

NILU
Teknisk notat nr. 71/74
Referanse: IO-0-17.73
Dato: Mars 1974

KORROSJON I FORBINDELSE
MED
BAKTERIER OG VÅRFLUELARVER

av

O Anda

NORSK INSTITUTT FOR LUFTFORSKNING
POSTBOKS 115, 2007 KJELLER
NORGE

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
<u>STIKKORDREGISTER</u>	I - III
1 <u>INNLEDNING</u>	1
2 <u>BAKTERIER</u>	2
2.1 <u>Svovelbakterier</u>	2
2.2 <u>Jernbakterier generelt</u>	7
2.3 <u>Jernbakterier og korrosjon-litteraturundersøkelse</u>	15
3 <u>VÅRFLUELARVER</u>	20
3.1 <u>Generell beskrivelse</u>	20
3.2 <u>Vårfluelarver og korrosjon</u>	26
4 <u>BEFARINGER OG UNDERSØKELSER FORETATT AV NILU</u>	27
4.1 <u>Suvdøla kraftverk i Drangedal</u>	27
4.2 <u>Glommavassdraget</u>	29
4.2.1 <u>Kykkelsrud og Vamma</u>	29
4.2.2 <u>Rånåsfoss</u>	30
4.3 <u>Sammendrag</u>	32
5 <u>LITTERATURHENVISNINGER</u>	34
BILAG A	35

STIKKORDREGISTER

	Side
ACROMATIUM OXALIFERUM	3
AEROBACTER	12
ALGER	4 - 5
AUTOTROFE BAKTERIER	2, 7
BACILLUS	12
" MANGANICUS	8
BAKTERIER	2
BEGGIATOALBA	3 - 4
" ARACHNOIDEA	4
" LEPTOMITIFOMIS	4
" MIRABILIS	3
BEGGIATOALES	4
BLÅALGER	4 - 5
BRYOZOA	21
CAULOBACTER	12, 14
CAULOBACTERACEAE	14
CHLAMYDOBACTERIACEAE	8, 11
CHROMATIUM	2
" OKENII	3
CLAMYDOBACTERIALES	7
CLONOTHRIX	7, 12
" FUSCA	8, 10, 15
CRENOTHRICHACEAE	7
CRENOTHRIX	7, 12, 18
" POLYSPORA	8 - 9, 15
CRISTATELLA MUCEDO	21
DEMOSPONGIAE	21
DESULFOVIBRIO	5
" AESTUARIII	5
" DESULFURICANS	5
" RUBENTSCHIKII	5
ECTOPROCTA	21
EPHYDATIA FLUVIATILIS	21
" MÜLLERI	20, 21
FAKULTATIVT AUTOTROFE BAKTERIER	7
FANGNETT	23, 31, bilag 2 - 4
FREDERICELLA SULTANA	21
GALLIONELLA	12, 14-18, 27-30
" FERRUGINEA	8, 13, 29
" MINOR	13
GEMMULAE	21
GENUS	2
HETEROTROFE BAKTERIER	7
HYDROPSYCHE	25, 30, bilag 1
" LEPIDA	22
HYPHOMICROBIALES	14
HYPHOMICROBIUM	12, 14
INKRUSTASJON	7, 28
JERNBAKTERIER	7
KITIN	bilag 1
LAMPROCYSTIS	2
" ROSEO-PERSICINA	3

LEPTOTHRIX	11, 15, 18
" DISCOPHORA	9, 11-13
" ECHINATA	8
" LOPHELEA	8, 11, 13
" MAJOR	11 - 12
" OCHRACEA	8, 11-13, 15
" TRICHOGENES	8, 11, 13
LEUCOTHIODAKTERIER	4
LOPHOPODA	21
LOPHOPUS CRYSTALLINUS	21
MIXOTROFE BAKTERIER	4, 7
MONAXONIDA	21
MOSDYR	20-21
NAUMANNIELLA MINOR	13
" PYGMAEA	13
NEURECLIPSIS BIMACULATA	22, 25, 30
OSCILLATORIA	4
" CHLORINA	6
" FORMOSA	6
" PRINCEPS	6
" PUTRIDA	6
" TENUIS	6
PALUDICELLA ARTICULA	21
PHILOPOTAMIDAE	30
PHILOPOTAMUS MONANUS	30
PHORMIDIUM	4
" AUTUMNALE	6
PHYLACTOLAEMATA	21
PHYLUM	21
PLECTROCNEMIA CONSPERSA	22
PLUMATELLA FUNGOSA	21
" REPENS	21
POLYCENTROPIDAE	20
POLYCENTROPUS FLAVOMACULATUS	22, 25
POLYZOA	21
PORIFERA	21
PSEUDOMONADALES	14
PSEUDOMONAS FERRUGINEUM	17
PURPURSVOVELBAKTERIER	2
RHABDOCHROMATIUM ROSEUM	3
RHODOTHIODAKTERIER	2
RHYACOPHILA NUBILA	29, bilag 1
RHYACOPHILIDAE	29
SCHIZOMYCETES	2
SERRATIA	12
SIDEROBACTER LATUM	13
SIDEROCAPSA	14
SIDEROCAPSA BOTRYOIDES	13
" MONOECA	13
" TREUBII	13
SIDEROCYSTIS MINOR	13
" VULGARIS	13
SPALTESOPP	2
SPHAEROTILUS	8, 18
" DICHOTOMUS	8, 11
" NATANS	3, 8
SPIROSOMA	13, 29
SPIRULINA JENNERI	3

	Side
SPONGILLA	21
" LACUSTRIS	21
SPONGILLIDAE	21
STATOBLASTER	21
SVAMP	20-21
SVOVELBAKTERIER	2
THIOBACILLUS	4
" DENITRIFICANS	4
" THIOOXYDANS	5
" THIOPARUS	4
THIODICTON ELEGANS	3
THIONEMA VAGINATUM	3 - 4
THIONSULFATBAKTERIER	4
THIOPHYSA VOLUTANS	3
THIOSPIRA WINOGRADSKII	3
THIOSPIRILLUM	2
" SANGUINEUM	3
THIOSULFATBAKTERIER	4
THIOTHRIX	4
" NIVEA	3 - 4
TRICHOPTERA	20
VIBRIO THERMODESULFURICANS	5
VÅRFLUELARVENETT	23, 31, bilag 2-4
VÅRFLUELARVER	20, 22, 24, 26 - 27, 29 - 30, bilag 1
VÅRFLUER	20, 22
ZOOGLOEA RAMIGERA	3
ZOOIDE	21

KORROSJON I FORBINDELSE
MED
BAKTERIER OG VÅRFLUELARVER

1 INNLEDNING

Årsakene til korrosjon er mange. En av disse kan henføres til aktiviteter av visse bakterier og dyreorganismer. I det foreliggende notat vil en forsøke å belyse dette nærmere. En vil begrense utredningen til stort sett å gjelde forholdene i strømmende ferskvann, og med spesiell tanke på forholdene i vannkraftverk.

Vannkraftverk har store korrosjonsproblemer i forbindelse med rørgater, damluker, varegrinder og andre vannberørte overflater av jern/stål (1). Det er spesielt rørgatene som er utsatt, og disse utgjør ofte en stor del av investeringene.

Korrosjonsproblemene synes å ha økt med årene uten at en med sikkerhet kan peke på konkrete årsaker til dette. Flere hypoteser er imidlertid fremsatt, herunder surere vann som følge av sur nedbør, og korrosjon som følge av jernbakterier og vårfluelarver (1).

Påstanden om sur nedbør's innvirkning har fått NILU til å interessere seg for korrosjonsforholdene i vannkraftverk (2). En planlegger således en større undersøkelse med bl.a. en geografisk kartlegging av forholdene for å undersøke denne påstanden nærmere.

Når en her retter oppmerksomheten mot den biologiske medvirkning til korrosjonen så kan det synes som dette ligger på siden av NILU's arbeidsfelt. En har heller ikke tatt opp emnet fordi en tror den biologiske aktiviteten er hovedforklaringen. En har heller vurdert det slik at korrosjonsårsakene er så mangfoldige og sammensatte at vi ville ha små sjanser til å lykkes med en undersøkelse av surhetens innvirkning om vi ikke forsøkte å se problemene i sammenheng. At spørsmålet om biologisk aktivitet stadig dukker opp i forbindelse med korrosjon i vannkraftverk (1), understreker også behovet for en nærmere undersøkelse.

Vi har foretatt befaringer til en del kraftverk for å se nærmere på de biologiske korrosjonsforholdene. Den foreliggende beskrivelse bygger på disse befaringene kombinert med et utstrakt litteraturstudium. Med tanke på en utvidet undersøkelse av vannkraftverkernes korrosjonsproblemer har det også vært et hovedformål å skaffe seg best mulig kompetanse og hjelpemidler til framtidig identifisering av korrosjonsprodukter og antatt aktuelle organismer.

2 BAKTERIER

Bakterier kan oppfattes som mikroskopiske, primitive planter som dog mangler klorofyll. De forekommer i et kolossalt antall arter. Størrelsen ligger vanligvis i området 0,3 - 2 μ , men det finnes også arter som er mye mindre enn dette. Bakteriene kan sammenfattes i en klasse: Schizomycetes (spaltesopp). De underdeles videre i ordener, familier, stammer, genera (entall:genus, slekt) og arter.

2.1 Svovelbakterier

Svovelbakterier finnes utbredt i råttent og H₂S-befengt vann. De er derfor sjeldne i vannforsyningsanlegg og således også i de fleste norske vassdrag. Vi skal likevel omtale disse bakterier fordi de deltar i H₂S-syklusen i overflatevann, og derfor lokalt kan påvirke vannsammensetningen og følgelig det korrosive miljø.

Av de bakterier som kan overføre H₂S til svovel og sulfat nevnes følgende: Rhodothiobakterier (Purpursvovelbakterier): Av disse nevnes genera Chromatium, Lamprocystis og Thiospirillum (figur 1 og 2). Disse bakterier er røde av farge. De er videre autotrofe (d.v.s. kan nyttiggjøre seg uorganiske næringsstoffer) og bruker CO₂ som karbonkilde (+ lys).

Omsetningen kan skrives: $2\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{S} + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{lys}} 2\text{HCOH} + \text{H}_2\text{SO}_4$

(Sammenlign plantenes assimilasjon:

$\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \xrightarrow{\text{lys}} \text{HCOH} + \text{H}_2\text{O} + \text{O}_2$)

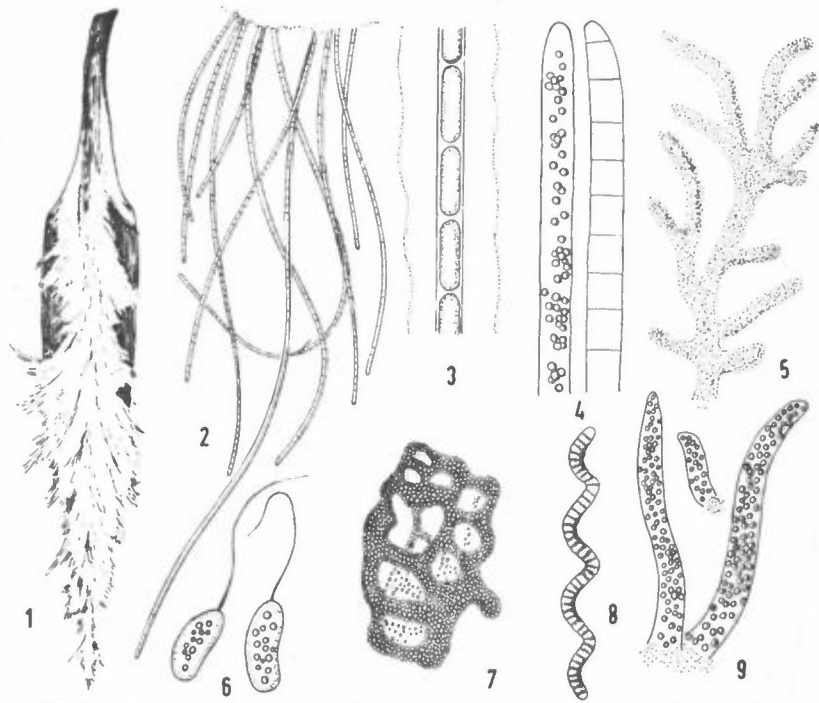


Abb. 22: Typentafel der Polysaprobien. 1. Zotte von *Sphaerotilus natans*, 2. Fadenbüschel dieses Bakteriums, 3. Von Gallerte eingehüllter Einzelfaden, 4. *Beggiatoa alba*, 5. *Zoogloea ramigera*, 6. *Chromatium okenii*, 7. *Lamprocystis roseo-persicina*, 8. *Spirulina jeneri*, 9. *Thiobrix nivea*,
Figur 1(3)

