

2017

RAPPORT

VANNRAPPORT 130

Problemer med slam og mikroorganismer i drikkevann

Vannrapport 130

Problemer med slam og mikroorganismer i drikkevann

Kari S. Ormerod

Utgitt av Folkehelseinstituttet
Smittevern, miljø og helse
Avdeling for smitte fra mat, vann og dyr
August 2017

Tittel:

Vannrapport 130
Problemer med slam og mikroorganismer i drikkevann

Forfatter:

Kari S. Ormerod

Bestilling:

Rapporten kan lastes ned som pdf
på Folkehelseinstituttets nettsider: www.fhi.no

Grafisk designmal:

Fete typer

ISSN elektronisk utgave: 1503-2167

Forord

Denne rapporten gir en oversikt over årsaken til slamdannelse på flater i kontakt med strømmende vann, i brønner og på flater av jern. Oversikten er basert på publikasjoner om liknende problemer fra gammel og nyere tid, og på arbeid utført ved Norsk institutt for vannforskning (NIVA) i perioden fra midten av 1960-årene til 1986, og deretter ved Folkehelseinstituttet (FHI) til 2005. Alle inkluderte fotografier representerer organismer funnet i slik slamdannelse i Norge. Når ikke annet er nevnt, er fotograferingen utført ved NIVA av K. Ormerod. Noen av fotografiene er sammenstilt og redigert av Eyvind André Andersen, FHI.

Oslo, august 2017

Line Vold
avdelingsdirektør

Innhold

Forord	4
Drikkevannsforsyning med grunnvann som kilde	6
Drikkevannsforsyning med overflatevann som kilde	9
Smådyr som kan leve i belegg i vannledninger, og i brønner	14
Større dyr som kan finnes i slam idrikkevannsledninger og i brønner	16
Partikulært stoff – Blokkering av ledninger	20
Referanser	23

Drikkevannsforsyning med grunnvann som kilde

I Norge kunne vi i eldre tid ta drikkevann fra de øvre løp av bekker og elver, kilder og "oppkommer", fordi det var få forurensningskilder i disse områdene. I lavlandet var det vanlig å ta drikkevann fra private brønner. Også i Europa var det i spredt bebyggelse, langt tilbake i tid, vanlig med private brønner, basert på grunnvann. Man hentet da vann direkte i brønnen. Hvis det dreide seg om en liten landsby, kunne man ha opprettet en vannpost med pumpe over brønnen, slik at folk kunne komme dit og hente vann i egne bøtter og spann. Vannet hadde derfor ikke blitt fraktet gjennom lange ledninger.

I Europa ble det fra 1850-årene vanlig å samle vann fra forskjellige brønner og distribuere det til folk i tettsteder og byer via et felles ledningsnett. Ofte ble vannet først pumpet til et lagringsbasseng, som kunne ligge på en høyde slik at vannet kunne renne ned til brukerne ved hjelp av tyngdekraften. Dette var tilfelle i Berlin i 1876, da det ble tatt i bruk et vannverk som skulle forsyne byen med vann fra en rekke grunnvannsbrønner. Etter bare et halvt års drift begynte vannet i ledningene å anta en rustbrun farge, og snart kunne man også observere brune slampartikler i vannet. Det viste seg at det i lagringsbassenget ble dannet et rustbrunt slam. Dette ble bare verre og verre. I et slikt basseng på 35 000 m³, var slamutviklingen blitt så omfattende at det ukentlig måtte fjernes 140 m³ rustbrunt våtslam fra bassenget. Etter bare 7 års bruk ble disse grunnvannsbrønnene oppgitt som råvannskilde.

Grunnvann blir dannet ved tilførsel av regnvann, og eventuelt ved tilsig fra elver og bekker. I våre dager blir infiltrasjonsområdet til en grunnvannskilde beskyttet mot påvirkning fra menneskelig aktivitet, deriblant tilførsel av smittestoffer og oppløst organisk stoff, samt gjødsel fra jordbruk. Nytt regnvann som tilføres grunnvannet må imidlertid passere de ovenfor liggende jordlag før det når ned til grunnvannsnivået. Det nye vannet kan inneholde små mengder organisk stoff, i likhet med jordlaget det må passere. I jordlaget befinner det seg bakterier som lever og formerer seg ved å nedbryte dette organiske stoffet. Nedbrytningen gir dem energi til å danne nye organismer, og til dette trenger de også oksygen. Overflatelagene inneholder oksygen i likhet med det nye vannet som tilføres, men jo lenger ned i jordlaget vannet kommer, jo mindre oksygen blir tilgjengelig for nedbrytning av organisk stoff. Da kan noen andre bakterier ta over nedbrytningen; slike som kan ta oksygen fra oksiderte jern- og manganforbindelser. Jern og mangan går da over til toverdige forbindelser, og disse er løselige i vann. I dette grunnvannet kan det også begynne seg rester av ikke fullstendig nedbrutt organisk stoff; som oftest lavmolekylært organisk stoff.

Grunnvann som pumpes opp fra slike brønner kan inneholde oppløste, toverdige jern- og manganforbindelser. Når vannet igjen kommer i kontakt med luft, som inneholder oksygen, vil de reduserte jern- og manganforbindelsene automatisk bli oksidert til stabile, faste forbindelser som felles ut i vannet. Når slikt vann distribueres til abonnentene, kan det komme klager om at vannet inneholder brune partikler. Hvis grunnvann med innhold av oppløste, reduserte jern- og manganforbindelser (Fe⁺⁺ og Mn⁺⁺) lagres i et basseng før det distribueres, vil en stor vannoverflate komme i kontakt med luft. Da vil disse reduserte forbindelsene bli oksidert til faste, vannuløselige forbindelser, og felles ut i bassenget som rustpartikler (Fe₂O₃) og brunstein (MnO₂).

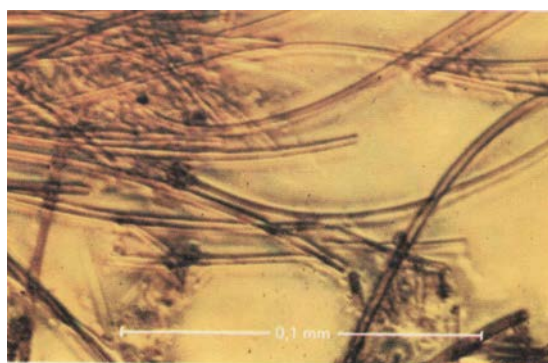
Men, i vann finnes det også mikroorganismer som kan benytte seg av energien fra denne oksidasjonen i sin formeringsprosess. Man mener at noen av disse kan benytte karbondioksid (CO₂) som karbonkilde til formeringen, men de fleste er antatt å trenge små

mengder av organisk stoff. De fleste bakterier i denne kategorien er omgitt av en hylse. Inne i den ligger stavformede bakterier, som regel en og en etter hverandre.

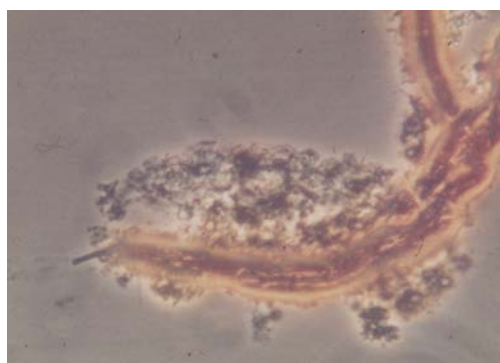
Det finnes flere varianter av slike bakterier, beskrevet i gammel litteratur. Slammet som måtte fjernes fra det nevnte lagringsbassenget i Berlin, inneholdt slam dannet av en jernoksidende bakterie som er gitt navnet *Leptothrix ochracea*. Andre "hylsebakterier" som oksiderer både jern- og manganforbindelser, er gitt navnene *Leptothrix discophora* og *Crenothrix polyspora*, men det finnes mange flere.

Ved planlegging av grunnvann som kilde til en drikkevannsforsyning, er det viktig at man unngår infiltrasjon fra områder der jordlagene inneholder vesentlige mengder av jern- og manganforbindelser.

Brunt slam med innhold av slike bakterier er også funnet i Norge, både ute i naturen og i forsyningsanlegg for drikkevann. Ved mikroskopering av slikt slam ser man ikke selve bakteriene, bare brune trådformede partikler. Hylsen er nemlig omgitt av et slimete belegg, tykt eller tynt, avhengig av art, og i dette slimlaget lagres oksidasjonsproduktene.



