brackish – Water Gastropods.

Freshwater Biological Association Scientific Publication No. 13, 1960, T.T. Macan, ill. by Douglas Cooper.

A Guide to Freshwater Invertebrate Animals.

T.T. Macan, 1964.

Dyreliv i vann og vassdrag.

Hj. Munthe-Kaas Lund. Ill. av Henning Anthon, 2. utg. Cappelen, 1964.

Ferskvannsfauens overvintring.

Kåre Elgmork, NATUREN nr. 1, 1960.

The Invertebrata.

4th Ed. A revision by G.A. Kerkut. Borrodaile, Eastham, Potts, Saunders.

Norges Dyr. Bind 6, 1972.

Red. R. Frislid, A. Semb-Johansson.

Djurens Värld.

Red. Bertil Hanström, Malmö 1963.

Ferskvannsfauenaen. Biologisk belyst.

Invertebrata, 1937. C. Wesenberg-Lund.

The Infestation of Waterworks by *Dreissenia polymorpha*, a Freshwater Mussel.

Clarke, K.B., 1952. Journ. Instn. Wat. Engrs. 1962, 6, pp. 370 – 379.

Bilag

Beskrivelse av omtalte metoder og reagenser

I "Spot-test"-reagenser for oksydert jern og mangan:

For Fe^{III}:

- a) Kaliumferrocyanid, også kalt gult blodlutsalt, $K_4 Fe^{II}(CN)_6 \cdot 3 H_2O$: 0,1%
- b) Syre, f.eks. 10% HCl (2,5 N syre). Syren løser de tre-verdige jernoksyder, som da reagerer med gult blodlutsalt, og danner fargestoffet berlinerblått: $Fe_4^{III}(Fe^{II}(CN)_6)_3$.

For MnO₂ :

Leucomalachite green (pp'-tetramethyl-triphenyl methane, G.T. Gurr Ltd., London S.W.6.).

0,1% av dette i 0,1 N HCl.

II Reagens til å fjerne den brune fargen i jern- og manganholdig slam, slik at mikroorganismer kommer tydeligere fram ved mikroskopering:

5% oksalsyre i 1 N HCl.

III Reagens til farging av protoplasma:

1% erythrosin i 5% fenol (i vann).

IV Farging av preparat under mikroskoperingen:

En dråpe reagens legges tett inntil den ene side av dekkglasset, og trekkes gjennom preparatet ved hjelp av et papirstykke på den motstående side. Teknikken kan med hell benyttes med testreagenser for jern og mangan.

V Avfarging av preparat under mikroskoperingen:

Samme teknikk som i IV, men benytt reagensen beskrevet i II.

VI Farging av protoplasma med erythrosin:

Sies å være spesifikt for protoplasma. Preparatet tørkes (i luften eller over svak varme), fikseres ved å holde objektglasset et øyeblikk over en flamme. En dråpe erythrosin tilsettes og skylles av med vann etter ca. 1 minutt. Hvis man ønsker å undersøke preparatet i olje, må det nå tørkes på nytt. Ellers kan man mikroskopere direkte med dekkglass over det vanlige preparat.

Farging av jernholdig materiale kan i sistnevnte tilfelle foregå som for ikke farget materiale.