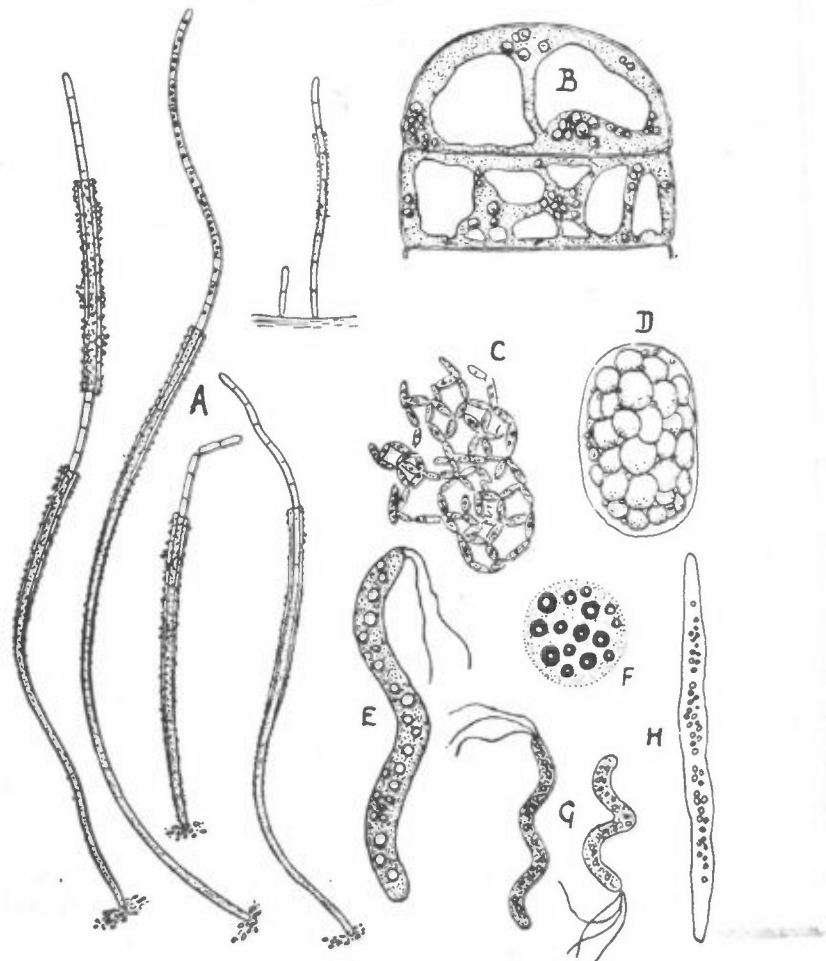


Abb. 34: A. *Thionema vaginatum*, B. *Beggiatoa mirabilis*, C. *Thiodictyon elegans*, D. *Acromatium oxaliferum*, E. *Thiospira winogradskii*, F. *Thiophysa volutans*, *Thiospirillum sanguineum*, H. *Rhabdochromatium roseum*. - Nach KOLKOWITZ, BAVENDAMM u. a.

Figur 2 (3)

Leucothiobakterier (fargeløse svovelbakterier), ordenen Beggiatoales. Her skal nevnes genera *Beggiatoa* og *Thiothrix* (figur 1 og 2).

Disse bakterier er fakultativt autotrofe (mixotrofe), dvs. de kan dekke karbonbehovet både fra organisk og uorganisk materiale. Er H_2S til stede får vi følgende forløp:



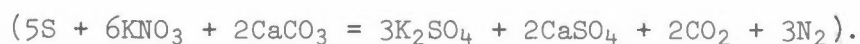
Inneholder vannet H_2S får disse bakterier mørke svoveldråper inne i cellene. *Beggiatoa*-artene er fritt bevegelige, og danner i slam fine hvite trådaktige slør. De foretrekker langsomt flytende eller stillestående vann.

Beggiatoa alba er den vanligste art. Den er 2,5 - 5 μ tykk. Der finnes arter som er mindre og andre som er adskillig større. (F. eks. henholdsvis *B. leptomitiformis* og *B. arachnoidea*). Da kiselalgen *Oscillatoria* og *Phormidium* (begge er blåalger) kan anvende H_2S , kan disse finnes i store mengder i nærheten av *Beggiatoa*-artene dersom vannet inneholder litt H_2S (figur 3).

Thiothrix-artene fester seg til underlaget, og foretrekker strømmende vann, gjerne i rørledninger. Disse er som *Beggiatoa*-artene trådformede bakterier. Artene har ulike tykkelser. Tykkest er *T. nivea* som er 1,5 - 3,5 μ . *Thionema vaginatum* (figur 2) er en fargeløs enkeltrekket stavbakterie som finnes i sammenheng med jern. Den har i motsetning til *T. nivea* slire. *Thionema vaginatum* finnes hovedsakelig i forurenset overflatevann.

På liknende måte som for de fargeløse svovelbakterier forholder det seg med de såkalte thiosulfat- eller thionsulfatbakterier. Foruten H_2S og elementært svovel kan de også nyttiggjøre seg oksyderbare organiske svovelforbindelser, og på den måten også danne fritt svovel og tetrathionsyrer foruten svovelsyre. I motsetning til de forannevnte bakterier utskiller thiosulfatbakteriene det elementære svovel på utsiden av cellene. Av disse bakterier kan nevnes genus *Thiobacillus*, og herav artene *T. thioparus* (aerob) og *T. denitrificans*. Hvis oksygen mangler, kan sistnevnte bakterieart frigjøre oksygen fra eventuelle tilstedeværende nitrater til bruk for oksydasjon av elementært svovel

(eller thiosulfat, $S_2O_3^{2-}$) til sulfat under frigivelse av nitrogen.



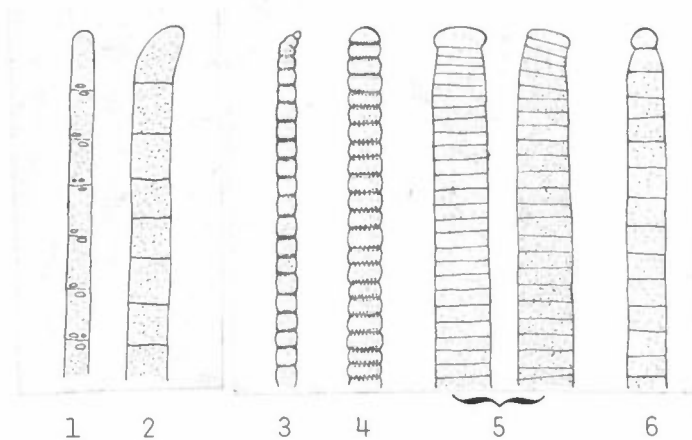
T. thiooxydans kan i oksygenfritt vann danne så mye svovelsyre at pH faller under 1.

Sulfatene fungerer som næringsstoffer eller blir i tilfelle oksygenmangel igjen overført bakterielt til H_2S . De bakterier som sørger for det, tilhører genus *Desulfovibrio*. Det er svakt krummede små staver på ca. 5 μ i lengde og ca. 1 μ i bredde. Vanligvis forekommer de enkeltvis, men kan også forekomme forenet i kjeder og ser da ut som spiraler. Disse bakterier kan bevege seg ved hjelp av hår. Av dette genus skal nevnes *Desulfovibrio desulfuricans* (med variantene *D. Aestuarii*, tilpasset høyere saltgehalt, og *Vibrio thermodesulfuricans* som er tilpasset høyere temperatur) og *D. rubentschikii*.

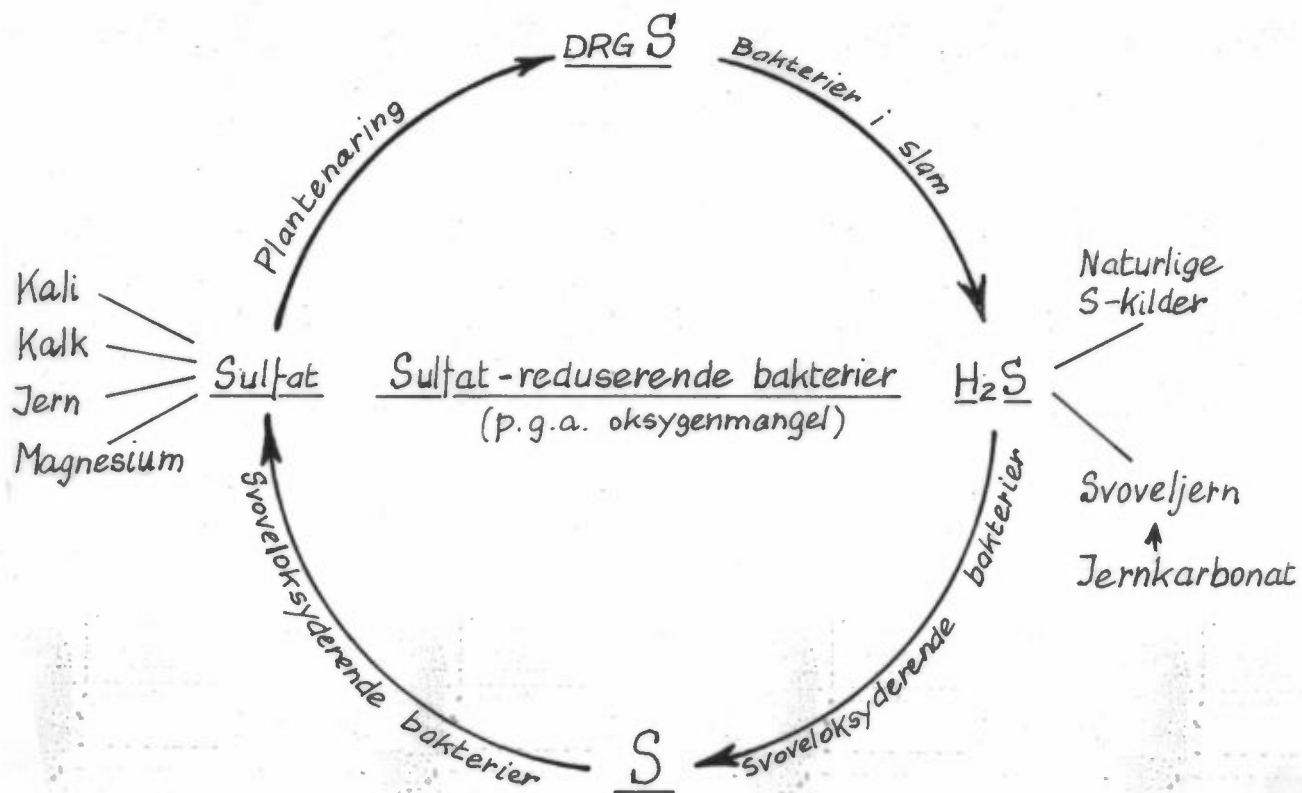
De sulfatnedbrytende bakterier trives best i næringsrikt, svakt alkalisk miljø (pH 7 - 8) uten oksygen. Særlig i kalkfattig og SO_4^{2-} -holdig vann kan de ødelegge vannrør på utsiden.

H_2S og også CO_2 som enkelte bakterier fremkaller, vil virke korroderende på jern. Dannelsen av jernsulfid på blanke overflater vil også gi opphav til lokalelementer som ad elektrolytisk vei befordrer videre korrosjon. Inne i rør, hvor vannfornyelsen går tregt, kan en få en slik stor *desulfovibrio*-virksomhet at utflytende vann farges sort av jernsulfid. Bunker (6) antar at *desulfovibrio*-bakterier kan være aktive ved anaerobiske forhold under rustknoller (tuberkler), og han har isolert *D. desulfuricans*.

Til slutt skal understrekes at eksempelvis jernsulfid belegg foruten bakteriell bakgrunn naturligvis også kan ha sin årsak i kjemisk-fysikalske forhold ved at vannet inneholder mye H_2S som direkte vil øke korrosjonen og medføre jernsulfiddannelse.



Figur 3: Blåalger: 1. Oscillatoria putrida (3) 2. O. chlorina 3. O. formosa 4. O. tenuis 5. O. princeps 6. Phormidium Autumnale



Figur 4: H₂S-syklus i overflatevann (3)

2.2 Jernbakterier generelt

En har ca. 60 forskjellige jernbakterier. Av disse er det sannsynligvis bare et fåtall som er av betydning i korrosjonssammenheng. Noen er autotrofe, andre er heterotrofe (lever av organisk næring) og atter andre er mixotrofe (= fakulativt autotrofe), dvs. de lever av både uorganisk og organisk materiale.