Figur 1: *Leptothrix ochracea*.



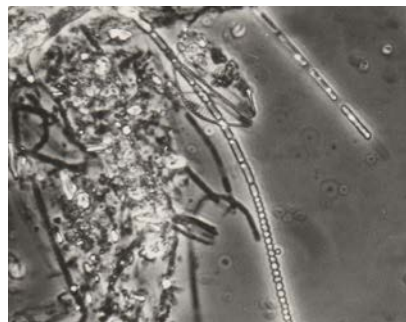
Figur 2: *Leptothrix discophora*.

Leptothrix ochracea er i Norge funnet i rustbrunt vann i små, stagnerende dammer ute i naturen (Fig.1). Slammet som ble dannet i det nevnte lagringsbassenget i Berlin, skyldtes vekst av *Leptothrix ochracea*. Hylsen har bare et tynt belegg.

Bakterier som ligner beskrivelse av *Leptothrix discophora* er funnet i spyleslam fra flere vannverk i Norge. (Fig. 2). Den er omgitt av et tykkere belegg. På figuren kan man imidlertid se en hylse uten belegg som stikker ut ved enden av bakterietråden.

Under en vedlikeholdsinspeksjon av demningen ved Kykkelsrud kraftverk i Glåma, ble det observert et brunt, slimet belegg på jernstengene i utløpet. Dette slammet viste også innhold av mørkebrune tråder ved mikroskopering.

Ved å tilsette en oksalsyre-reagens (Reag. 1.) til slike preparat, kan de brune oksidene fjernes, og hylsene med bakterieceller komme til syne. Dette slammet viste seg å inneholde hylsebakterier med utseende som *Crenothrix polyspora* fra eldre litteratur. Her ligger bakteriene som stavformede enheter i en del av hylsen, men går over i kuleform, som ble antatt å være "sporer" som kunne slippes ut av hylsen og starte ny vekst et annet sted. Derfor betegnelsen "*polyspora*".



Figur 3: *Crenothrix polyspora*.

I en tunnel som ble sprengt ut for å overføre vann fra Søndre Heggelivann til Trehørningen i Nordmarka (ved Oslo), ble det under arbeidet observert brune belegg der vann rant ut fra sprekker i fjellet. (Fig. 4). Prøver av forskjellige typer av dette slammet ble mikroskopert.

Denne veksten baserte seg på sigevann fra områdene over tunnelen. Slammet på de to venstre fotografiene viste seg å inneholde en mengde forskjellige bakterier; derav også hylsebakterier som oksiderer jern og mangan.



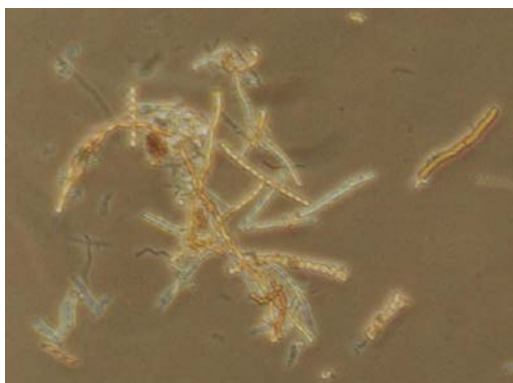
Figur 4: Vekst av brunt bakterieslam i vann fra sprekker i fjell. Redigert av Eyvind A. Andersen, FHI.

Slammet på fotoet til høyre, som hadde rustbrun farge, inneholdt som dominerende organisme, en som i eldre litteratur ble kalt *Gallionella ferruginea*. Den er der beskrevet som en nyreformet bakterie som holder seg fast til underlaget ved hjelp av tynne, tvunne tråder. Det ble også beskrevet at den kan danne rustbrune slimklumper på bart jern i kontakt med fuktig luft, og at den da forårsaker "grop-tæring" i jernet. Det var denne bakterien man mente at kunne være "kjemo-autotrof"; at den kunne benytte kjemisk oksidasjon som energikilde og karbondioksid fra luften som karbonkilde. Sigevannet fra denne bergsprekken må hatt innhold av oppløst toverdug jern, men kan også ha inneholdt organisk stoff.

Organismen kunne identifiseres som *Gallionella* på grunn av slammets innhold av rustbrune, tvunne tråder, lik dem på figur 5.

En nydannet, rustbrun slimklump som vokste på en stålbjelke i fuktig luft i et vannverk, viste seg å inneholde helt ny vekst av *Gallionella ferruginea* (Fig. 5). Figuren viser tvunne tråder med mer eller mindre belegg av jernoksid, men ingen nyreformede "hoder"/bakterier.

En "bløt rustknoll" ble innlevert til undersøkelse ved SINTEF (Selskapet for industriell og teknisk forskning ved Norges tekniske høgskole). Figur 6 viser, i større forstørrelse, resultatet etter fjerning av jernoksider: Tynne, tvunne tråder var til stede; men nyreformede bakterier var ikke festet til dem.



Figur 5: Nydannet vekst av *Gallionella*.



Figur 6: *Gallionella*-tråder etter avfarging med oksalsyreagens. Foto: Unni Steinsmo, SINTEF.

Uansett, *Gallionella ferruginea* er i stand til å feste seg på flater av jern, løse ut jern-ioner og omdanne dem til jernoksider, "rust".

Drikkevannsforsyning med overflatevann som kilde

Organisk stoff blir tilført vannkilder med avrenningsvann fra det omgivende nedbørsområdet. Fra skog og myrområder kan dette avrenningsvannet være brunfarget på grunn av organisk stoff som ikke lett lar seg nedbryte; humusstoffer. Organisk stoff kan også produseres i vannkilder, både som vannplanter, og som frittlevende alger (fytoplankton). De får næringssalter, som fosfor og nitrogen, fra jord og vann, og ved hjelp av fotosyntese produserer de det organiske stoffet de trenger fra karbondioksid i vannet. De betegnes som "foto-autotrofe" organismer. Fytoplankton er første ledd i næringskjeden i vann. Det blir spist av små dyr som igjen blir spist av større dyr, og til slutt av fisk.

Når planter og dyr i vannet dør, blir det organiske stoffet i disse nedbrutt av såkalte "heterotrofe" bakterier i vannet og i sedimentene. De skaffer seg både energi og organisk stoff ved å oksidere og nedbryte det organiske stoffet som befinner seg i vannet. I dype innsjøer deler vannet seg i to sjikt sommer og vinter på grunn av forskjeller i vanntemperatur. Overgangen kalles "sprangsjikt". Her kan det fremdeles finnes seg organisk stoff i vannet, men det kan bli mangel på oksygen, slik at jern og manganbakterier også får anledning til å formere seg. I slike sprangsjikt kan det etableres andre typer jern- og manganbakterier enn dem som er beskrevet i det foregående.

Til analyse av organisk stoff i vann finnes flere metoder, som avhenger av hvilken type organisk stoff man ønsker å bestemme. Betegnelsen "assimilerbart organisk stoff" (AOS) er et uttrykk for mengde lett nedbrytbart stoff i vannet, slikt som kan føre til rask biofilmdannelse i vannledninger. Mengden AOS kan bestemmes ved forskjellige spesialanalyser, for eksempel metoden kalt AOC, "Assimilerbart organisk karbon", eller parameteren "kjemisk oksygenforbruk" (COD). Sistnevnte metode vil imidlertid også inkludere organisk stoff som ikke er så lett nedbrytbart. En mye brukt indirekte metode til å bestemme mengden av AOS, er å måle vannets "kimtall" (se Referanser: Reagenser og metoder, punkt 2). Et høyt kimtall i vann betyr at vannet inneholder mange bakterier som ernærer seg av organisk stoff.

