

# Sommerhilsen fra innsjøenes underverden: *Lamprocystis roseopersicina* i Muskedalstjernet, Østfold

Olav M. Skulberg og Thomas Rohrlack

Skulberg, O.M. & Rohrlack, T. 2008. Sommerhilsen fra innsjøenes underverden: *Lamprocystis roseopersicina* i Muskedalstjernet, Østfold. Blyttia 66:124-133.

Summer greeting from the underworld of lakes: *Lamprocystis roseopersicina* in lake Muskedalstjernet, Østfold county, Norway.

Ultimo July 2005 a remarkable biological phenomenon took place in the small forest lake Muskedalstjernet, Østfold, Norway. People using the tarn for bathing noticed a sudden change in the clearness and colour of the water. They observed white fluffs incessantly coming towards the surface, and the water in the lake visibly turned pink. A mass occurrence of the microorganism *Lamprocystis roseopersicina* (Chromatiales) caused the event that lead to the survey here reported.

Muskedalstjernet is a 12 m deep waterbody in an afforested hilly landscape with some minor bogs and other wetlands. The water quality is characterized by a low concentration of suspended matter, relatively high values for colour and total organic carbon (humic water), and low content of mineral salts according to the bedrock type. The dystrophic nature of the pelagic water is reflected in the species composition of the phytoplankton.

The survey indicated that Muskedalstjernet is a spring meromictic waterbody (Åberg & Rodhe 1942) with an anaerobic zone confined to the water above the mud sediments (dygtytje). Mass development of sulphur bacteria takes place in the adjacent water layers. Studies of the anoxygenic phototrophic bacterial community of the water column were performed in March and August 2006. The microbial processes in the anaerobic part of the deep water are significantly influenced by the abundance of the phototrophic bacteria *L. roseopersicina*. The maximum number of colonies recorded of the species in the bottom water was approximately  $5 \cdot 10^6$  per litre in winter, and correspondingly  $8 \cdot 10^6$  per litre in summer. The colonies differ in size, and single cells (flagellated and non-flagellated) form a part of the life-cycle. The numbers quoted therefore only give an indication about the favourable position of the population in response to the vertical distribution of environmental factors. Several other species of bacteria – not identified – composed the majority of microorganisms in the deep of hypolimnion.

The only other bacterium isolated from the pelagic community of Muskedalstjernet was *Chromobacterium violaceum* Bergonzini 1881. This facultatively anaerobic species was almost to be regarded as an accompanying organism to *L. roseopersicina* in the bacterial microflora of the tarn. *C. violaceum* with its brightly, blue-violet pigmented colours, turned up on most of the surface spread plates (pepton media) inoculated with water from different depths of the lake.

The phenomenon with the pink water in Muskedalstjernet observed 2005 was an episodic event. Still we do not know how it happened and what factors triggered the transport (displacement) of the *L. roseopersicina* population up from its indigenous sheltered lodging in the dim, deep water.

Olav M. Skulberg & Thomas Rohrlack, Norsk institutt for vannforskning, Gaustadalléen 21, NO-0349 Oslo  
olav.skulberg@niva.no

## Fenomenet

Det hender at vi mennesker står overfor situasjoner hvor noe merkelig finner sted, noe som umiddelbart virker uforståelig, og samtidig vekker en intens

nysgjerrighet. Slik ble det for folk som benyttet det idylliske Muskedalstjernet til badeplass. I årets varmeste sommerdager 2005 begynte det å merkes forandringer i vannets kvalitet og utseende. Hvite



**Figur 1.** Muskedalstjernet, et vårmeromiktisk skogsvatn i Østfold.  
*Muskedalstjernet, a spring meromictic forest lake in Østfold, Norway*

fnokker kom stadig til syne, og glass med vann fra tjernet hadde preg som av svak, lyserød bringebærsaft.