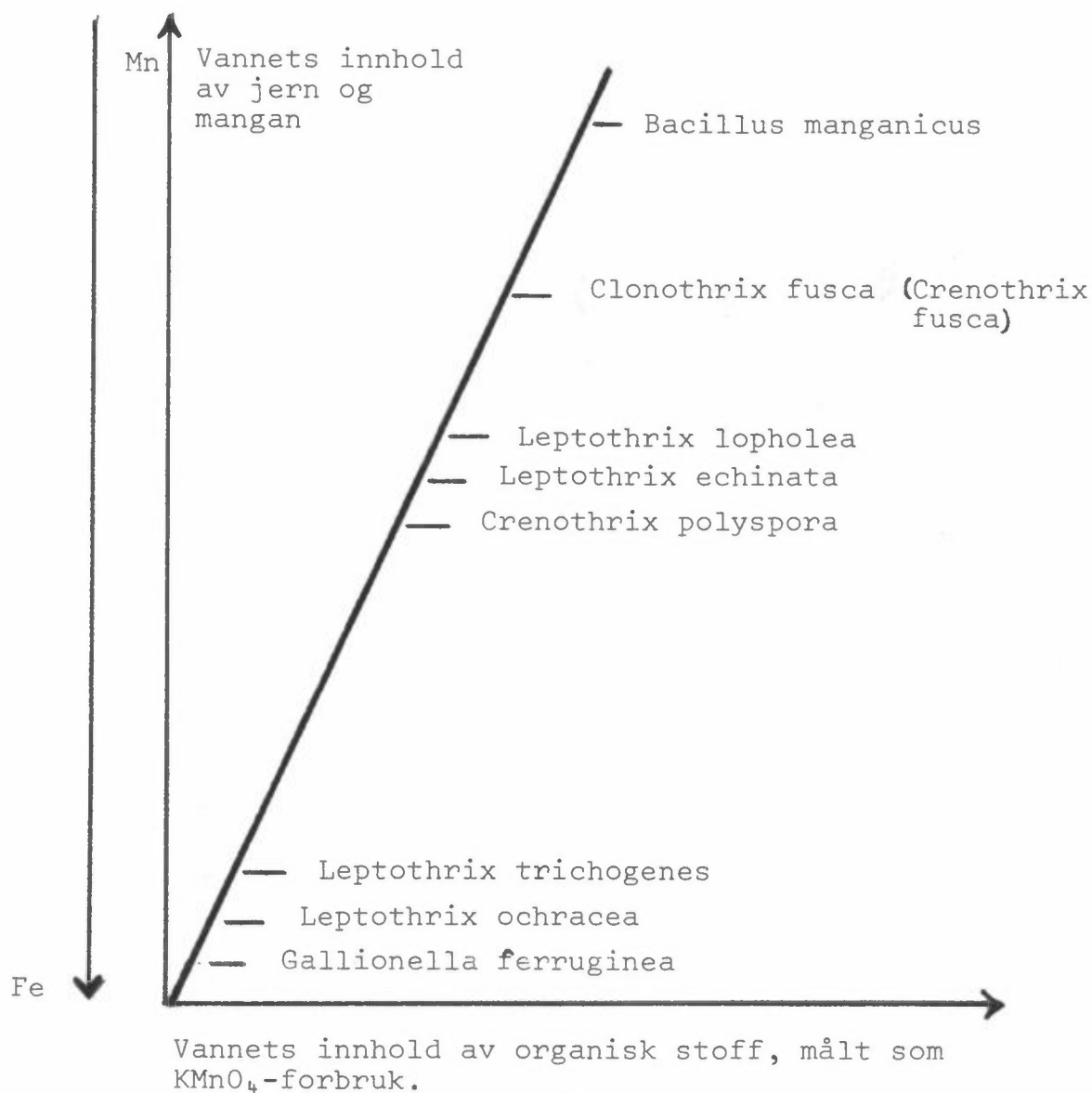
Energien de autotrofe bakteriene behøver for å overføre de uorganiske karbonforbindelsene til biologisk materiale oppnås ad kjemosyntetisk vei ved oksydasjon av to-verdige jern- og manganforbindelser. Litt oksygen må videre til for at jern- og manganfelling og bakterieutvikling skal skje. Det løste jern forekommer som regel bundet som bikarbonat i vann, og sjeldnere bundet til sulfat eller humussyrer. Det løste mangan forekommer mest som oksyder eller karbonater.

En tenker seg at to-verdig jern og mangan absorberes i bakterienes celler, oksyderes og støtes ut som slaggprodukter. Disse går over i jernoksydhydrater som igjen i nærvær av H_2S til slutt går over til sulfid. Det kan også tenkes at bakteriene kan anvende jern bundet til organiske salter.

Forholdet mellom oppløst jern og mangan betyr mye for hvilke bakteriearter en kan vente å finne mest av (figur 4A). Bakteriene får langt flere kalorier ved oksydasjon av jern enn mangan, og slaggmengden blir således adskillig større ved bruk av mangan. Manganbiproduktet er brunstein. Brunsteinen virker absorberende på mangan i løsning.

Dess høyere manganforbruk bakteriene har, dess større blir behovet for organiske næringsstoffer, dvs. vi kommer over til de mixotrofe og heterotrofe arter. En viktig gruppe jern- og manganbakterier tilhører ordenen Clamydobacteriales. De består av lange kjeder av stavformede celler omgitt av en tettsluttende hylse. Hylsen er igjen omgitt av en kapsel. I denne kapsel er det at slaggproduktene felles ut og innleires (inkrustasjon). Noen av disse bakterier danner sporer. De tilhører familien Crenothrichaceae (figur 5 og 6). Genus Crenothrix danner sporer i flere lag, mens genus Clonothrix har sporene i ett lag som perler på en snor. Begge er manganoksyderende. Artene

Crenothrix polyspora adskiller seg dessuten fra arten *Clonothrix fusca* ved at den enkelttrekkige celletråd er uforgrenet mot stråle-
forgrenet for *fusca*-arten. Den sistnevnte ulikhet finner vi også
en parallell til i familien *Chlamydobacteriaceae*, genus *Sphaerotilus*.
Det gjelder da artene *Sphaerotilus natans* (figur 1) og *S. dichotomus*
(figur 7). De kan forøvrig danne tykke gråhvite til brunlige slimete
lag. Ved manganutfelling blir slimlaget sortfarget. De to sistnevnte
bakteriearter finner en helst i utslagsvann.



Figur 4A: De forskjellige jernbakteriers jern/mangan spektrum. (4)

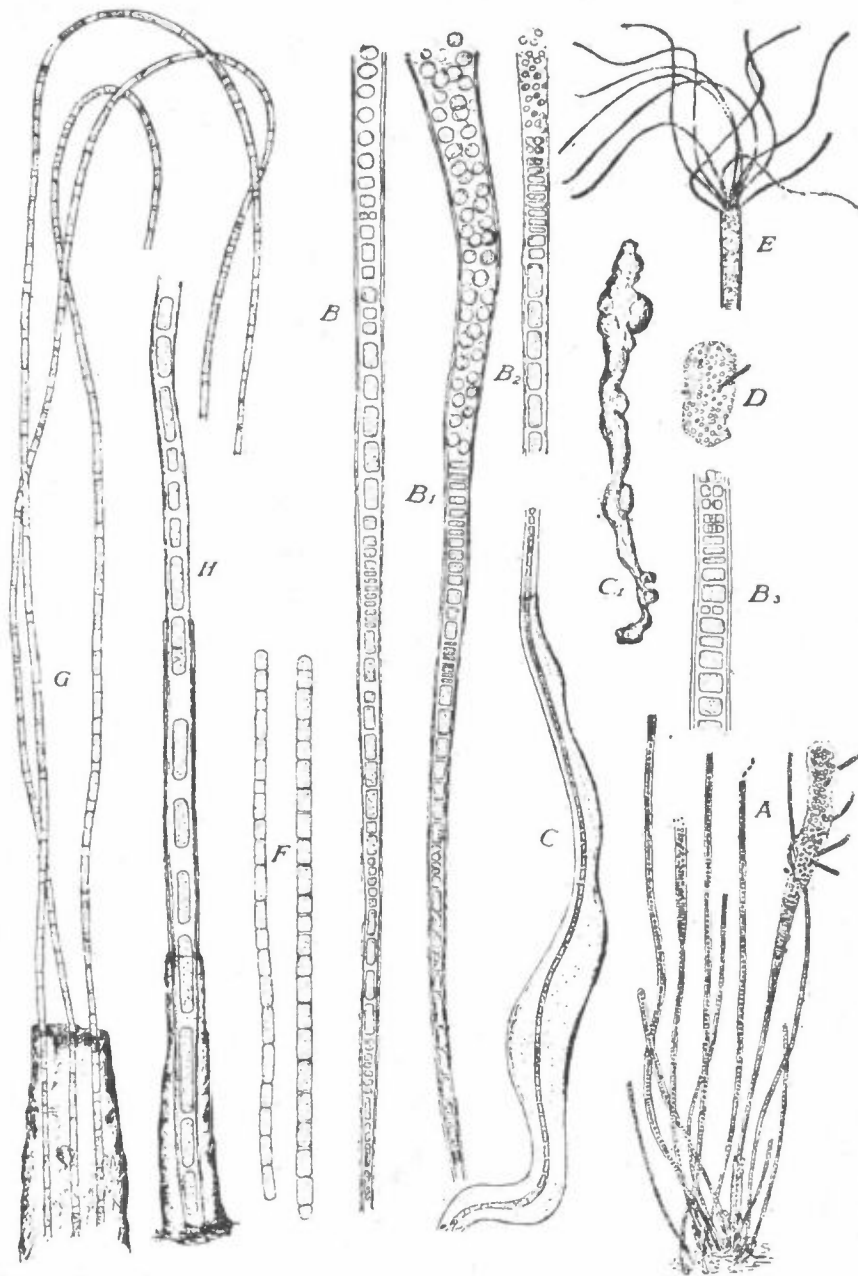


Abb. 35: *Crenothrix polyspora*. A. Rasen des Bakteriums. B₁, B₂. Einzelfäden: B₁. mit Macrogonidien, B₂. mit Microgonidien. C₁. Verzestypus (C. vergleichsweiser Verzestypus von *Leptothrix discophora*). D. Sporenlager mit einem ausgekeimten Faden. E. Keimfadenbüschel an einem Fadenende. F. Junge ausgekeimte, noch nicht mit einer Scheide umhüllte Fäden. G. Jugendstadien mit langen Zellen. H. desgl. vergrößert. - Orig.

Figur 5 (3)