Den enkleste form for vannforsyning med overflatevann som kilde, kom fra inntak i bekker, elver og innsjøer fra områder med lite bebyggelse. Også såkalte "oppkommer" eller "kildevann" er blitt benyttet som vannkilde, spesielt på Vestlandet, der slike oppkommer gjerne finnes i ubefolkede områder mellom bratte fjell og jordbruksområdene nærmere sjøen. Dette vannet er mest sannsynlig sigevann fra sprekker i fjell, men det kan også bli påvirket av området det renner gjennom før det dukker opp som en "kilde" eller "oppkomme". Slikt vann ble ofte ført i ledninger til bruk for vanning av store frukthager. Da var det lett å kople til en ledning for å forsyne boligene på eiendommen med drikkevann. Vann fra slike oppkommer kunne samles i et større reservoar, til bruk både for vanning av frukthager og drikkevann til befolkningen i området. Dette var tilfelle i et område i Hordaland, men der gikk husdyr på beite i området rundt oppkommene. Vannet kunne jo ikke kloreres fordi det også skulle brukes til vanning av frukthagene. Ifølge kommunelegen holdt den lokale befolkningen seg friske, mens tilreisende og nyankomne ble plaget med diaré, i likhet med ham og hans familie da de flyttet dit. Noen av beitedyrene drakk av et oppkomme og la igjen avføring i området rundt.

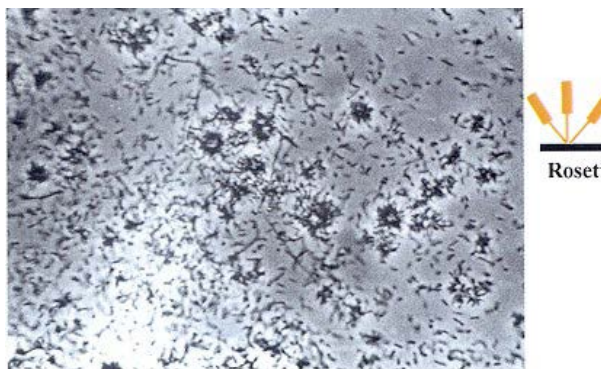
Den vanligste råvannkilde for produksjon av drikkevann her i landet er imidlertid regulerte innsjøer utenfor tettbebyggelser, hvor området i dens umiddelbare nærhet beskyttes mot ferdsel av mennesker og dyr. Tilstrekkelig behandling kunne være at vannet

gjennomgikk grovsiling og lettklorering før det ble sendt ut i ledningsnett. Denne kloreringen er ikke tilstrekkelig til å inaktivere alle mikroorganismer i vannet, men kunne inaktivere de vanligste smittestoffer, som ikke hører hjemme i vannet.

De fleste norske innsjøer vil inneholde noe brunt humusstoff. Dette består av kompliserte organiske forbindelser som ikke så lett lar seg nedbryte av bakterier i jorden. I innsjøer med kort oppholdstid for vannet, rekker ikke humusstoffene å bli brutt ned før vannet forlater innsjøen, og vannet har fortsatt en gulbrun farge. I kaldt vann går nedbrytningen saktere enn i varmere vann. Mange norske innsjøer i skogs- og fjellområder er humusholdige. Humusstoffene er ikke fullstendig oppløst i vannet, de foreligger i såkalt kolloidal oppløsning. Dette gjør at de lett kleber seg til flater, og danner et fastsittende, mørkebrunt belegg, også på de innvendige flatene i vannledninger.

Belegget gjør det også lettere for enkelte såkalte vannbakterier å feste seg til rørveggen, men noen kan også feste seg uten at det først er dannet et humusbelegg. En slik mikroorganisme er vist i figur 7. Denne ble funnet i fuktig slam på veggen i den nevnte tunnelen for overføring av vann fra Heggelivann til Trehørningen.

Under mikroskopet kunne man se at den dannet små kolonier, som liknet kolonier av bakterier beskrevet i litteraturen som *Caulobacter*. Disse fester seg til flater ved hjelp av en tråd, og i enden av tråden sitter selve bakterien. Den deler seg som normalt i to, og den nye løsner og kan starte en koloni et annet sted. Flere bakterier vokser ut fra samme punkt; de danner "rosetter", og det antas at de ernærer seg av AOS.

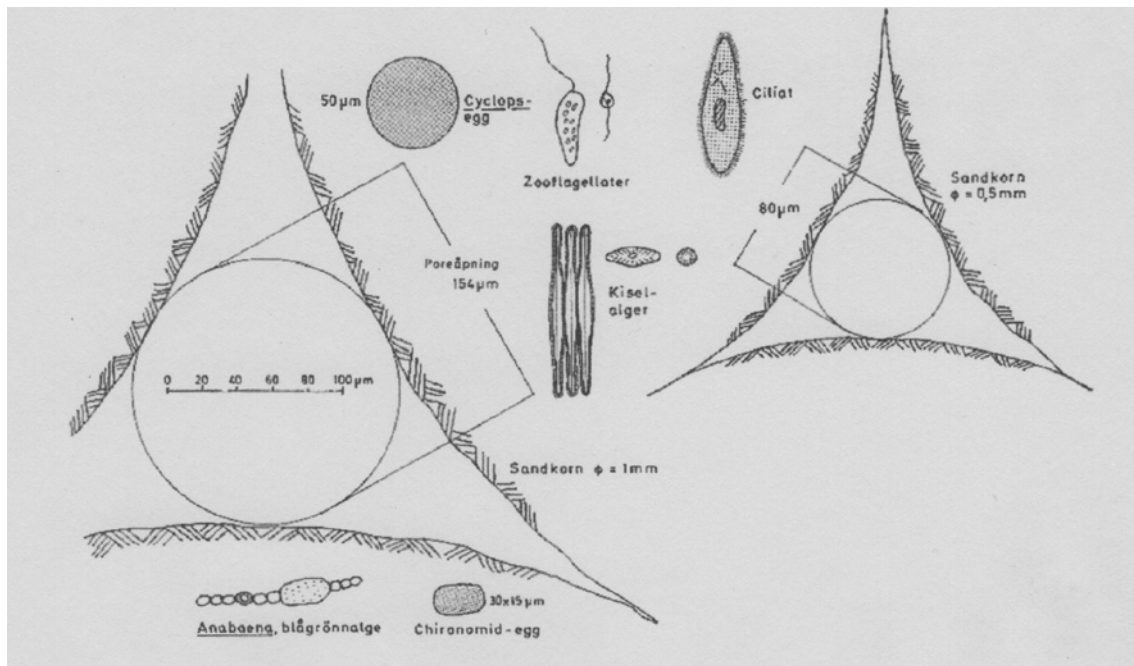


Figur 7: Rosetter av *Caulobacter*
Redigert av Eyvind A. Andersen, FHI.

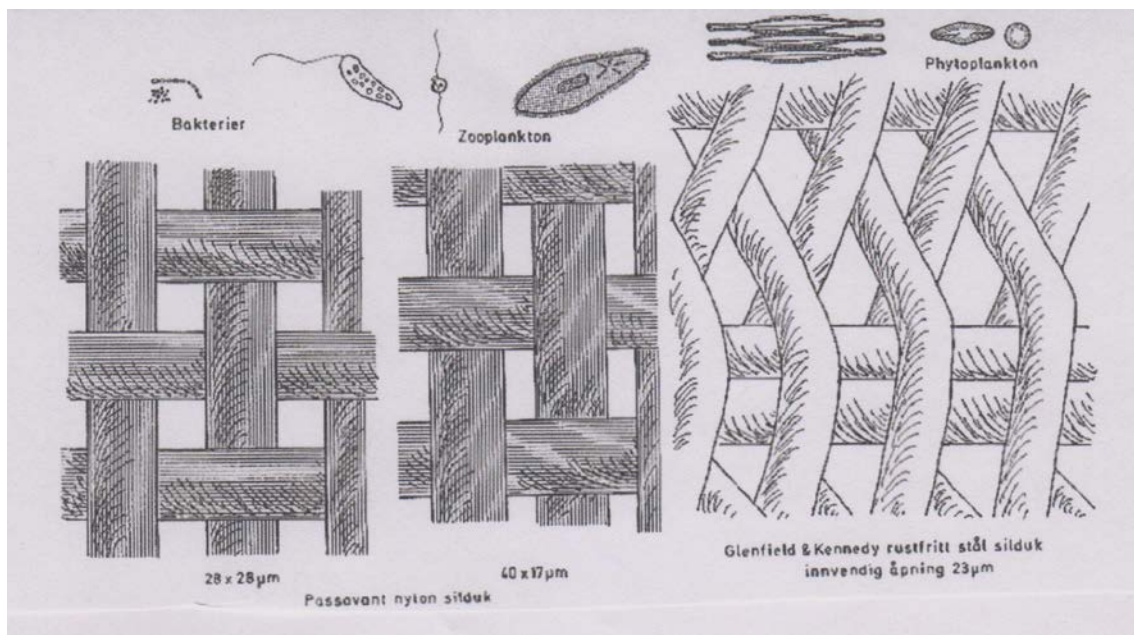
I slam som er etablert på ledningsveggene kan også andre mikroorganismer, som kommer inn med vannet, etablere seg og ernære seg av slammet. De er så små at de kan passere både sandfiltrering og mikrosiling. Figur 8 på neste side viser slike organismer som kan passere sandfiltre.