I et brev til NIVA het det: «...På morgenen 22. juli tok vi et bad. Det var en del av disse hvite flakene i vannet, men vi badet likevel. På kvelden gikk vi for å bade igjen. Da var det helt tett av disse hvite flakene så langt jeg kunne se ned i vannet. Det kan virke som flakene kommer fra bunnen av tjernet. Kan du være behjelpelig med å ta en analyse av dette så fort du kan, da dette vannet blir brukt til husholdning og drikkevann til dyra våre.»

Dette brevet og flasken med lyserødt vann hvor hvite fnokker drev omkring, gjorde det overbevisende at vi her sto overfor en uvanlig begivenhet. Det skulle bli interessant å komme til bunns i problemet, og det i bokstavelig forstand. For vannets sære gåter dølgjes sedvanlig i en dypets verden, skjult for oss. Det var bare å sette i gang med mikroskop, filtre og kulturskåler. En kriblende følelse av spenning ga litt ekstra klirring i glass på NIVA disse dagene mens arbeidet sto på.

## Lokaliteten

Muskedalstjernet (figur 1) er en liten vannforekomst på grensen mellom kommunene Spydeberg og Våler i Østfold. Det er et tjern – 137 m o.h. – omgitt stort sett av barskog. Unntatt skogsdrift, er det moderat menneskelig aktivitet i nedbørfeltet. Overflatearealet til tjernet er om lag 50 dekar, største målte dyp er 12 m. Utløpsbekken fører til Hobølevvassdraget (Morsa). I 1939 ble Muskedalstjernet senket ca 75 cm «slik at ovenforliggende myr blir tørrlagt» (Skulberg 1982).

Navnet «Muskedalen» er etymologisk omdiskutert (Hoel 2001). Men ordet *musk* benyttes om tåkeregner og duskregner, noe som kan være betegnende til å uttrykke forhold i området det gjelder.

Bortsett fra én prøvetaking i Muskedalstjernet i februar 1985, har det ikke vært gjort limnologiske observasjoner på lokaliteten før undersøkelsen i 2005–2006 som behandles i denne artikkelen.

Vannkvaliteten i Muskedalstjernet (tabell 1, 3) er preget av sin surhet, høye vannfarge, lave turbiditet og sitt beskjedne mineralinnhold. Det er humusstoffer som betinger den gulbrune fargen på vannmas-

sene. Lokaliteten kan karakteriseres som dystrof (Wetzel 1975), både basert på de fremherskende kjemiske forhold og planktonsamfunnet (tabell 2).

## Metodene

Det ble foretatt feltarbeid med innsamling av vannprøver 28. juli 2005, 9. mars og 3. august 2006, samt 6. juli 2007. Observasjonene som ble gjort 18. februar 1985 er også rapportert her.

**Prøvetaking** ble foretatt i det dypeste området av tjernet. Arbeidet ble utført i henhold til vanlig praksis ved limnologiske undersøkelser (Vennerød 1984). Kjemiske og biologiske analyseserier foregikk ved laboratoriene til Norsk institutt for vannforskning (NIVA) i Oslo.

**Vannkjemi.** Metodene som ble benyttet var de rutinemessige for hydrokjemiske analyser ved instituttet (NIVA 2005).

**Tabell 1.** Hydrografiske feltmålinger. Muskedalstjernet. Konduktivitet i mS/m. Oksygen i mg/l. Strek: ikke målt.

*Hydrological field measurements. Lake Muskedalstjernet. Conductivity in mS/m. Oxygen in mg/l. Dash: no measurement.*