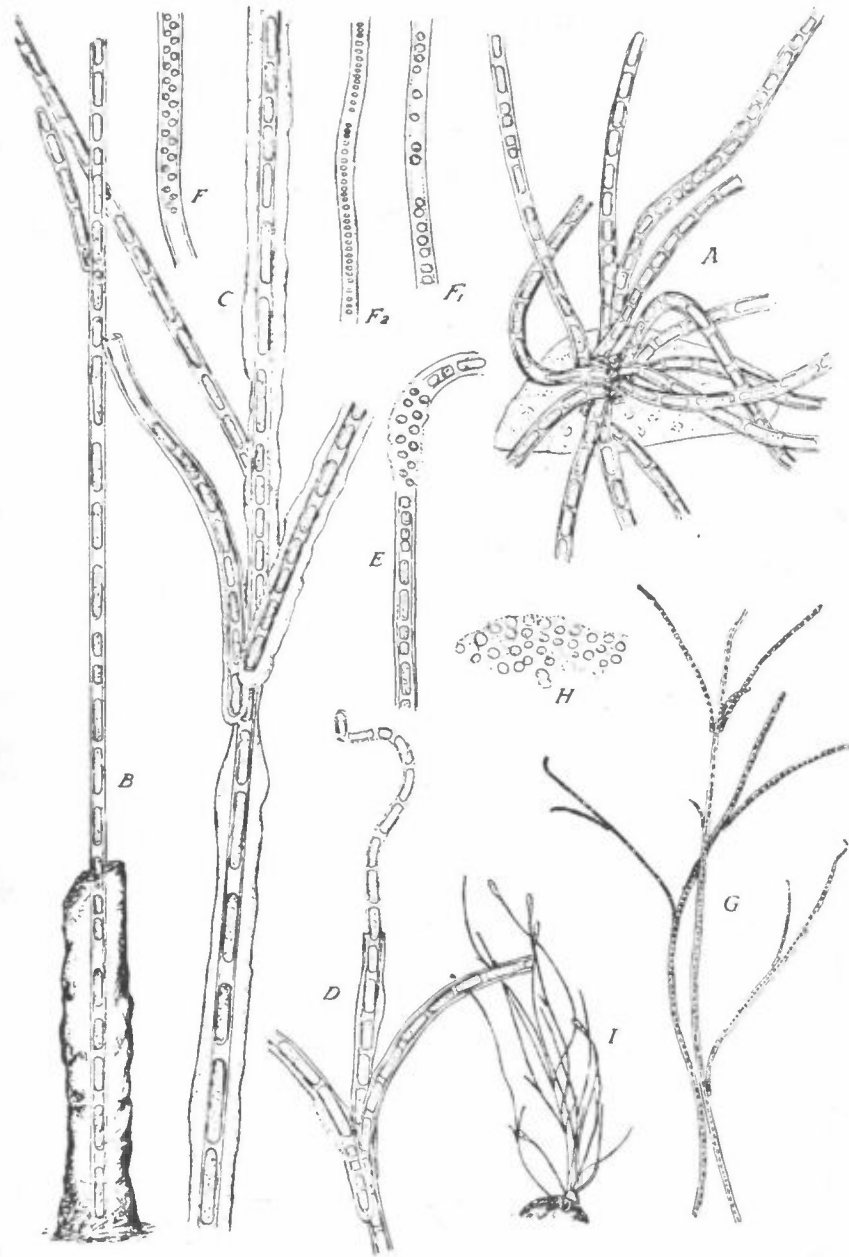
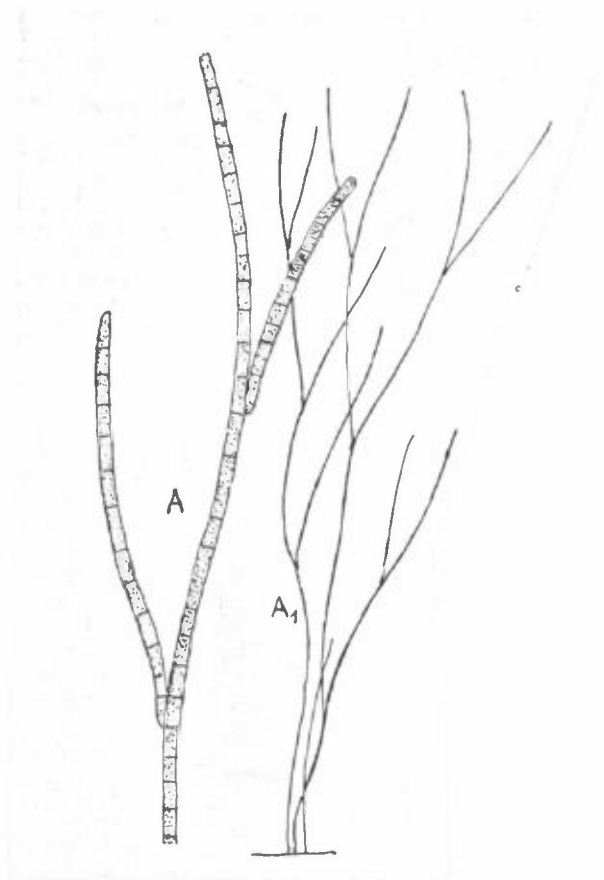


Abb. 36: *Clonotrix fusca*. A. Fadenbüschel auf einem Sporenlager. B-D. Fadenabschnitte. E-F₂. Gonidienbildung. G. Habitusbild. H. Teilstück eines Sporenlagers. I. Skizze des Bakteriums nach BAYLIS. A-H. Orig.

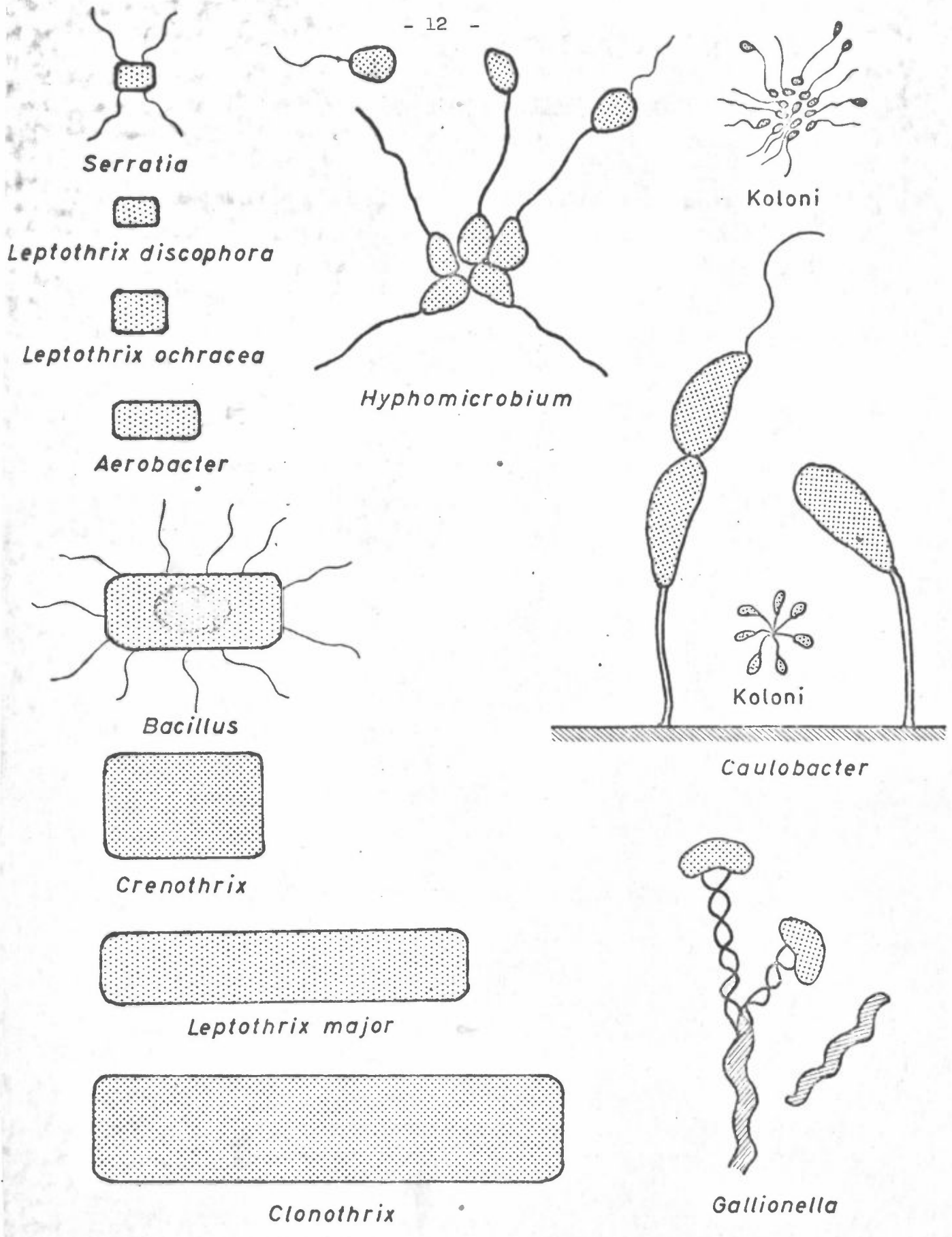
Figur 6 (3)



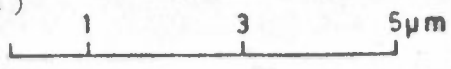
Figur 7: Spaerotilus dichotomus. (3)

Bakterier tilhørende familien Chlamydobacteriaceae danner ikke sporer, men kan frigjøre mobile celler ved enden av hylsen.

Av disse skal videre nevnes genus Leptothrix (figur 9) med arten *L. ochracea* som oksyderer bare jern, samt *L. major* og *L. discophora* som oksyderer både jern og mangan, og som regnes for å være de hyppigst forekommende jernbakterier i norske ledningsnett med humuspreget overflatevann. Arten *ochracea* har smal slire, *discophora* har vid slire mens artene *lopholea* og *trichogenes* består av mange tråder.



Figur 8: Størrelse og utseende av bakterier fra ledningsslam (4)



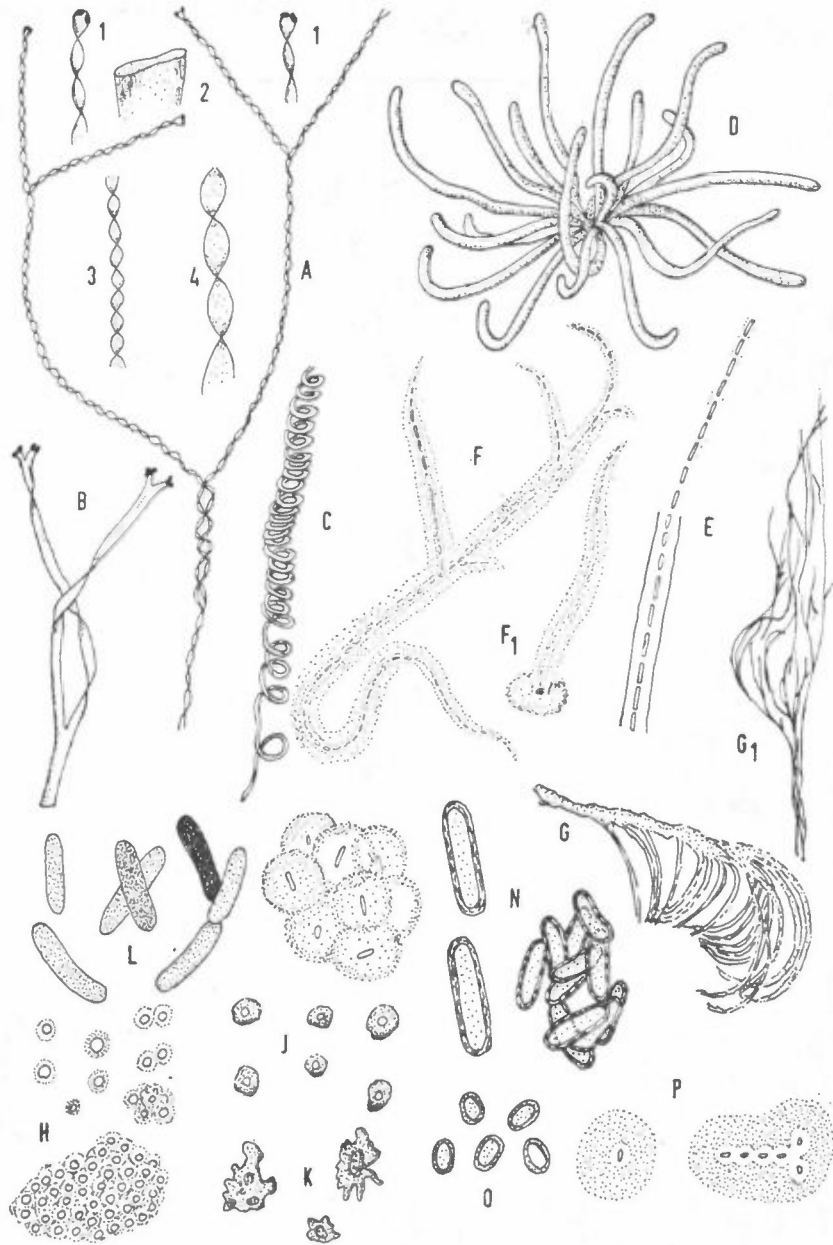


Abb. 39: Eisenbakterien-Typen. A. *Gallionella ferruginea*. B. *Gallionella minor*. C. *Spirosoma*-Typus. D. *Leptothrix lopholea*. E. *Leptothrix ochracea*. F, F₁. *Leptothrix discophora*. G, G₁. *Leptothrix trichogenes*. H. *Siderocapsa botryoides*. J. *Siderocapsa monoeca*. K. *Siderocapsa treubii*. L. *Siderobacter latum*. M. *Siderocystis vulgaris*. N. *Naumanniella minor*. O. *Naumanniella pygmaea*. P. *Siderocystis minor*. — A. nach CHOLODNY, G. nach MOLISCH, G₁. nach PAKH, P. nach REUKAUF

Figur 9 (3)

Fra ordenen Pseudomonadales, familie Caulobacteraceae skal nevnes genus Gallionella (figur 9). Det er en ikke-trådformet type som består av stavformede eller nyreformede bakterier. De er festet til underlaget ved hjelp av tvunnede tynne og meget lange tråder. Gallionella opptrer ofte i jernavleiringer i bekker og dreneringsgrøfter, og dessuten der jern står i kontakt med surt vann.

Organismen ble funnet i Berlin i 1834 av Ehrenberg.

Det er sjelden en i mikroskopet ser selve bakterien fordi denne lett løsriveres fra trådene. I gammel vekst er trådene omgitt av tykke lag av jernoksydhydrater. Trådene brekkes lett opp i fragmenter.

Noen forskere mener at selve trådene er organismen og ikke bare noe som holder de såkalte hodene (kokkene) fastsittende på underlaget. Selv om Gallionella antas å være kjemoautotrof er det problemer med å få dette entydig bevist.