Øverst i figurens venstre hjørne ses et *Cyclops*-egg. Dette kan utvikle seg i slammet til en larve som kalles Nauplius, vist på figur 11. Zooflagellater og ciliater er heterotrofe organismer som ernærer seg av organisk stoff (AOS), men kiselalgene og blågrønnalgen *Anabaena*, som blir produsert i vannkilden ved hjelp av sollys, er fotoautotrofe, og kan ikke formere seg i drikkevannsslamm. *Chironomid*-egget på figuren vil først utvikle seg til en larve, vist på figur 16.

Lar man råvannet gjennomgå en mikrosilingsprosess i stedet for sandfiltrering, vil nok færre mikroorganismer fra råvannet passere filteret, men tilstrekkelig mange vil kunne passere og utvikle seg i slam på ledningsveggene.



Figur 8: Relative størrelsesforhold mellom poreåpningen i idealiserte sandkorn og noen akvatiske mikroorganismer.



Figur 9: Relative størrelsesforhold mellom maskevidde for forskjellige mikrosilduker og noen akvatiske mikroorganismer.

I figur 9 er det, i tillegg til fytoplankton og zooplankton, også skissert størrelse på bakterier, for å vise hvorfor slike lett passerer også mikrosiler.

Smådyra spiser bakterier, eventuelle sopp, og hverandre. Først når de andre mikroorganismene er godt etablert, avgir belegget bakterier som kan analyseres som kintall. Da kan smådyr som lever der, også komme ut i vannet.

En ny metode til å redusere brun farge på råvannet ble utprøvd ved et vannverk i Norge. I råvannsbassenget, etter siling, ble ozongass boblet gjennom vannet. Resultat: Helt klart

vann. Ozoneringen hadde vært vellykket! Men, det ingen visste, var at ozoneringen ikke hadde fjernet alt organisk stoff fra vannet, men at en stor del var blitt overført til lavmolekylært AOS. Etter en tid kom ulempen - massiv slamdannelse i ledningsnettets!

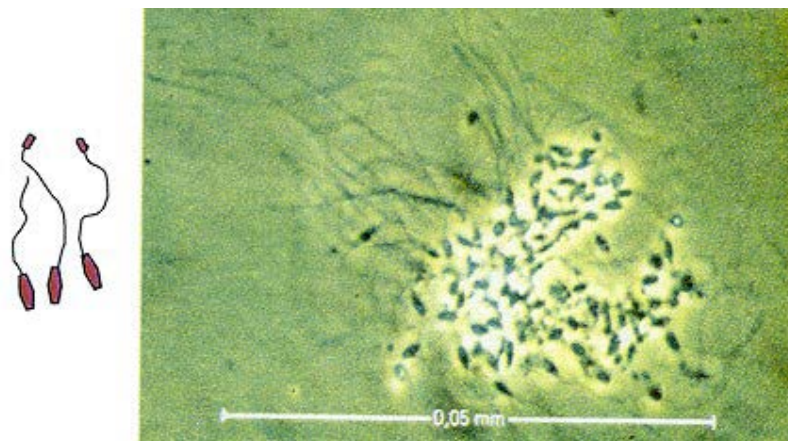


Fig. 10: En koloni av bakterien *Hypomicrobium*, Redigert av Eyvind A. Andersen, FHI.

Slammet var dominert av en bakterie som antakelig vokste fastsittende i store kolonier, og ut fra kolonien strakte det seg lange tråder. Bilder av en liknende type bakterie, funnet på veggene i kraftverksledninger på Tasmania, var vist i en samtidig publikasjon av Tyler og Mashall. En prøve av vårt slam ble sendt til dem, og de bekreftet at det var samme organisme: *Hyphomicrobium*. Den danner store fastsittende kolonier, og formerer seg ved å produsere lange protoplasmatråder med nye celler i enden av de lange trådene. De nye cellene løsrives og kan starte slamdannelse et annet sted.

Hyphomicrobium kan bare benytte organisk stoff med én til to karbonatomer, så slike måtte ha blitt dannet ved ozoneringen. Kolonier av denne bakterien fanger med letthet opp svevende partikler i vannet. Vårt slam viste stor anrikning av mangandioksid, men vannet inneholdt under 0,05 mg mangan per liter. På grunn av ozoneringen, der alt innhold av eventuelt redusert jern og mangan vil bli oksidert, kunne ikke disse bakteriene selv ha oksidert manganet. Anrikningen måtte skyldes at selv et lavt innhold av mangandioksider i vannet ble fanget opp i bakterienettet.

Vannverket som ble utsatt for slik løsrivelse av slam, måtte utføre spyling av ledningsnettets hver gang problemet ble for stort. Løsningen på slike problem, som skyldes vannets høye innhold av AOS, er at vannet i vannbehandlingsanlegget får gjennomgå behandling i en "bioreaktor", der bakterier som nedbryter AOS og danner slam, gjør dette i anlegget før vannet slippes ut i ledningene.

Ledningsvann som inneholder AOS kan også skape problem hos abonnentene. På veggene i dusjkabinett, eller på dusjgardiner, kan det bli dannet et slimete belegg; noen ganger med lys rød farge. Mikroskopering av sistnevnte type slam viste at det besto av tett vekst av stavformede bakterier, uten festetråder. Det er mulig at slike bakterier også kan ernære seg av såperester på slike flater. Beste måte til å forhindre slik slamdannelse, er å holde slike flater så tørre som mulig etter dusjing.

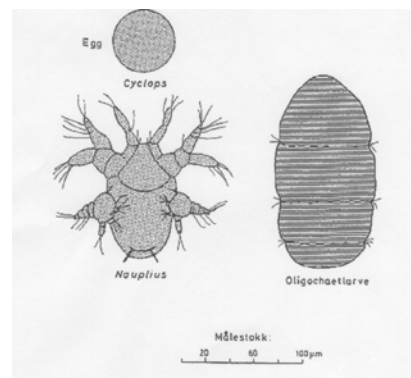
Etter at noen personer ble syke etter infeksjon med parasitten *Giardia lamblia*, og det viste seg at denne var til stede i klorert ledningsvann fra vannverket, ble det funnet at denne parasitten ikke ble inaktivert ved kloreringen. Parasitten var ikke før funnet i drikkevann i Norge, men dette råvannet kom fra et område i fjellet med en del turistaktivitet. Denne parasitten, og eventuelle andre aktuelle, blir imidlertid inaktivert ved bestråling med

ultrafiolett (UV) lys. Nå benytter de største vannverkene her i landet, med råvann fra overflatevann, mer avanserte behandlingsmetoder før vannet slippes ut i ledningene. Organisk stoff kan fjernes ved en såkalt fullrensingsprosess, surt vann blir alkalisert ved hjelp av kalk, og til slutt blir eventuelle, gjenværende smittestoffer inaktivert ved at vannet bestråles med ultrafiolett lys.

Det tilsettes fortsatt litt klor til vannet, for å forhindre vekst på veggene i ledningsnett, men vannet kan fortsatt inneholde små mengder AOS, og mikroorganismer finnes over alt.

Smådyr som kan leve i belegg i vannledninger, og i brønner

Mange alger og smådyr er så små at de passerer både sandfiltre og mikrosilduker. Dette er illustrert i figurene 8 og 9. Det vil også være mikrober som slipper uskadd gjennom noen desinfeksjonsprosesser, eller som kommer inn via utettheter i ledningsnett. Hvis det i ledningsnett er dannet en film av humusstoffer og/eller fastsittende bakterier, vil andre bakterier, sporer av mikrosopp, egg og larver av smådyr, samt alle slags partikler som føres med vannet fra vannkilden, kunne feste seg i det dannede belegget. Smådyrene vil da kunne leve og formere deg der. Protozoer er de første til å etablere seg. Eksempler på slike protozoer (flagellater og ciliater) er vist i figurene 8 og 9. De spiser bakterier.



Figur 11: Egg av *Cyclops* og larve kalt *Nauplius*, og en *Oligochaet*-larve. Målestokk 20 – 100 µm.