Prøvedyp	18.02.1985				09.03.2006				03.08.2006			
	°C	Kond	pH	O <sub>2</sub>	°C	Kond	pH	O <sub>2</sub>	°C	Kond	pH	O <sub>2</sub>
m	0,1	-	-	-	0,1	-	-	-	22,2	3,47	5,2	8,1
0	2,1	4,95	5,2	-	2,4	3,9	5,6	-	21,9	3,48	5,2	7,8
1	-	-	-	-	-	-	-	-	19,8	3,51	5,0	9,1
2	3,6	4,14	5,3	-	-	-	-	-	11,3	3,64	4,8	5,7
3	-	-	-	-	-	-	-	-	6,5	3,84	4,5	5,1
4	-	-	-	-	-	-	-	-	4,1	3,87	4,5	4,3
5	3,7	5,18	5,2	-	3,9	3,4	5,3	-	4,1	3,99	4,4	3,8
6	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	4,06	4,3	2,3
7	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	4,13	4,4	1,3
8	3,9	4,33	5,5	-	4,0	5,8	5,7	-	3,9	4,15	4,4	1,1
9	-	-	-	-	-	-	-	-	4,0	4,12	4,6	0,6
10	4,0	4,74	5,3	-	3,9	-	-	-	4,0	5,26	5,5	0,4
11	-	-	-	-	-	7,5	6,9	-	4,2	15,65	5,8	<0,4
12												

**Tabell 2.** Muskedalstjernet. Vanlige mikroalger i planktonet. Materiale i håvtrekkprøver – 25 µm.

*Lake Muskedalstjernet. Common planktic microalgae. Material in net samples – 25 µm.*

28.07.2005	03.08.2006	06.07.2007
<i>Aulacoseira islandica</i>	<i>Ankistrodesmus gracilis</i>	<i>Aulacoseira islandica</i>
<i>Botryococcus braunii</i>	<i>Botryococcus braunii</i>	<i>Botryococcus braunii</i>
<i>Chromatium</i> sp.	<i>Cryptomonas marsonii</i>	<i>Cryptomonas marsonii</i>
<i>Cryptomonas marsonii</i>	<i>Cryptomonas ovata</i>	<i>Cryptomonas ovata</i>
<i>Desmidium swartzii</i>	<i>Desmidium swartzii</i>	<i>Cryptomonas platyuris</i>
<i>Dinobryon bavaricum</i>	<i>Dinobryon bavaricum</i>	<i>Dinobryon bavaricum</i>
<i>Euglena klebsii</i>	<i>Frustulia rhomboides</i>	<i>Elakathrix genevensis</i>
<i>Frustulia rhomboides</i>	<i>Gloeococcus schroeteri</i>	<i>Euglena klebsii</i>
<i>Lamprocystis roseopersicina</i>	<i>Mallomonas caudata</i>	<i>Frustulia rhomboides</i>
<i>Micrasterias thomasiana</i>	<i>Merismopedia</i> cf. <i>glauca</i>	<i>Gloeococcus schroeteri</i>
<i>Peridinium cinctum</i>	<i>Micrasterias thomasiana</i>	<i>Mallomonas</i> cf. <i>fastigata</i>
<i>Peridiniopsis edax</i>	<i>Peridinium cinctum</i>	<i>Micrasterias thomasiana</i>
<i>Scenedesmus asymmetricus</i>	<i>Pinnularia gibba</i>	<i>Peridinium cinctum</i>
<i>Scenedesmus denticulatus</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i>	<i>Pinnularia gibba</i>
<i>Synedra ulna</i>	<i>Woronichinia naegeliana</i>	<i>Tabellaria flocculosa</i>
<i>Tabellaria flocculosa</i>		<i>Xanthidium armatum</i>
<i>Xanthidium armatum</i>		

**Tabell 3.** Hydrokjemiske analyseresultater. Muskedalstjernet. Strek: ikke analysert.  
*Results of hydrochemical analysis. Lake Muskedalstjernet. Dash: not analysed.*