Gallionella fester seg på jern selv i sterkt strømmende vann og er derfor kanskje den viktigste bakterie i korrosjonssammenheng. En vil derfor komme tilbake til denne noe senere i forbindelse med korrosjon på rørledninger.

Til samme familie hører også genus Caulobacter (figur 8). Norsk Institutt for Vannforskning har funnet at denne stilkebakterie kan danne vekst som holder store rustmengder samlet i løse fnokker i mineralvann (4).

Fra samme orden har vi genus Siderocapsa som er vidt utbredt i humuspåvirkede innsjøer, men den er neppe noen dominerende organisme i drikkevannsslamm. Siderocapsa-formene er små bakterier (figur 9).

Til slutt skal nevnes genus Hyphomicrobium (figur 8) fra ordenen Hyphomicrobiales. Ifølge NIVA er denne bakterie ikke tidligere beskrevet i forbindelse med slamdannelse i ledningsnett. Den kan oksydere jern og mangan, og danner et nettverk av protoplasma-tråder som lett fanger opp partikler fra vannet. Årsaken til begroing av denne bakterien synes i et undersøkt tilfelle å ha sammenheng med

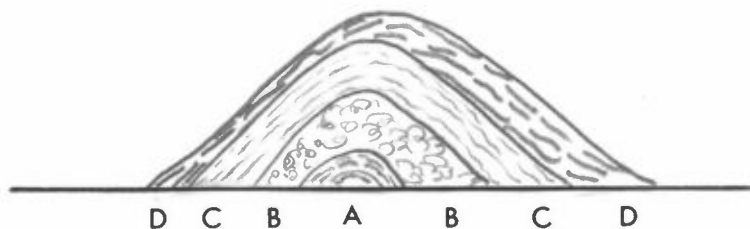
at humuspreget, næringsfattig vann ble ozonert og tilsatt kalk for å hindre korrosjon. Det viste seg at ozoneringen nedbrøt de relativt stabile humus-stoffer til lettere nedbrytbare stoffer som så ble angrepet av bakteriene.

2.3 Jernbakterier og korrosjon-litteraturundersøkelse

Gallionella er den hyppigst forekommende jernbakterie i rørledninger som er i kontakt med jernholdig, næringsfattig og surt vann. Inneholder vannet noe mangan samt noe mer organisk materiale finner vi særlig Crenothrix fusca, mindre C. polyspora. Sammen med disse opptrer også andre jernbakterier, særlig Leptothrix-artene.

I sterk strøm overtar den fasthengende Gallionella. Den holder til særlig i øvre rørhvelving, mens de løstliggende Leptothrix-artene (særlig L. ochracea), opptrer i avsatt slam i nedre rørdel.

Gallionella synes å føre til mørkebrune til rustrøde forhøyninger (knotter, tuberkler). Schorler (3) påviste at rustmassen opprinnelig besto av løs filt av Gallionella-tråder. Denne bakteriefilt vokste så ved hjelp av oppløst jern, og en fikk gjerne "herdede" partier av jernforbindelser og fremmedlegemer (som fløt forbi) i nedre del av tuberkelen. Gallionella-trådene omkrystalliseres senere til jernglansaktige tavler som vokser sammen og til slutt går over i en formløs masse. Dens opprinnelige bakterielle herkomst lar seg da ikke lengere gjenkjenne. I figur 10 er gjengitt et snitt av en tuberkel. (3).



Figur 10: Snitt av gammel tuberkel (3)

- A: Mørkfarget, ofte svoveljern
- B: Gulrødt, for det meste amorft "jernmel" fra Gallionella-stilker.
- C: Sjikt av Gallionella-filt med jern, kalk og manganavsetninger.
- D: En tynnere fast kappe av jern og kalk med et overtrekk av levende Gallionella-bakterier.

Schorler (3) fant også at tuberklene besto av løs Gallionella-filt, som senere forsvant og rekrystalliserte i hexagonale hematitt-lignende krystaller. Disse krystaller grodde så sammen i formløse aggregater hvor en ikke kunne se bakterier. Ifølge Beger (6) kan Gallionella-hylsterne uten bakterier eller med døde bakterier fortsette ferrihydroksydfellingene i lang tid, dog noe mer langsomt. Inkrustasjonen på grunn av bakterier kan skje på blankt jern så vel som på påsmurt overflate. I siste tilfelle kan slaggproduktene av og til løses uten å skade underlaget, hvilket viser at rørinkrustasjon og korrosjon kan forløpe uavhengig av hverandre.

Olsen og Szybalski (6) mener at når Gallionella har frambrakt en slik "rustklump", har denne samme betydning for korrosjonen som andre fast påliggende overtrekk. Man får tildekningskorrosjon. De samme forskerne har gjort en rekke forsøk og konkluderer med følgende mekanisme:

1. Jernbakteriene (Gallionella) begror først begrensede felter på jernoverflaten. Dette skaper områder med ulik oksygentilgang og derav følgende potensialforskjeller (micro-differential-aeration cells). Det bakterie tildekkede området får minst oksygen, blir anodisk og går i oppløsning.
2. Jernbakterienes dannede filt forsterker tuberkelen som etterhvert blir resistent mot hovedvannstrømmen utenfor tuberkelen.
3. Etter som tuberkelen øker i tykkelse vil forholdene på innsiden bli mer anaerobiske. Potensialforskjellen mellom tuberkelens inn- og utside øker, og korrosjonen øker. Denne korrosjonsøkning vil nå skje uavhengig av om bakteriene utvikler seg videre.

Denne beskrivelsen er i samsvar med moderne korrosjonsteori (5).

Jernbakterier kan altså i seg selv ikke korrodere metallisk jern direkte. De kan imidlertid indirekte bevirke korrosjon ved at de ved hjelp av oksygen overfører Fe^{2+} til Fe^{3+} og anvender oksydasjonsenergien til CO_2 -assimilasjon og oppbygging av organisk materiale. Gjennom dette kan man så få tildekningskorrosjon. Gallionella er den eneste jernbakterie en med sikkerhet vet er autotrof (6)

$$(2\text{Fe}^{2+} + (x + 2)\text{H}_2\text{O} + \frac{1}{2}\text{H}_2 \rightarrow \text{Fe}_2\text{O}_3 + x\text{H}_2\text{O} + 4\text{H}^+ + \text{Qcal})$$

Pillai (3) fant at tuberkelene også kan forårsakes av den fluoriserende bakterie Pseudomonas ferrugineum. Den trives best ved surhetsgrad omkring pH 6,8 - 7.

Crenothrix- og Sphaerotilus-artene representerer særlig plagsomme slamdannende bakterier i vannverk. De siste artene finnes mest i forurenset vann. Crenothrix-artene danner fløyelsaktige hvite dekker som virker geléaktige. I tilfelle jern er avlagret er de røde, i tilfelle mangan mørke brune til sorte. Bakteriedekket løsner før eller siden og følger strømmen og kan avsettes andre steder i systemet hvor det er til besvær.

Beger (3) går ikke detaljert inn på selve korrosjonsmekanismen, men tillegger nedbrytningen av de organiske restene en viss betydning. "Rustklumpen" danner en skjerm (diafragma), og under denne skjer nedbrytningen av de innlagrede organiske rester. Nedbrytningsproduktene er CO_2 , H_2S og FeS og disse vil bevirke økt, lokalisert korrosjon av rørmaterialet. Sammen med det løste jernet er det bare meget små mengder oksygen som skal til for at bakteriefilten kan utvikle seg videre.

NIVA oppsummerer sine erfaringer vedrørende jernbakterienes medvirkning til korrosjon og slamdannelse slik (4).

1. Slam med jern- og manganoksyd uten tydelig innhold av aktive mikroorganismer tyder på at slammene er dannet ved fysisk eller kjemisk utfelling eller korrosjon.
2. Tilstedeværelse av Gallionella og Leptothrix ochracea tyder på at slamdannelsen skyldes at vannet inneholder løst to-verdig jern, eller at ubeskyttet jern står i forbindelse med surt vann.
3. Tilstedeværelse av andre Leptothrix-arter eller Crenothrix tyder på at vannets innhold av mangan i tillegg til jern og organisk stoff er medvirkende årsak til slamdannelsen.

4. 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.

NIVA konkluderer med 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.

Thornhill (7) er av de forskere som stiller seg noe reservert til bakterienes betydning for korrosjon. Han mener at tuberkeldannelsen er typisk for bløtt vann, og at pH sannsynligvis er viktig i denne sammenheng. Han sier videre at dersom pH er for lav blir det dannet utilstrekkelig alkali ved korrosjonen til å danne distinkte katodiske områder, i det minste i tidlige korrosjonsstadier. Natriumsalter øker og Ca- og Mg-salter hemmer dannelsen av katodiske områder. Det hevdes videre at bløtt vann lett gir tuberkeldannelse fordi at ved lavt faststoffinnhold er den elektriske ledningsevnen lav, og dette tenderer til å konsentrere de anodiske og katodiske områdene sammen.

Det synes ikke som om en har fått entydige resultater når det gjelder korrosjon ved ulik pH i naturlig forekommende vann. Dette kan skyldes at vannets beskaffenhet ikke har vært tilstrekkelig kjent.

Rice (7) har funnet økt tuberkeldannelse ved økt pH. Gidley og Weston (7) konstaterte meget sterk korrosjon ved pH 5,6, men ingen tuberkeldannelse.

Thornhill (7) nevner følgende inhibitorer som har vært brukt med hell: Calgon (Na-hexametafosfat), Micromet (Na, Ca-hexametafosfat), Na-silikat og polyfosfater. Beskyttelse får en også i surt vann ved tilsetning av metafosfat. Dog ser det her ut for at det er nødvendig med tilstedeværelse av et to-verdig ion, eksempelvis kalsium (C.W. Todd).

3 VÅRFLUELARVER

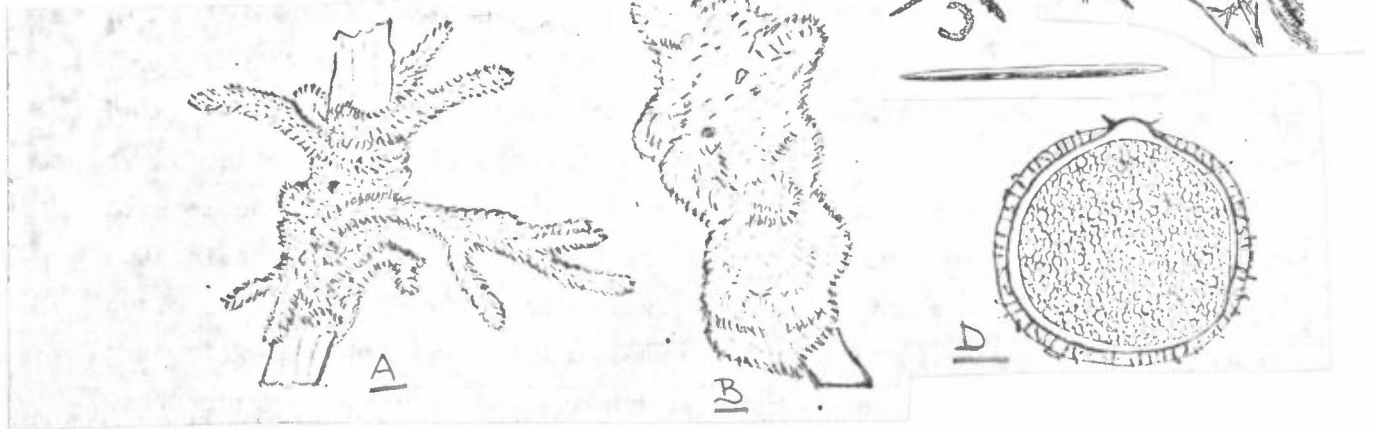
Som før nevnt (2.3.1) kan tildekning ved bakterier eller annet materiale føre til korrosjon. Således har Schön (3) rapportert at ferskvannsvampen *Ephydatia mülleri* (figur 11) kan forårsake korrosjonsproblemer. Det samme kan en si om enkelte mosdyr (figur 12). Vi skal omtale nærmere en insektfamilie som her i Norge opp gjennom årene har skapt en del problemer for vannverkene. Insektene tilhører ordenen Trichoptera og familien Polycentropidae, de såkalte vårfluer (figur 13). Det er larvene som volder problemene (figur 14).