Neste størrelse av mikrober er slike som har egg og larvestadium i vann. Noen av de minste er vist i figur 11. Et egg av *Cyclops*, her øverst til venstre, ble også vist i figur 8 for å vise størrelse i forhold til sandfiltre.

Egget utvikler seg først til en *Nauplius*-larve, og siste stadium av *Cyclops* ute i naturen er en "Hoppekreps", vist på figur 14.

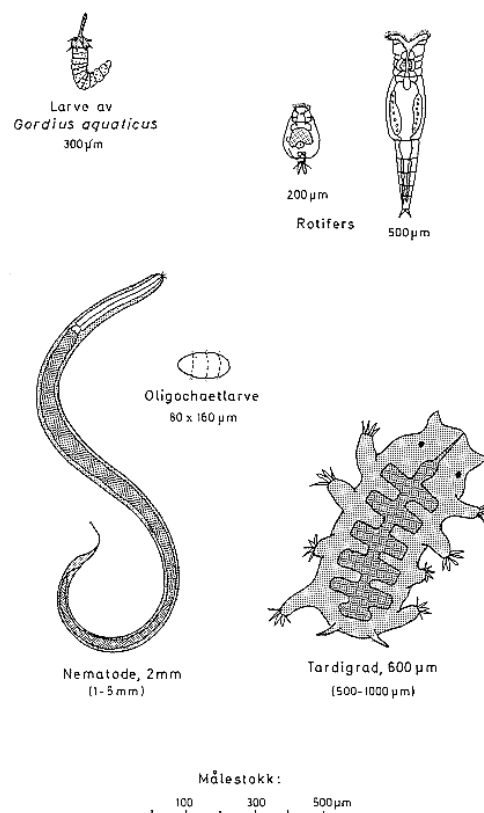
Oligochaet-larven vil utvikle seg til en "mark" som kan fortsette å leve i slammet.

Neste størrelsesorden er vist i figur 12.

Øverst til venstre er det vist en larve av *Gordius aquaticus*, tilhørende genus *Nematomorpha*. Den har en meget spesiell livssyklus som beskrives i det etterfølgende.

De to øverst til høyre er voksne individer av såkalte rotifers, vanligvis fra 200 til 500 mikrometer lange. De har vist tilstedeværelse i vannverksslam; de kan leve av organisk stoff under nedbrytning, og av phytoplankton i vannmasser. Navnet *Rotifer* har de fått fordi de har en krans av *cilia*, tynne tråder, rundt munnåpningen. Disse trådene kan noen arter bevege så raskt at det ser ut som om hele dyret roterer. De kalles også "hjuldyr".

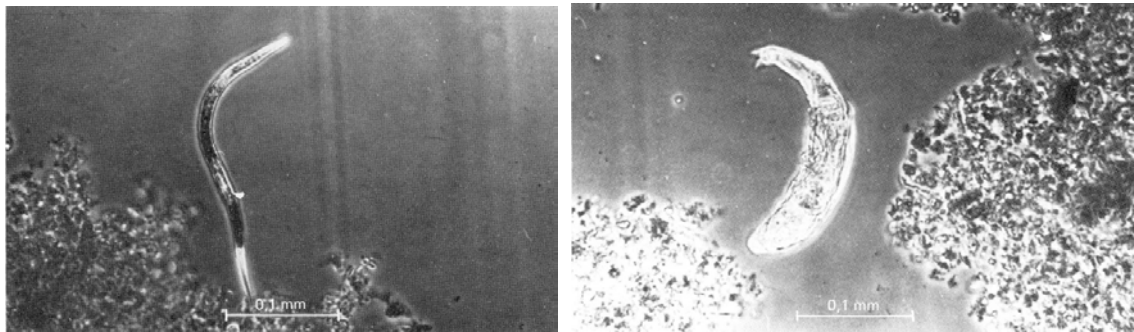
Nematoder tilhører klassen av rundormer. Mange er planteparasitter, men slike som finnes i slam fra vannledninger, ernærer seg av det organiske stoffet i slammet. De er avhengig av fuktighet; vann, for å bevege seg. De kan være fra 1 til 5 mm lange.



Figur 12: Larve av *Gordius aquaticus*, to eksemplarer av Rotifers, Oligochaet-larve, Nematode, og en Tardigrad. Målestokk: 100-300-500 µm.

Tardigrader, også kalt "bjørnedyr", kan leve av både planteceller og små dyr, som hjuldyr, leddormer og rundormer. De kan også være så små, eller ha så små egg, at de kan passere både sandfiltre og mikrosiler.

Rotatorier og bjørnedyr finnes også i aktivslam fra behandlingsanlegg for avløpsvann.



Figur 13: Foto av nematode, og til høyre av et "hjuldyr" (*Rotifer*) i ledningsslam. Foto: Harry Efraimsen, NIVA.

Figur 13 viser fotografier av nematode og hjuldyr funnet i norsk ledningsslam. Begge disse er bevegelige og kan derfor bli lagt merke til i slammet, selv om de er små.

Dette er de vanligste mikrodyra i vannverksslam. Noen er så små at vi vanligvis ikke legger merke til dem om de kommer ut i ledningsvannet, men de påvises ved mikroskopering av slam. De spiser slam med bakterier og protozoer.

I slam som blir liggende i "bakevjer" i lednings-nettet, for eksempel ved anboringer, kan innholdet av smådyr bli høyt, også av opptil 5 mm lange nematoder. Når innholdet av slike smådyr blir høyt, vil slamdannelsen som oftest ha kommet så langt at også sopp og vanlige heterotrofe bakterier kan ha etablert seg. Disse vil løsrives og føre til at det blir registrert høyt kimtall i vannet. Drikkevannsforskriftens tiltaksgrense for denne parameteren er satt ut fra erfaringen om at hvis den stadig overskrides, er det på tide å fjerne slam fra ledningsnettet.

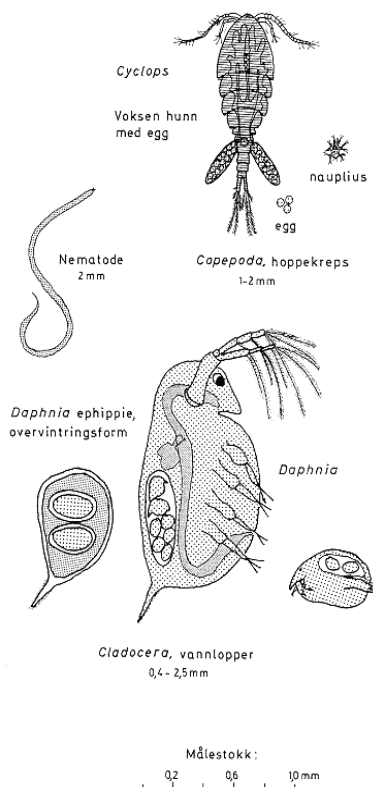
Større dyr som kan finnes i slam i drikkevannsledninger og i brønner

I eldre begroingsslam kan også krepssdyr komme til utvikling, slike som hoppekreps, vannlopper, tanglopper og gråsugger. Disse, som de fleste andre dyr som kan utvikle seg i vannverksslam, kommer inn som egg eller larver. De beveger seg ut og inn av slammet, og de minste har også tendens til å trives godt på partikkelsiden av siler.

Øverst på figur 14 vises et voksent individ av en "hoppekreps", *Cyclops*, med to "egg-posere" ved halen, og egg og larve *Nauplius* ved siden, også illustrert i figur 12. Vanlig størrelse, 1-2 mm.

Cyclops-artene er tallrike og en viktig del av plankton i ferskvann. De tilhører en slekt av hoppekreps fra ordenen *Cyclopoida*. Artene er utbredt i ferskvann over hele verden.

De nederste figurene er en *Daphnia* med utviklingsstadier, fra 0,4 til 2,5 millimeter i størrelse. Den viste "ephippie" er en overvintringsform. *Daphnia* hører til under ordenen *Cladocera*, småkrepsklassen, som også kalles "vannlopper". En nematode er tatt med også her, for å vise forskjell i størrelse fra figur 12.