Dato	Dyp m	Farge mg Pt/l	Turbiditet FNU	Tot.P µg P/l	Tot.N µg N/l	TOC Mg C/l	Klorid Mg Cl/l	Sulfat Mg SO <sub>4</sub> /l
18.02.1985	0	-	-	-	-	-	-	-
	1	74,3	0,57	6,5	650	11,4	5,8	7,7
	2	-	-	-	-	-	-	-
	3	62,0	0,61	5,5	530	9,63	4,7	6,2
	4	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-	-
	6	71,4	0,66	7,5	650	11,7	5,9	7,8
	7	-	-	-	-	-	-	-
	8	-	-	-	-	-	-	-
	9	60,8	0,62	7,0	580	9,51	4,9	6,4
	10	-	-	-	-	-	-	-
	11	72,1	1,0	19,0	770	11,8	5,3	7,2
12	-	-	-	-	-	-	-	
28.07.2005	0,5	88,0	-	8,4	690	12,4	5,84	3,50
09.03.2006	0	-	-	-	-	-	-	-
	1	85,5	0,53	6,1	515	11,1	6,04	3,66
	2	-	-	-	-	-	-	-
	3	41,8	0,52	3,1	510	6,7	5,35	3,51
	4	-	-	-	-	-	-	-
	5	-	-	-	-	-	-	-
	6	-	-	-	-	-	-	-
	7	-	-	-	-	-	-	-
	8	-	-	-	-	-	-	-
	9	94,4	0,57	7,0	495	11,3	5,95	3,60
	10	-	-	-	-	-	-	-
	11	-	-	-	-	-	-	-
12	228,0	8,28	46,1	2400	16,9	6,75	1,19	
03.08.2006	0	87,5	-	-	-	-	-	-
	1	-	-	9,0	385	9,2	5,28	3,54
	2	-	-	12,1	375	10,4	5,19	3,35
	3	-	-	10,1	425	10,3	5,33	3,33
	4	-	-	6,0	510	10,8	5,45	3,43
	5	-	-	5,2	500	10,5	5,63	3,49
	6	-	-	6,1	485	10,6	5,78	3,54
	7	-	-	7,0	485	10,7	5,79	3,45
	8	-	-	7,0	510	10,6	5,96	3,58
	9	-	-	7,1	520	10,7	5,96	3,59
	10	-	-	23,0	560	11,4	6,09	3,72
	11	-	-	28,0	1155	14,2	6,29	1,93
12	-	-	77,2	7200	23,4	9,66	0,37	

**Boks 1.** Fysiologiske karakteristika for *L. roseopersicina* (Biebl & Pfennig 1979)  
*Physiological characteristics for L. roseopersicina* (Biebl & Pfennig 1979).

- Akvatisk bakterie
- Fotosyntetisk uten oksygenutskillelse
- bakterieklorofyll Bakt.a
- cytochrome C2
- karotenoidene lycopenal og lycopenol

Livsbetingelser:

- anoksisk miljø
- CO<sub>2</sub> til stede
- H<sub>2</sub>S til stede
- lys til fotosyntese
- tilgang på vitamin B<sub>12</sub>

**Plankton.** Materialet omfattet kvantitative prøver, vann i sterilflasker (250 ml) og organismer innsamlet med planktonhåv (25 µm maskeåpning). Organismene ble undersøkt levende og i formalinkonserverte prøver (binokularlupe, mikroskop).

**Kulturforsøk.** Oppdyrking av prokaryote og eukaryote mikroorganismer ble foretatt for påvisning og identifikasjon. Metodene som ble benyttet fulgte håndbøker i mikrobiologisk kulturteknikk (Stein 1973, Penn 1991).

**Lamprocystis.** Kvantitative analyser av forekomst av *L. roseopersicina* ble gjort ved mikroskopisk bearbeiding av sestonfiltre (Lindstrøm & Skulberg 1976). Det er kolonier av organismen som da blir registrert og tallet. Da *L. roseopersicina* også forekommer i små kolonifragmenter og som enkeltceller, gir telleresultatet bare et svar som tilnærmevis gjengir reell mengde av organismen.

**Tabell 4.** *Lamprocystis roseopersicina*. Systematisk plassering. *Lamprocystis roseopersicina*. *Systematic position*.