3.1 Generell beskrivelse

Vårfluer minner om små sommerfugler. De har lange trådformede følere, store fasettøyne og reduserte munnleder. De har 2 par vinger hvorav det bakre par ofte er fargeløst. Løpebenene er lange og tynne. En regner med at en har et sted mellom 150 og 200 arter i Norge hvorav de fleste er nattdyr. De opptrer i store mengder om sommeren, og legger sine egg i ferskvann der larvene utvikler seg. Larvene har alt etter art ulike levesett. De som er aktuelle i denne sammenheng spinner fine tråder som de bygger kombinerte hus og fangnett av (figur 15). I naturen bygger de sine nett på steiner, mellom steiner og i kløfter på elvebunnen (figur 16). Fangnettene har ulik utforming alt etter hvilken art det dreier seg om, men stort sett likner de poser som er helt åpne mot strømmen og med en mindre åpning bak. I den bakre del oppholder larven seg og lever av smådyr som flyter inn i nettet. Larvenes størrelse er fra 10 til 25 mm. Mens fluestadiet bare varer en kort tid, kan larvestadiet strekke seg over et par år. Larven forpupper seg under vann, gjerne om våren og straks før fluen er utviklet flyter puppen opp og fluen flyr ut.

Vårfluelarvene må ansees å ha stor betydning i den naturlige næringskjede. De er oftest å finne i utløpet av innsjøer og tjern hvor de henter opp næring som flyter forbi. Selv representerer de mat for fisk. På denne måte er de med å holde tilbake næringsstoffer i lokale økosystemer.

PHYLUM : Porifera
 KLASSE : Demospongiae
 ORDEN : Monaxonida
 FAMILIE : Spongillidae
 GENUS : Spongilla



Figur 11: Spongillidae (ferskvanns-svamper):

(3,8)

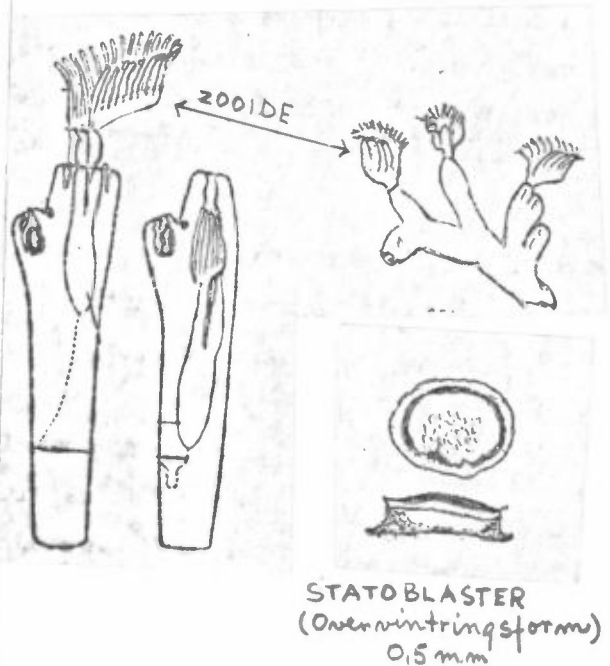
- A: Spongilla lacustris
- B: Ephydatia fluviatilis
- C: " mülleri (kiselnåler og gemmulae)
- D: Gemmulae (overvintringsform), 0,5 - 0,8 mm



Mosdyr

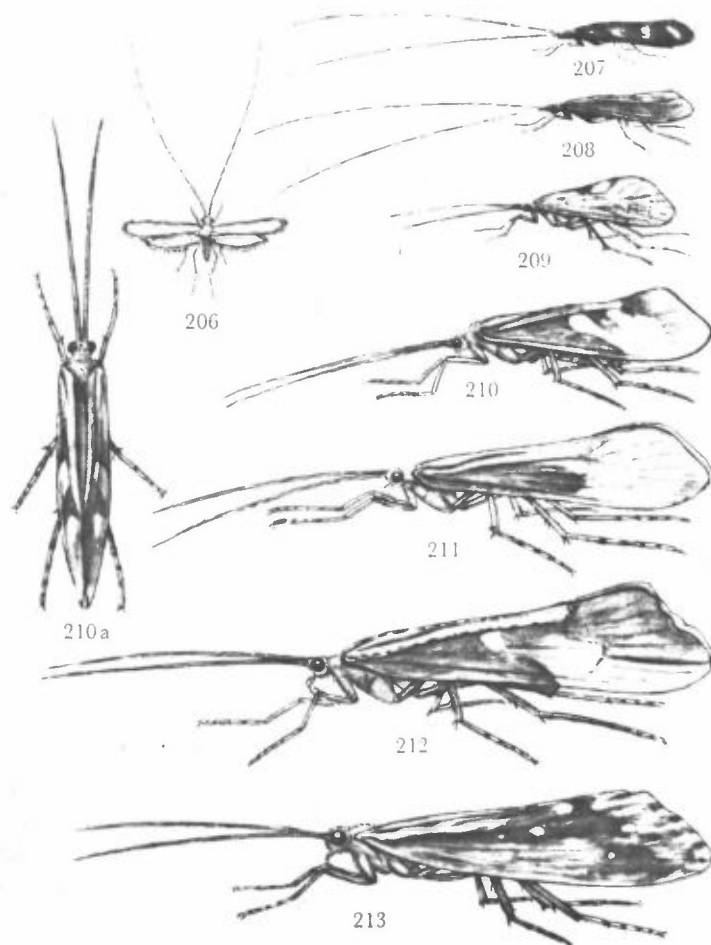
66. Plumatella fungosa; a. P. repens; b. enkelte individer. - 67. Fredericella sultana; a. enkelte individer. - 68. Lophopus crystallinus; a. enkelte individer. - 69. Cristatella mucedo. - 70. Paludicella arctica; a. enkelte individer.

PHYLUM : Bryozoa (Ectoprocta, Polyzoa)
 KLASSE : Lophopoda (Phylactolaemata)



STATOBLASTER (Overvintringsform) 0,5 mm

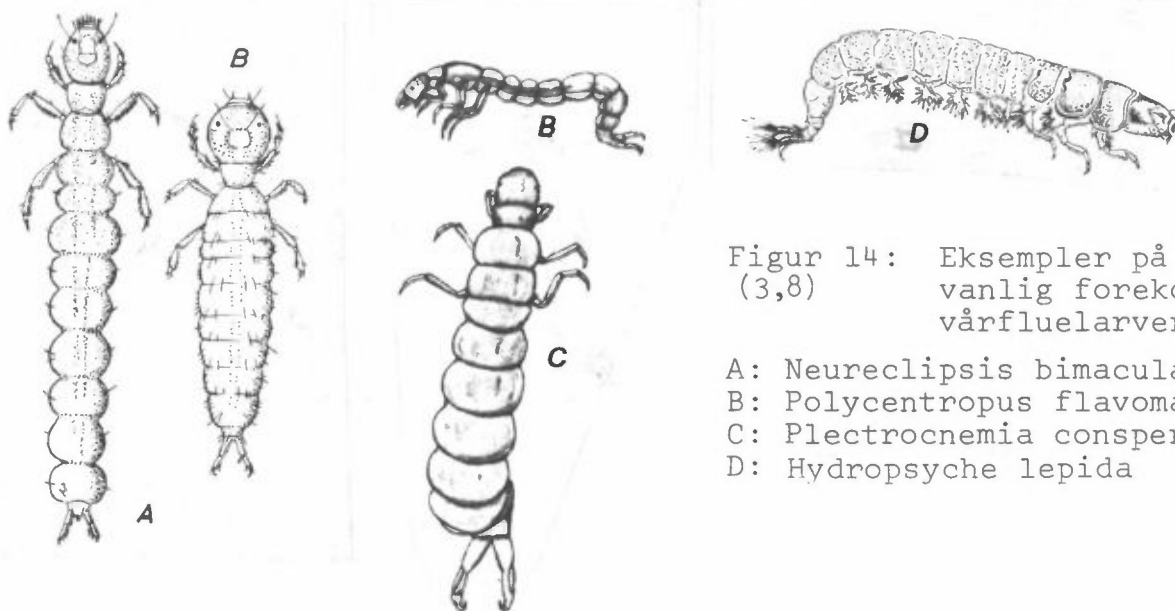
Figur 12: Mosdyr og litt om oppbygging av disse. (4,8)



Vårfluer

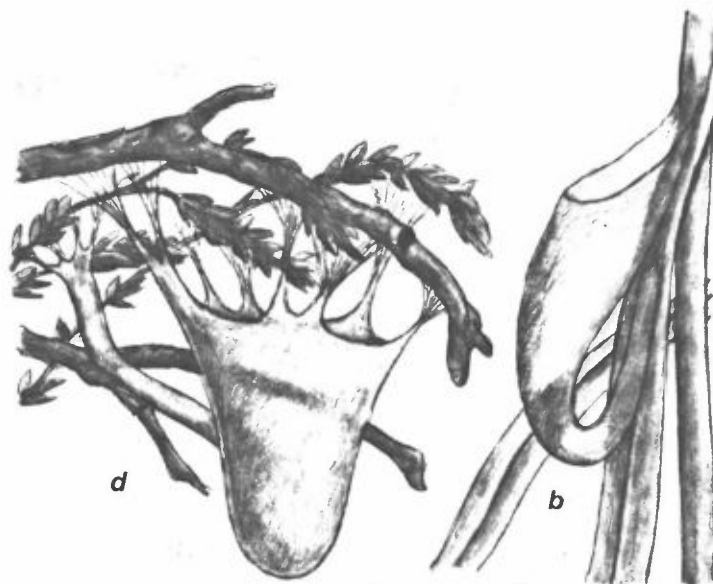
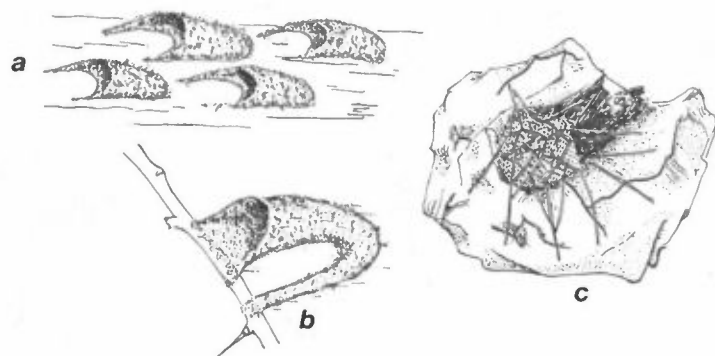
206. *Trienodes bicolor*. - 207. *Mystacides longicornis*. - 208. *Athripsodes aterrimus*. - 209. *Rhyacophila fasciata*. - 210. *Limnephilus rhombicus*; a. sett ovenfra. - 211. *Grammotaulius atomarius*. - 212. *Nemotaulius punctatolineatus*. - 213. *Phryganea grandis*.

Figur 13: Eksempler på vårfluer. (8)



Figur 14: Eksempler på de vanlig forekommende vårfluelarver. (3,8)

- A: *Neureclipsis bimaculata*
- B: *Polycentropus flavomaculatus*
- C: *Plectrocnemia conspersa*
- D: *Hydropsyche lepida*



Figur 15: Eksempler på vårfluelarvers fangnett.