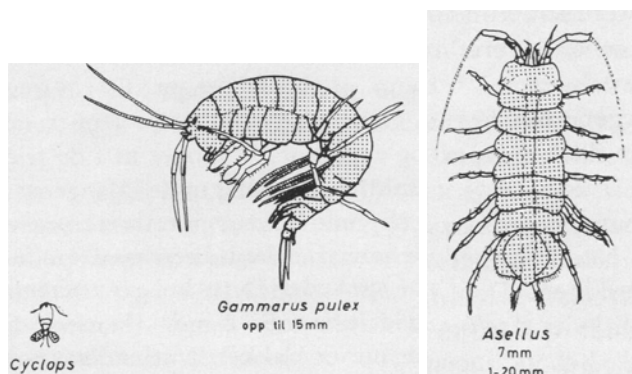


Figur 14: Hoppekreps (*Cyclops*) med egg og larve, nematode, og diverse stadier av vannlopper, *Cladocera*.

Neste størrelse er vist på figur 15, og disse smådyrene er store nok til å bli lagt merke til i slammet. En voksen *Cyclops*, "hoppekreps" er tatt med som referanse til størrelse.

Til venstre vises ei tangloppe, til høyre ei gråsugge. Begge tilhører phylum *Arthropoda*, subphylum *Crustacea*, men tangloppa tilhører genus *Gammarus* og gråsugga genus *Asellus*. Tangloppene betegnes også som "storkreps" i motsetning til vannloppene som kalles "småkreps".

De fleste artene holder til i saltvann; ca 400 arter langs Norges kyster. Fem arter lever i ferskvann. Tanglopper er forholdsvis små krepssdyr. Maksimal lengde er avhengig av kjønn. Hannen kan bli opptil 21 mm lang, men hunnen bare opptil 14 mm. De svømmer langs rørveggen og spiser andre smådyr, bakterier og algerester. De kan leve i 1-2 år, og formerer seg raskt. Deres avføring kan føre



Figur 15: Tangloppe *Gammarus* og gråsugge *Asellus*, med en liten *Cyclops* til sammenlikning av størrelse.

til klager over skittent vann. Tangloppene holder seg ikke fast til rørveggen, og kan fjernes ved spyling hvis vannhastigheten er høy nok. En undersøkelse over hvilke dyr som var til stede i britiske vannledningsnett, viste at disse relativt store krepsdyrene var til stede i store mengder, men at det var gråsuggene ("water louse" på engelsk), som skapte de største problemene.

Gråsugger er vanligvis 5-7 mm lange, men kan bli opptil 20 mm. Selv om nettet er sterkt infisert med gråsugger, kommer de sjelden ut i vannet, fordi de holder seg godt fast på rørveggen. De er storetere, og kan sluke vesentlige mengder rust sammen med organisk materiale. De produserer også store mengder avføring, som fører til klager over skittent vann i infiserte ledningsnett. Døde dyr i vannet bidrar også til klagene, og klagene kommer i perioder som henger sammen med gråsuggenes livssyklus. De har to paringssesonger årlig, hvoretter de voksne dyrene dør. Første klageperiode er april-mai, andre i september-oktober.

Fordi gråsuggene holder seg så sterkt fast, lar de seg ikke fjerne ved spyling. De fjernes best ved at det før spylingen tilsettes et stoff som lammer dem, slik at de slipper taket i rørveggen. Skall av døde krepsdyr er meget motstandsdyktige mot nedbrytning. De danner ofte ansamlinger i assosiasjon med rust, og slammet blir av den grunn brunfarget og kan føre til klager over skittent vann. Blir de liggende i ledningsnettet, kan de nedbrytes av organismer som produserer vond lukt og smak.

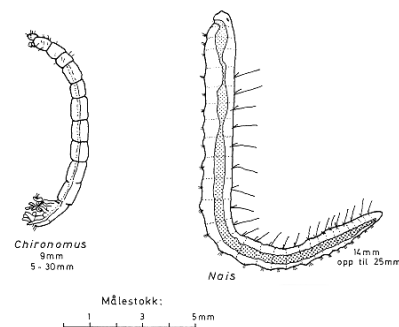
Dyr som hoppekreps, vannlopper, tanglopper og gråsugger kommer inn som egg eller larver. Det samme er tilfelle for større dyr. To av disse er vist i figur 16.

Til venstre en fjærmygglarve og til høyre en "fåbørstemark". Disse tilhører to forskjellige dyreklasser. Fjærmyggen tilhører insekt-klassen, familie *Chironomidae*.

Fåbørstemarken tilhører phylum Annelida, "leddormene, klasse *Oligocheta*, der også meitemarken hører hjemme, men i en annen "orden" kalt *Tubificidae*. Der tilhører den familien *Naididae* og slekten *Nais*.

En annen mark, som også kan ha tilhold i slikt slam, tilhører samme orden, men familien *Tubificidae*. Det er den røde *Tubifex*, som også omtales i det etterfølgende.

Fjærmygg (*Chironomidae*) er den mest artsrike dyregruppen i ferskvann i Norge. Den legger egg og har larver som utvikler seg i vann. Larvene (chironomider) utgjør et viktig bindeledd i omsetningen av næringsstoffer i innsjøer og elver. De kan komme inn i råvannsledninger som egg, eller myggen kan legge sine egg direkte i dårlig beskyttede bassenger. Larvene kan være røde, grønne eller hvite av farge. Et typisk eksempel er den røde *Chironomus*, som kan bli 25 mm lang. Som mygg er den bare 5 mm lang. Hvis denne larven lever på steder med lite oksygen, for eksempel i slam under nedbrytning eller i et oksygenfattig "sprangsjikt" i dype innsjøer, kan den anrike kroppen med rødt hemoglobin, som hjelper den til å ta opp nok oksygen, selv om innholdet i omgivelsene er lavt. Larven kan ikke utvikle seg til ferdig insekt i slam i vannledninger; den må opp i en vannflate og omdannes til en fjærmygg.



Figur 16. Larve av fjærmygg (*Chironomus*) og fåbørstemark (*Nais*).

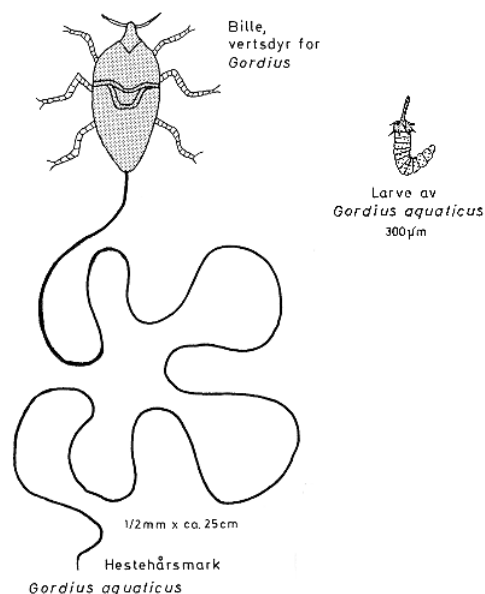
Fåbørstemarkar fra familien *Naididae*, finnes ofte i spyleslam fra norske vannverk. Disse kommer inn som egg. Marker fra slekten *Nais* kan dele seg opptil én gang hver tredje dag, slik at ett individ er blitt til 1000 i løpet av en måned. De ernærer seg av sedimenter og belegg på rørveggene, og kan bli opptil 25 mm lange. De beveger seg ut og inn av slammet, og de minste har også tendens til å trives godt på partikkelsiden av siler. Flere typer fåbørstemark kan utvikle seg i ledningsslam eller finnes i brønnvann, og de største er godt synlige. De er mest aktive i perioder med varmt vann i ledningene. Ved inntak av temperaturpåvirket råvann, vil aktiviteten være høyest i perioden fra mai til oktober.

To andre marker som kan leve i slam, er slike som vanligvis lever i naturen i vann eller slam med lavt oksygeninnhold. Den ene er den foran nevnte røde *Tubifex*. Den har vanligvis seksuell formering, og på steder der det er lite oksygen ute i naturen, kan de påtreffes i store ansamlinger. Den andre er brønntrådmarken, *Haplotaxis gordioides*. Den er tynn og bevegelig og kan bli opptil 30 cm lang. Den lever i myrer og elveslam, men kan også finnes i brønner og vannledninger.

Påtreffes de i slam i vannledninger eller i bassenger, betyr det at store mengder slam er under nedbrytning, noe som kan føre til vond lukt og smak på vannet. Disse oligochaetene fjernes effektivt ved spyling, men for å forhindre ytterligere infisering ved enkelte som ikke er blitt spylt ut, anvendes gjerne klorering med høye klordoser under og en stund etter spylingen.