	Fenotypisk klassifisering (Häusler 1982)	Genotypisk klassifisering (Garity et al. 2005)
Klasse	Schizomycetes	(III) Gammaproteobacteria
Underklasse	Anoxyphotobacteriae	
Orden	Rhodospirillales	(I) Chromatiales
Underorden	Rhodospirillineae	
Familie	Chromatiaceae	(I) Chromatiaceae
Slekt	<i>Lamprocystis</i>	(VII) <i>Lamprocystis</i>
Art	<i>L. roseopersicina</i> (Kützing 1849) Schroeter 1886	«Art»: <i>L. roseopersicina</i>

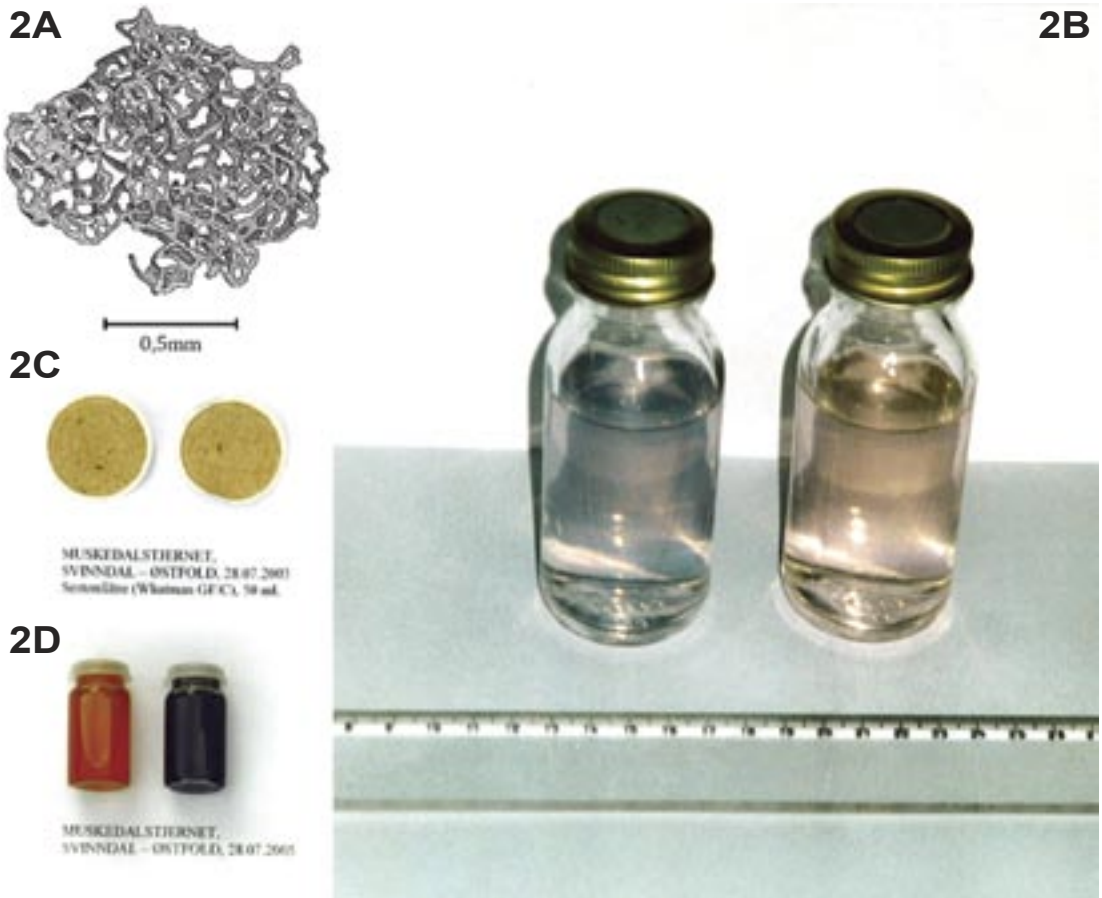
## Organismen

Det var en masseforekomst av den fototrofe bakterien *Lamprocystis roseopersicina* (Kützing 1849) Schroeter 1886 (figur 2) som hadde forårsaket fenomenet i Muskedalstjernet. Dette er en organisme tilhørende gruppen som i sin tid ble betegnet «purpursvovelbakterier». Arten *L. roseopersicina* ble først beskrevet av biologen Friedrich Kützing (1807–1893), da han i 1849 døpte den med «det klare, ferskenrosenrøde hylster» som artsnavn. Den skulle komme til å få en sentral plass i biologiens historie (Pfennig 1978).

*L. roseopersicina* utvikler seg med «bringeberliknende», nettformede kolonier. Koloniene varierer i størrelse, avhengig av alder og vekstbetingelser. De er synlige for øyet, og lar seg identifisere i vanlig lysmikroskopi. Cellene er ovale – 2,5 x 3,2 µm – omgitt av slim. De har gassvakuoler og avleiringer av elementært svovel i cellesubstansen. Organismen er obligat fototrof – med bakterieklorofyll a – og lever i akvatiske, anoksiske miljøer. Det røde fargepreget er forårsaket av karotenoidpigmenter som har funksjon i fotosynteseprosessen. Organismen er lysømfintlig, tåler oksygen dårlig, og når den dør dannes hvite fnokker. *L. roseopersicina* kan også optre med bevegelige enkeltceller ustyrt med polare flageller. Detaljerte beskrivelser av organismen er å finne i litteratur (Häusler 1982, Pfennig & Trüper 1992). I tabell 4 og boks 1 er det stilt sammen noen relevante holdepunkter om artens systematiske og fysiologiske forhold.