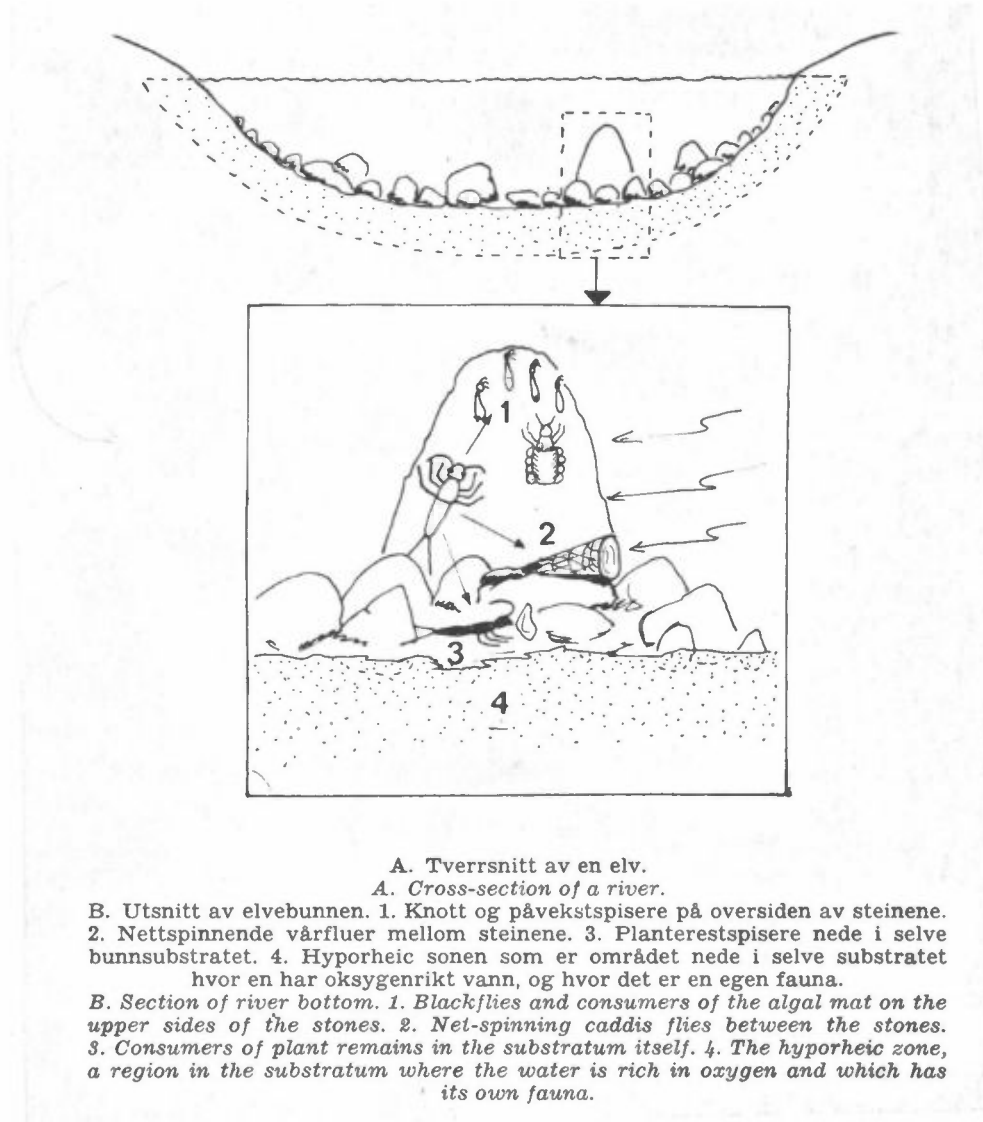
(3,8)

a: *Polycentropus flavomaculatus*

b: *Neureclipsis bimaculata*

c: *Hydropsyche*

d: *Plectrocnemia conspersa*



Figur 16: Vårfluelarver i sitt naturlige miljø (9).

Flere av disse larvene synes å foretrekke å slå seg ned på jern-
gjenstander. En finner dem derfor svært ofte på siler og damluker
og i rør i vannverk. Her kan de opptre i slike enorme mengder at
de hemmer vannstrømmen og skaper problemer. Larvene har framtrukket
hode og kraftige ben. De kan leve i sterkt strømmende vann og i
relativt store dyp. 15 - 20 meters dyp synes således ikke å være
noen hindring. De synes heller ikke å være avhengig av lys. De
arter som særlig omtales i litteraturen i denne sammenheng er
Neureclipsis bimaculata og *Polycentropus flavomaculatus*.

NILU har foretatt en del undersøkelser blant annet i Glomma-vassdraget.
Her synes den dominerende larven å tilhøre genus *Hydopsyche*. En vil
komme tilbake til dette siden.

3.2 Vårfluelarver og korrosjon

Undersøkelser viser at på jerngjenstander dannes det ofte omkring vårfluelarvens nett etter hvert en rustknote. (1). Disse rustknutene kan etter få år være oppe i størrelse med en halv valnøtt, og kan finnes over alt på de vannberørte deler i et kraftanlegg. Nå synes disse rustknutene å likne mye på de en setter i forbindelse med bakterievirksomhet, og i mange tilfelle kan en neppe avgjøre om det "skyldes" det ene eller det andre.

Rustknutene har et typisk utseende. De er regelmessige og kjegleformet, og kan sitte meget tett på flater som forøvrig kan være lite angrepet. Ofte er malingen mellom knutene helt intakt. Under knutene finner en groptæringer med vanlig dybde på 1/15 - 1/20 av høyden på rustknuten, men en kan også finne groper som er langt dypere. Knutene er på utsiden vanligvis mørkt brune, men kan også være lyst gulbrune til rødlige. Det indre av dem er gjerne lysere gulbrunt. Knutene tåler lite trykk. Trykker en med fingeren på dem, faller de sammen i et gulbrunt "mel".

I litteraturen finner en utsagn som setter korrosjon i forbindelse med vårfluelarver. Dette synes å være basert på iakttagelser av vårfluelarver i korrosjonsproduktene, ikke seriøse undersøkelser om hva som er årsak og hva som er virkning. Således bør man stille spørsmål om vårfluelarven hefter seg til jernet ved hjelp av korrosjonsproduktene, eller om de fester seg og så framkaller korrosjon.

Flere hypoteser har vært framkastet m.h.t. mekanismen for korrosjonsframkalling, fra tildekningskorrosjon til at larven utskiller et organisk korrosjonsframkallende stoff. Hvis vårfluelarven er korrosjonsframkallende er det overveiende sannsynlig at mekanismen er tildekningskorrosjon med dannelse av elektrokjemiske korrosjonsceller slik som beskrevet for bakterier.

Tilsvarende som for jernbakterier er det flere som betviler vårfluelarvens betydning for tuberkeldannelser. Ikke desto mindre er spørsmålet et stadig tilbakevendende tema (1). Av denne grunn og fordi en som nevnt innledningsvis gjerne ville se korrosjonsproblematikken i forbindelse med vannkraftverk i sammenheng, har NILU foretatt en del befaringer til forskjellige kraftverk.

4 BEFARINGER OG UNDERSØKELSER FORETATT AV NILU

Høsten og fram til årsskiftet 73/74 ble det foretatt befaringer ved Suvdøla kraftverk i Drangedal og ved flere kraftverk i Glomma-vassdraget (Vamma, Kykkelsrud og Rånåsfoss). Hensikten med disse besøkene var å se nærmere på de korrosjonsfenomener en hadde på slike steder, samt å innhente prøver av korrosjonsprodukter for nærmere studier. Det var åpenbart at ved samtlige av disse kraftverk var det store korrosjonsproblemer.

4.1 Suvdøla kraftverk i Drangedal

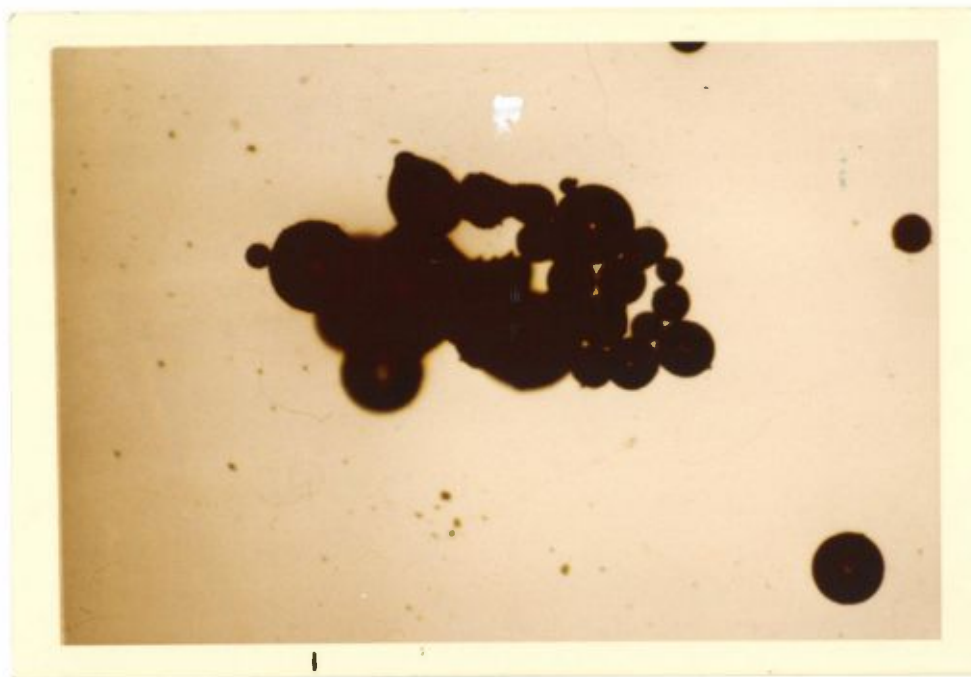
Her var det alvorlige korrosjonsangrep inne i rørgatene, særlig i forbindelse med sveiseskjøtene (2). Det ble innsamlet en del tuberkler for analytisk bestemmelse av komponentene (2) og for undersøkelse i mikroskop.

Tuberklene hadde en viss sjiktning, men ikke så distinkt som en ofte ser. De besto av mørke brune til sorte, sprøe jernforbindelser med litt magnetitt. Inne i mellom var der lysere bløte partier, som var lyst brune til gulbrune av farge, med melaktig konsistens. En eienommelighet var en mengde helt runde, sorte kuler (figur 17) som delvis var hule. Deres størrelse var for det meste rundt 0,1 mm. Noen var en del mindre og en del var omkring 1 mm. De store hadde gjerne utvekster av små kuler. Kulene viste seg å være magnetitt (testet med magnet) og de ble lokalisert i sprekker og hulrom i tuberklene.

Prøvene ble transportert i tørr tilstand, og det var ikke mulig med sikkerhet å fastslå bakterievirksomhet. En hel del inkrusterte trådfragmenter kunne tyde på at bakterier har vært tilstede, uten at en kan si noe nærmere om dette. Tuberklene inneholdt ikke påvisbart mangan (brunstein). Til påvisning av fir-verdig mangan ble det brukt leucomalakitt-grønt).

Det ble ikke funnet spor etter vårfluelarver.

Siden ble det tatt fuktige rustprøver utenfor rørgata, hvor det ble påvist bakterien Gallionella. Forholdene i vannet skulle altså i og for seg gi grunnlag for Gallionella-virksomhet. Noe usikker var påvisningen av Lepothrix, men også den synes å forekomme.



Figur 17: Bildet viser magnetitt-kuler funnet i
tuberkler fra Drangedal (jmfør teksten)

Figur 18: Gallionella-bakterier med ulik
inkrustasjonsgrad.

4.2 Glommavassdraget

4.2.1 Kykkelsrud og Vamma

Samme dag vi besøkte Kykkelsrud ble vannet tappet ut fra en kanal ned til turbinene. Grovsilene ble dermed blottlagt og en kunne studere korrosjonsforholdene på disse. Vanndybden i denne kanal kunne være 15 - 20 meter, og de nesten vertikalt stilte silene var av samme høyde. Under avtappingen hadde dessverre isen fart nok så ille med organismene og deres miljø, slik at utbytte av befarelsen av den grunn ble noe redusert.

Silene var dekket av et 1 - 2 mm tykt magnetittsjikt som lett flaket av. Dette viste seg i overflaten å gi kraftig respons på Mn-testen. Overalt kunne en finne fangnett til vårfluelarven festet til korrosjonsproduktene. Særlig konsentrert var nettene i sprekker, kløfter, vinkler og i forbindelse med tuberkler. Men de var også å finne på de relativt flate magnetittflatene. Rett under silene, på bunnen, hadde tusener av vårfluelarver og også andre dyr falt ned og lå og kravlet i små dammer som forøvrig inneholdt store mengder gul-orange slam. Dette slamm, hvis opprinnelige tilholdssted er noe usikkert, viste seg å bestå av praktisk talt bare *Gallionella*-bakterier (figur 18). Da inkrustasjonen her var liten, var dette slamm velegnet for mikroskopering. Foruten arten *Gallionella ferruginea* kunne en også se en annen bakterie som Beger har betegnet *Spirosoma*-Typus (figur 9). Den har form omtrent som en fleksibel spiralformet telefonrørledning. Det har ikke vært mulig å skaffe ytterligere opplysninger om denne bakterien, som det imidlertid var relativt lite av.

En annen vårfluelarve som ble funnet i samme miljø var *Rhyacophila nubila*. Dette er en meget utbredt og vanlig art tilhørende familien *Rhyacophilidae*. Den er ikke nettspinnende, men et aktivt rovdyr, og kan således ikke ha noen sammenheng med korrosjonsproblematikken.

Et par tuberkler fra Kykkelsrud ble undersøkt (figur 19). Diameteren på disse var 15 - 20 mm, høyden noe over 5 mm. Innerst hadde en her et relativt stort område som synes å bestå for det meste av trådfragmenter av *Gallionella* sammen med jernoksydhydrater. Der var også litt mineralkorn samt fragmenter av kiselalger. Mens den indre del var en melaktig masse, besto de ytre deler av fastere sprøtt materiale. Dette var

magnetitt. Der var flere tynne magnetittsjikt med den tidligere nevnte melaktige masse mellom. Tuberklene var nokså glatte på utsiden. Noen steder på utsiden trengte magnetittlaget gjennom, men de fleste steder hadde en mer eller mindre mørke brune jernoksyder. Spor etter vårfluelarver kunne ikke sees inne i tuberklene, men på en av dem var det ytterst klebet et fangnett til et magnetittunderlag.