Taglormer (*Gordius* på figur 17)) er en annen type "lang, tynn mark". De finnes i ferskvann, i større vassdrag om våren og sommeren under parringstiden, men også ved strender, i kilder og dreneringsgrøfter, og er også funnet i brønner. De har en diameter på noen få millimeter, men kan bli flere desimeter lange. De har også en tendens til å krølle seg sammen til et "nøste" som kan likne på en "gordisk knute", derav navnet *Gordius*.

De beveger seg langsomt. I Mellom-Europa finnes 40-50 arter beskrevet i gammel litteratur. Taglormer finnes utbredt over store deler av Norge, men uten at en kjenner artene. *Gordius aquaticus* er det navn man vanligvis forbinder med taglorm som er funnet i brønnvann, både i Norge og i utlandet. *Gordius aquaticus* er ca. 0,5 mm bred men kan bli 12-35 cm lang. Taglormens egg klekkes til larver. Disse kan komme inn med råvannet i et vannverk, og der bli fanget opp i belegg på ledningsveggene. Larven kan ikke utvikle seg til voksent individ i belegget. Den må bli spist av andre larver i vannet, for eksempel en mygglarve. Larven kan heller ikke utvikle seg til voksent individ i mygglarven, så den er avhengig av at mygglarven blir spist av et større rovinsekt, helst av en vannkalv (*Dystiscus*). Når taglormen er ferdig utviklet, borrer ormen seg gjennom den tynne huden bak på vannkalvens kropp, og kryper ut, se figur 17. Fargen er svart, og ifølge folketroen på 15-hundretallet utviklet disse seg fra hestehår som falt i vannet når hestene drakk vann fra åpne brønner. Markene ble derfor kalt "hestehårs-mark"; et navn de fortsatt har i dag.



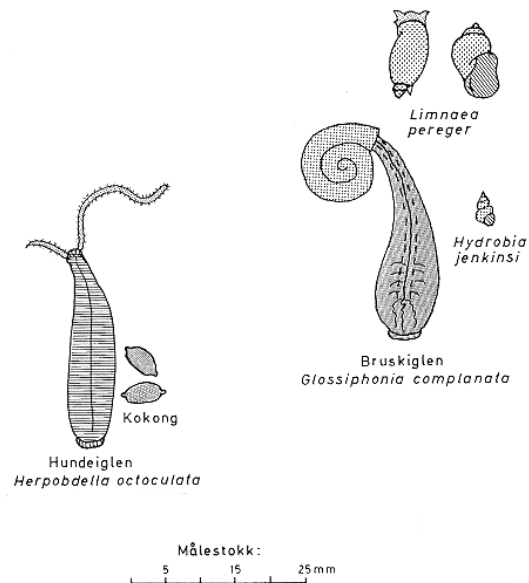
Figur 17: Larve og voksent individ av taglormen *Gordius aquaticus*.

Taglormen svømmer i vann til den finner en annen taglorm å pare seg med. Hvis larven blir liggende i tørrlagt strandkant, kapsler den seg inn slik at den ikke tørker ut. Den kan da bli spist av et landinsekt, for eksempel en gresshoppe, og utvikler seg i den. Gresshopper har vanligvis ingen trang til å nærme seg vann, men når taglormen er klar til å kripe ut, går gresshoppa ned til vannet! Hvis en taglorm blir funnet i drikkevannsnettet eller i en brønn, må den ha blitt ført dit av insektet den utviklet seg i. I et distribusjonsnett vil det mest sannsynlige sted å finne den, være i et utilstrekkelig beskyttet utjevnings- eller høydebasseng.

Figur 18 viser snegler og igler som kan ernære seg av smådyr i slam.

Fjærmygglarver og fåbørstemarken er mat for igler, for eksempel for hundeiglen *Erpobdella octoculata*. Bruskiglen *Glossiphonia complanata* er spesialist i å suge ut kroppsvæske fra andre dyr, for eksempel fra den lille damsneglen *Limnaea pereger*. Tilstedeværelse av igler tyder på rikelig forekomst av dyr i ledningsnettet, og at nettet er overmodent for rengjøring. Hundeiglen er funnet i norske ledningsnett, og begge de nevnte er funnet i engelske nett.

Innsjøsneglen *Limnaea pereger* er funnet både i norske og engelske vannledninger, men i England viste også en annen snegl, "Jenkin's spire shell" (*Hydrobia jenkinsi*), hyppig forekomst. Disse sneglene ernærer seg av sedimentert organisk materiale og av begroing på ledningsveggene.



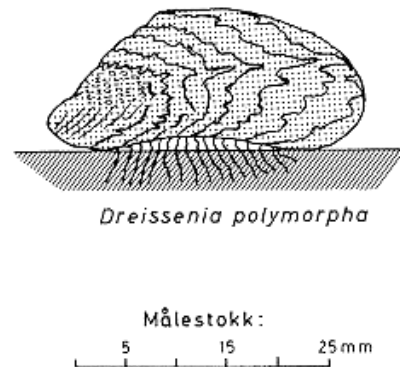
Figur 18: Snegler og igler som kan finnes i vann. Målestokk 5-15-25 mm.

Partikulært stoff – Blokkering av ledninger

Vann med innhold av partikulært organisk stoff, for eksempel planktoniske alger, er næringsstoff for dyr som filtrerer partiklene ut fra vannet. Noen av disse kan etablere seg i vannforsyningsanlegg.

Muslinger

I USA har den asiatiske muslingen *Corbicula fluminea* spredd seg meget raskt fra California til de sørøstlige deler av landet, og blitt en stor plage, spesielt i ledninger for irrigasjonsvann til landbruket. Den ble antakelig brakt til USA for bruk i akvarier. I England er muslingen *Dreissena polymorpha* funnet i drikkevannsledninger. Den kalles også "vandremusling", og "sebramusling" fordi den har striper på skallet, se figur 19. Muslinger har også vært funnet i danske ledningsnett, og i Norge er den funnet i vanninntak til industribedrifter. Fra England er det rapportert at en vannverksledning fikk indre diameter redusert fra 900 til 200 mm på grunn av etablering av muslinger. Slike muslinger sitter godt festet til veggene også etter at de er døde, og nedbrytningen av dem fører til vond lukt og smak på vannet.

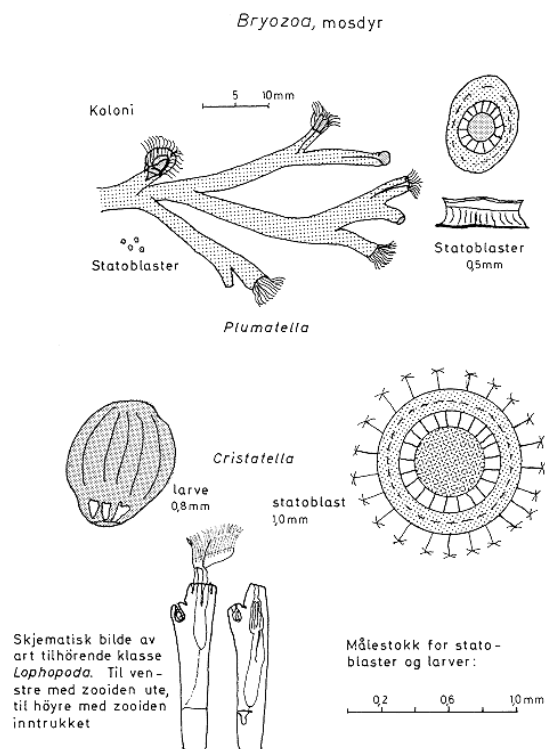


Figur 19: Musling funnet i drikkevannsledninger.

Mosdyr og svamper

Da det før i tiden her i landet var vanlig med bare grovsiling og lettklorering av drikkevann, kunne man i forsyningsnettene finne slike organismer som man ellers bare fant i råvannsledninger, for eksempel mosdyr, *Bryozoa*, vist i figur 20, og *Poryfera*, ferskvannssvamper, vist i figur 21. De kan etablere seg i nett hvor vannet har høyt innhold av partikulært organisk stoff. Dette er vanlig forekommende organismer i Norge. Mosdyrene *Plumatella* og *Cristatella*, som er vist på figur 20, kan danne tette kolonier som medfører tilstopping av rørene. I England er de også funnet i grusen i dreneringsgrøfter for hurtige sandfiltre. De ernærer seg av kiselalger og protozoer i vannet.