## Generelt om fototrofe bakterier

En tidligere artikkel i *Blyttia* (34: pp 53–66, Faafeng 1976) gir en utførlig pedagogisk behandling av fotosyntetiske bakterier og deres forekomst. Norske biologer har gitt viktige bidrag til forskningsarbeidet



**Figur 2.** Mikroorganismen som farget vannet lyserødt i Muskedalstjernet. **A.** Tegning av koloni til *Lamprocystis roseopersicina*. (Cohn 1875). **B.** Eksempel på vannets utseende 28.07.2005. Flasken til venstre på fotografiet inneholder destillert vann. **C.** Sestonfiltre hvor 50 ml innsjøvann er silt. **D.** De to sterkt pigmenterte mikroorganismene isolert fra Munkedalstjernet. Kulturen til venstre: *Lamprocystis roseopersicina*, kulturen til høyre: *Chromobacterium violaceum*.  
*The microorganism that coloured the water pink in Lake Muskedalstjernet. (Cohn 1875). B. Example of the waters appearance on 28.07.2005. The bottle to the left in the image contains distilled water. C. Sestonfilters with 50 ml sieved lake water. D. The two intensely pigmented microorganisms isolated from Lake Muskedalstjernet. The culture on left: Lamprocystis roseopersicina, the culture on right: Chromobacterium violaceum.*

knyttet til disse eiendommelige organismene. Noen eksempler kan nevnes. K.E. Eimhjellen utførte fysiologiske kulturstudier av purpursvovelbakterier, og beskrev nye arter i slektene *Thiocapsa* og *Thiococcus* (1970). J.G. Ormerod og R. Sirevåg gjennomførte omfattende eksperimentelle undersøkelser av fotosyntese og karbonstoffsiftet til røde og grønne svovelbakterier (1970, 1977, 1983). På det limnologiske arbeidsfeltet har norske lokaliteter vært interessante forskningsobjekter. Det gjelder bl.a. Pollen i Ås, Akershus (Faafeng 1976, Pfennig

1993) og Blankvatn, Oslo (Strøm & Østtveit 1948, Færøvig 1995).