Tuberklene ga et svakt positivt utslag på fir-verdig Mn.

På siler som nettopp var utskiftet med nye kunne en finne groper på omkring 1 cm dybde under meget langtkomne tuberkler. Silene hadde vært under vann i ca 15 år.

Genus *Hydropsyche* var den dominerende vårfluelarve på Vamma og Kykkelsrud. Nettet er godt bardunert til underlaget og ikke frittsvevende (figur 15 c) som f.eks. nettet til arten *Neureclipsis bimaculata*.

Nettene observeres svært ofte i forbindelse med korrosjonsprodukter, men vi så også en mengde nett inne i et avlukket rør foran en filteranordning. Her så en at larvene hadde foretrukket å spenne nettene sine i hjørner. Jernet var her overflatebehandlet og praktisk talt fritt for rust.

En nevner også at under en mer tilfeldig befarings i Hobøl elva fant man store mengder av arten *Philopotamus montanus* tilhørende familien *Philopotamidae*. Disse ble funnet under en rusten jernplate som lå under vann. Arten er nettspinnende.

4.2.2 Rånåsfoss

På Rånåsfoss kunne man observere enorme mengder nett fra *Hydropsyche*, både på vertikale betongvegger og på stålhvelvningene i forkant av damlukene. På de sistnevnte fant en sammen med vårfluelarvenettene rusttuberkler i flere korrosjonsstadier (figur 20). Diameteren på nettene var 10 - 30 mm. Nettene blir temmelig unnselige i tørr tilstand.

Tuberkler fra Rånåsfoss ble undersøkt. De besto innerst av mer og mindre gulbrune lag. I de ytre deler hadde en et ca. 150 μ magnetittsjikt. Deretter et rødlig brunt melaktig lag. Dette lag var de fleste steder adskillig tykkere enn magnetittlaget. Aller ytterst hadde en et tykt sprøtt mørkere sjikt som inneholdt mye brunstein. *Gallionella*-bakterier kunne også påvises her. Inkrusterte bakterier kunne en forøvrig finne flere steder gjennom tuberkelnittet.

Figur 19: Tuberkler på en jerngjenstand funnet i bunn av en vannkanal på Kykkelsrud.

Figur 20: Vårfluenett og rusttuberkler på stålhvelving foran damluke, Rånåsfoss.

4.3 Sammendrag

De besøkte kraftverk har tildels store korrosjonsproblemer. Alle steder har man kunnet påvise den sannsynligvis korrosjonsfremkallende jernbakterien Gallionella. Bortsett fra i Drangedal, hvor man kun har sett på forholdene inne i rørgaten, har man i de besøkte kraftverk også funnet vårfluelarver i forbindelse med korrosjonsprodukter. Den dominerende larven er nettspinnende og tilhører genus Hydropsyche. Også andre larver er identifisert.

På grunn av de store mengder korrosjonsprodukter er det umulig å finne en eventuell sammenheng mellom vårfluelarver, deres fangnett og korrosjon. Selv om vi finner vårfluelarver i forbindelse med korrosjonsproduktene, har vi ennå ikke kunnet finne nettfragmenter inne i selve tuberkelmassen.

Hvis vårfluelarven og dens nett fører til øket korrosjon er det sannsynlig at mekanismen er tildekningskorrosjon (2.3.1). Problemstillingen synes å være følgende: Vil festing av nett til uangrepet jern/stål blokkere oksygentilgangen slik at korrosjonsceller derved oppstår, eller tjener naturlig forekommende rusttuberkler kun som festepunkter for vårfluelarvenett slik at disse egentlig ikke påvirker korrosjonen?

En annen mulig mekanisme er at forråtnelse av det oppsamlede organiske materiale gir svovelforbindelser som i seg selv kan akselerere korrosjonen.

Disse spørsmål er det umulig å finne ut av ved undersøkelse av langt framskreden korrosjon på flere år gamle konstruksjonsdetaljer. Man må studere initieringsfasen, og i den hensikt har vi hengt ut 2 prøver på Rånåsfoss kraftverk. Prøvene er laget av Sørumsand Verksted og utformet med tanke på å simulere strømningsforhold omkring ulike konstruksjonsdetaljer. De er sandblåst og blymønjemalt. Figur 21 viser en av prøvene etter 3 dagers eksponering foran damluken. Det er foreløpig ingen korrosjonsangrep. Vi vil inspisere prøvene med jevne mellomrom for om mulig å kunne komme fram med en konklusjon om vårfluelarvens betydning.

Helt til slutt i dette notat følger noen tegninger av de vårfluelarver vi har funnet, og som kan være til hjelp ved identifikasjon. Videre følger også en rettleiding for optisk påvisning av fangnett.

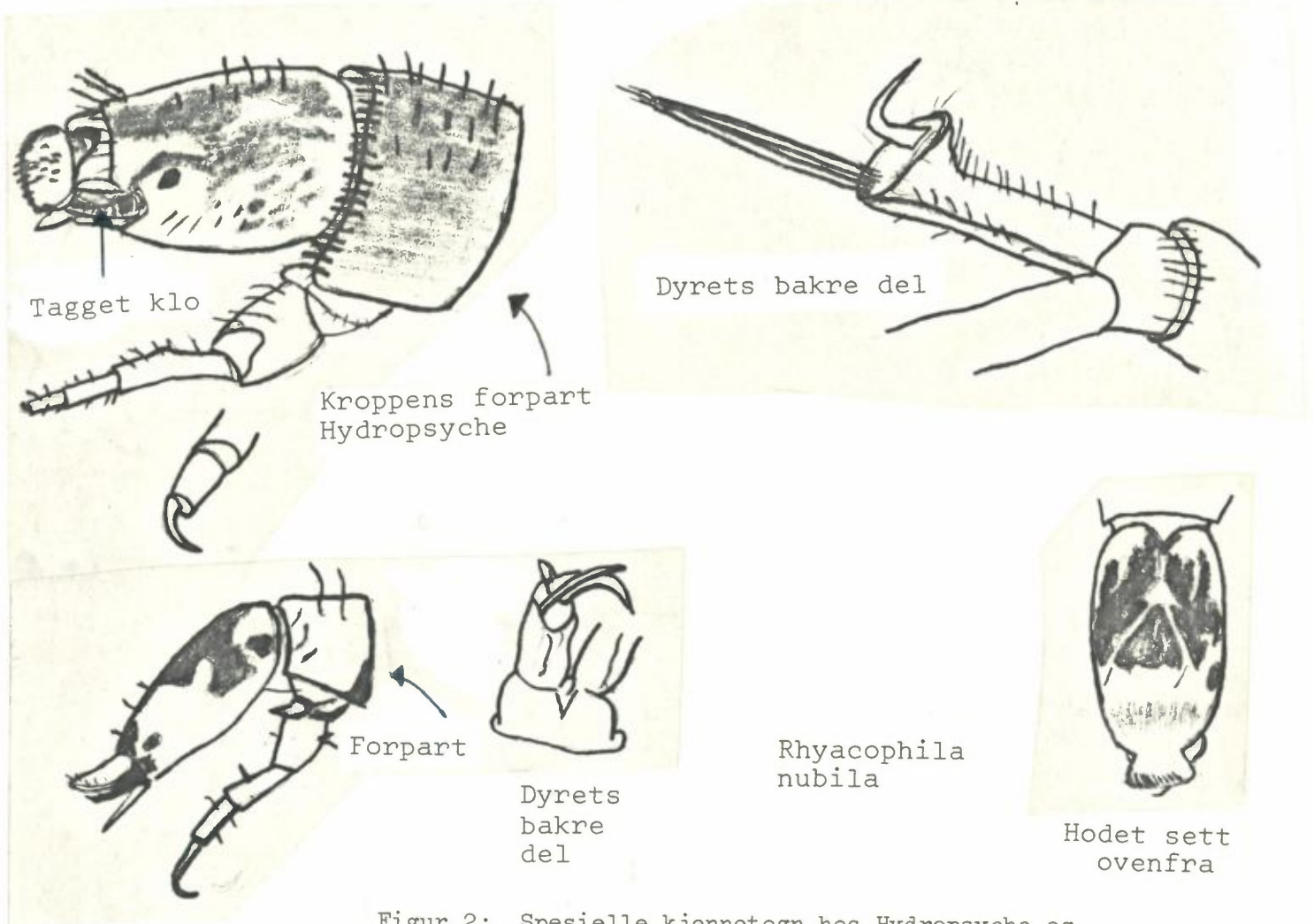
Figur 21: Stålprøve utsatt på Rånåsfoss for studie av eventuell vårfluekorrosjon

5 LITTERATURHENVISNINGER

- (1) Römcke, N. Korrosjon i vannkraftverk.
(Tidsskrift: Korrosjons-nytt, nr 5; oktober 1973).
- (2) Haagenrud, S.E. Undersøkelse av korrosjonsforholdene ved Suvdøla kraftverk, NILU oppdragsrapport nr 78/74, mars 1974.
- (3) Beger, H. Leitfaden der Trink- und Brauchwasserbiologie. (G. Fischer Verlag, Stuttgart 1966.)
- (4) Ormerod, K. Problemer med slam og dyr i distribusjonsnett for vann. (Foredrag - NIVA 1973.)
- (5) Wranglén, G. An introduction to corrosion and protection of metals. Butler & Tanner Ltd., Frome and London, 1972.
- (6) Olsen, E., Szybalski, W. Aerobic Microbiological Corrosion of Water Pipes. (Tidsskrift: Acta Chemica Scandinavica, Vol. 3, 1949, side 1094.)
- (7) Thornhill, R.S. Experimental approach to the problem of tuberculation by waters. (Tidsskrift: Chemistry and Industry, Dec. 1951, side 1201.)
- (8) Munthe-Kaas Lund, H. Dyreliv i vann og vassdrag. (Cappelens forlag 1972.)
- (9) Lillehammer, A. Insektfaunaens fordeling og næringsgangen i vassdrag. (Ferskvannsbilogisk informasjon fra Universitetets Zoologiske Museum, Oslo, nr 3, 1973.)
- (10) Hichin, Caddis Larvae. (Larvae of the British Trichoptera) 1967.
- (11) Lepneva, S.G. Fauna of the U.S.S.R. Trichoptera. (1964.)
- (12) Societas Entomologica Lundensis: Opuscula Entomologica. (Forslund, Tieder 1942.)

BILAG A

Figur 1: Hydropsyche. Vil en oppbevare slike dyr til senere bruk, bør de legges i en sprit/vann løsning.



Figur 2: Spesielle kjennetegn hos Hydropsyche og Rhyacophila nubila. Det kan her nevnes at mønsteret på dyrenes kitiniserte deler kan variere en del innen samme art. Kitin er det hornstoff dyrenes pansere og hardere deler er bygget opp av.

IDENTIFIKASJON AV VÅRFLUELARVENS FANGNETT (HYDROPSYCHE)

Disse undersøkelser gjelder nett fra den Hydropsyche-art som er funnet i Glommavassdraget og som tidligere er avbildet i dette notat. Hvorvidt dette nett's optiske egenskaper også er representative for andre arter er ikke undersøkt.

Nett-trådene (figur 3) er perfekt glatte og har en diameter fra ca. 5 til 15 μ , vanligvis omkring 10 μ . En ser at i koblingspunktene vides tråden sterkt ut og blir også mye tynnere. Selv om trådene stort sett er runde kan de ofte synes mer og mindre deformert, vridd og utflatet.

Brytningsindeks (N_D^{25}) er omkring 1,55 både på langs og på tvers av tråden.

Ved optisk undersøkelse fuktes trådene først med vann. For å rense trådene noe er det en fordel å ultralydbehandle dem noen sekunder. Deretter dyppes de i alkohol og legges på objektglass for tørking en kort tid. En har så på immersjonsvæske ($N_D^{25} = 1,55$) og til slutt legges et dekkglass over det hele.

Ved "dispersion staining" teknikk fremkommer da trådene i blå og blågrønne randfarger (m/sentralblender) (figur 4). I noen sjeldne tilfelle kan en få orange og purpur farger som indikerer at brytningsindeks da er noe lavere enn 1,55. Endrede optiske egenskaper kan igjen bety noe forskjellig kjemisk sammensetning.

Figur 3: Nett til Hydropsyche (Dark-field)

Figur 4: Nett til Hydropsyche. Anvendt "dispersion staining"-
teknikk med sentralblender. Immersjonsvæske
 $N_D^{25} = 1.55$

Det understrekes at en ikke kan utføre vellykkede optiske undersøkelser dersom nettene er oppbevart i sprit, da spriten endrer de optiske egenskapene.

Med kryssede nicols vil trådene være i utslukningsposisjon i N-S og Ø-V retning. (En tenker seg da synsfeltets retninger som på et kart). Filtrene fremkommer i gråtoner.