Øverst på figur 20 vises mosdyret *Plumatella*. Både mosdyr og svamper gjennomgår et hvilestadium om vinteren. Mosdyrene danner brune "statoblaster",

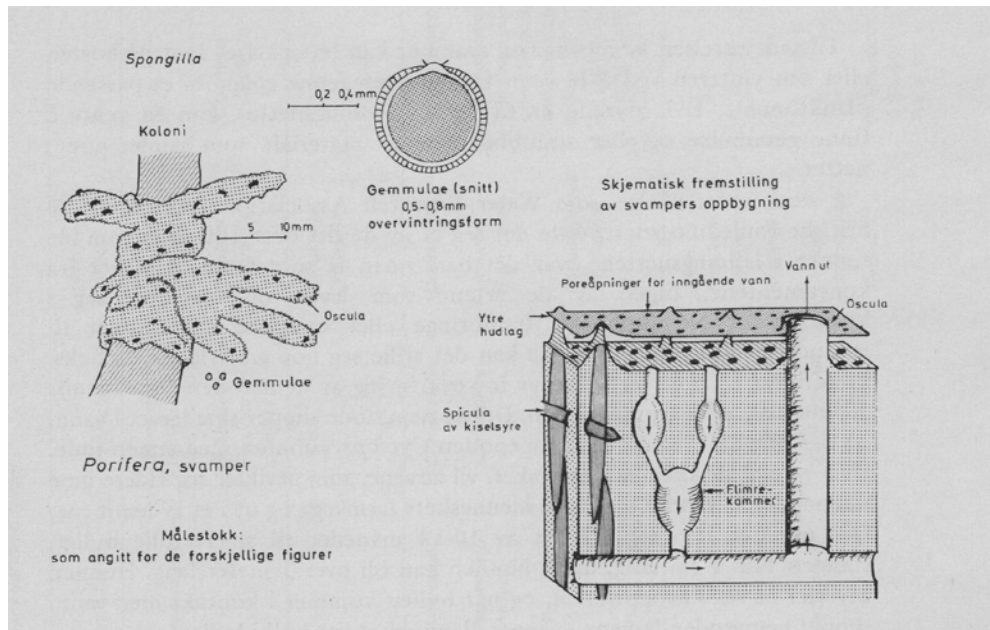


Figur 20: Mosdyrene *Plumatella* og *Cristatella*.

og svampene danner "gemmulae". Nederst på figur 20 vises en statoblast og en larve av mosdyret *Cristatella*.

Nederst til venstre vises en annen type mosdyr som fanger partikler i vannet med tentakler som her er kalt "zooide", men i nyere litteratur betegnet "lophophore".

Når statoblaster og gemmulae er dannet, dør resten av dyret, og i nedbrytningsperioden kan det føre til vond lukt og smak på vannet. Mosdyrenes pergamentliknende hylstre blir sittende igjen på veggene og kan bare fjernes ved kraftig skraping.



Figur 21: Eksempler på *Poryfera*, svamper.

Figur 21 viser til venstre en tegning av svampen *Spongilla*. Denne svampen har gul-orange *gem-mulae* som kan se ut som fiskerogn. Tilstedeværelse av separate *gemmulae* i vannet merkes ikke.

Nederst til høyre er det vist en skjematisk framstilling av svampers oppbygning. Svampene tar inn vann gjennom små porer på overflaten og pumper det gjennom sitt indre ved hjelp av små flimmerhår, i såkalte flimrekamre".

De ernærer seg av partikler som frafiltreres. Svampenes skjelett er bygd opp av små kiselsyrenåler, *spiculae*. Omtrent 1/3 av svampens vekt kan være kiselsyre. Svampen vokser på fast underlag som en skorpe, og kan ha fingerlange utvekster.

Substansen i det ytre hudlaget rundt svampen, og inne i hulrom og kanaler kalles *epitel*. Innenfor epitelvevet finnes celler som utfører livsoppgavene som kreves av et dyr – fordøyelse, ekskresjon, respirasjon, formering m.m. Svampene er effektive vannrensere. Om sommeren kan et fingerstort eksemplar av *Spongilla lacustris* filtrere mer enn 125 liter vann per dag.

Mosdyr og svamper ernærer seg av partikulært organisk stoff, som indirekte kan analyseres som vannets turbiditet. Et kjent volum vann filtreres gjennom et glassfiberfilter, og filteret analyseres så for "tørrstoff" (turbiditet) og "gløderest". Tørrstoff angir mengde frafiltrerte partikler, og gløderest andelen av dette som er uorganiske partikler. Differansen mellom tørrstoff og gløderest vil hovedsakelig utgjøres av organisk stoff, som er mat for disse dyrene.

Hvis vannet tilfredsstiller drikkevannsforskriftens krav til turbiditet ut fra behandlingsanlegget, er det lite sannsynlig at disse organismene vil kunne etablere seg i distribusjonsnett. I råvannsledninger med overflatevann som vannkilde vil de imidlertid kunne etableres. Tilstedeværelse av mosdyr og svamper kan lett påvises sent på høsten eller om vinteren ved å la vannet passere gjennom et passende planktonnett, silduk eller et ikke for tett bomullsstoff. Hvis dyrene er til stede i vannet, kan en vente å finne *gemmulae* og/eller *statoblaster* i det frafiltrerte materialet.



Figur 22: *Spongilla lacustris* med *Gemmulae*.

Vårfluelarver

Vårfluelarver ernærer seg også av partikulært organisk stoff. De spinner fangstnett på faste overflater, der de sitter og filtrerer partikler fra vannet. Fangstnettet kan føre til at rister og siler tettes. Larver og nett har også vært funnet inne i ledninger, men som for mosdyr og svamper, er det lite sannsynlig at de vil kunne etableres i distribusjonssystem for drikkevann. Vårfluelarvene *Neureclipsis* og *Hydropsyche* har vært observert i svært store mengder på inntakssiler for kraftverk, og de kan være en av årsakene til at det dannes groptæringskorrosjon.

Referanser

Alle tegningene og de fleste av fotografiene er tatt fra Temarapport 2, beskrevet i det etterfølgende. Tegningene i nevnte rapport er basert på illustrasjoner i relevant litteratur, men er tegnet om til ønsket størrelse av Kari Ormerod. Henvisning til noen spesielt relevante, samt senere publikasjoner, er tatt med her.

Reagenser og metoder

1. **Oxalsyre** til fjerning av oksidert jern og mangan i slam: 5 % oxalsyre i 1 N HCL.
2. **"Kimtall"**, metode til å bestemme antall levedyktige, heterotrofe bakterier i vann. 1 ml vann blir spredd over en petriskål med såkalt "kimtallsagar", og inkubert ved 22 °C i 3 døgn (72 timer). Hvert levedyktig "kim" i vannet vil da vokse til en koloni, som kan telles.
Soppsporer kan også vokse på slike plater, og danner andre typer kolonier. De er også "kim".

Benyttet litteratur

Ormerod, K., 1974:

Problemer med slam og dyr i distribusjonsnett for vann. Temarapport 2. Norsk institutt for vannforskning, Oslo. (*Fullstendig liste over benyttet litteratur inntil 1974 står her*)

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.

R.J. Sands, (1969):

The Control of Animals in Water Mains; the principles of disinfection and control, with details of the procedures developed.

The Water Research Association, Technical Paper T.P. 63. Medmenham, Marlow, Bucks., England.

Völker, H. Schweisfurth, R., and Hirsch, P. (1977):

Morphology and Ultrastructure of *Crenothrix polyspora* Cohn.

Journal of Bacteriology, 131:306-313.

Cullimore, D. R., and McCann, A.E. (1978):

The Identification, Cultivation and Control of Iron Bacteria in Ground Water. Aquatic Microbiology. Ed. Skinner & Shewan, Academic Press.

LIMNOFAUNA NORVEGICA. Katalog over norsk ferskvannsfauna, Redigert av K. Aagaard og D. Holmen. Tapir forlag, Trondheim, 1996. ISBN 82-519-1214-8.

Stefan Lundberg (2003):

Tagelmaskar. Naturhistoriska museet, Stockholm (Internett: <http://www.nrm.se>)

Utgitt av Folkehelseinstituttet
August 2017
Postboks 4404 Nydalen
NO-0403 Oslo
Telefon: 21 07 70 00
ISSN elektronisk utgave 1503-2167