Spesielt interessante marine lokaliteter er terskelfjorder med anoksiske miljøforhold. Framvaren i Farsund kommune, Vest Agder, er en slik fjord. Den har utpreget stagnerende bunnvannmasser (Skei 1983, Sørensen 1988). Disse særegne hydrografiske forhold blir først studert og beskrevet av Kaare Münster Strøm (1936). Framvaren har blitt en viktig lokalitet for forskning, med internasjonal posisjon (Skei & Dyrssen 1988).

Fototrofe prokaryoter omfatter to hovedgrupper av fysiologiske typer. De betegnes henholdsvis oksyofotobakterier (blågrønnalgene, med fotosyntese som hos alle fotoautotrofe eukaryoter, f.eks. landplantene) og anoksyfotobakterier (med bare ett fotosystem og bakterieklorofyll). Organismene i denne sistnevnte gruppen – hvor *L. roseopersicina* også inngår – har det til felles at de ikke benytter vann, men reduserte svovelforbindelser, molekylært hydrogen eller enkle organiske stoffer som elektrondonorer i sin fotosyntese (Gest et al. 1963). Basert på fenotypiske karakterer – Häusler 1982 – fordeler anoksyfotobakteriene seg i tre familier av «purpurbakterier» (Rhodospirillaceae, Chromatiaceae og Ectothiorhodospiraceae) og to familier av grønne fotobakterier (Chlorobiaceae og Chloroflexaceae).

Da molekylærbiologisk fylogeni ble mulig som basis for bakteriologisk taksonomi (Fox et al. 1977, Pfennig & Trüper 1992), kunne den tidligere systematiske behandling av de fototrofe bakteriene ikke lenger opprettholdes. Ny viten – med utgangspunkt i kjemotaksonomi, hvor 16S rRNA oligonukleotidsekvensering inngår – danner nå grunnlaget for den rådende fremgangsmåten innen systematisk bakteriologi (Garrity et al. 2005). Bare fem bakteriephyla har kjente organismer som kan gjennomføre klorofyllbasert fototrofi (tabell 5). Det viste seg imidlertid at familien Chromatiaceae – opprinnelig etablert 1907 av H. Molisch – utgjør én fylogenetisk enhetlig systematisk gruppe. Og denne familien kommer altså *L. roseopersicina* (tabell 4).

De første eksperimentelle undersøkelser av røde svovelbakterier ble gjort av S.N. Winogradsky (1888). Dette medførte et praktisk gjennombrudd for forskningen på denne organismegruppen. Tilsvarende ble det W. Bavendamm (1924), som gjennom undersøkelser av forekomst og livsrom til svovelbakteriene fremmet det relevante økologiske fagområdet. Det vokste videre frem et omfangsrikt

limnologisk forskningsfelt som belyste funksjon og betydning av de fototrofe bakteriene i naturen (Rutner 1938, Kusnezow 1959).

Synlig forekomst av purpursvovelbakterier kan periodisk observeres i anaerobe områder av små ferskvannslokaliteter (grøfter, dammer, stagnerende vannforekomster). Oppblomstringen inntreffer gjerne når hydrogensulfid blir dannet av sulfatreducerende bakterier i råtnende plantemateriale eller i organisk stoff fra forurensning.

Betydningsfulle lokaliteter for purpursvovelbakterier er innsjøer hvor det er vedvarende miljøbetingelser for disse organismene. Masseforekomst på slike steder blir bare observert ved prøvetaking i vannmassene på bestemte dyp. Det er om sommeren og tidlig høst at forholdene er optimale. Om vinteren er det beskjeden aktivitet av anoksygene fotosyntetiske organismer (Lunina et al. 2007).

Tre typer innsjølokaliteter blir regnet som særlig aktuelle for frodig utvikling av fototrofe bakterier (Pfennig 1978):

- Grønne innsjøer med anaerob sone hvor H<sub>2</sub>S bare er knyttet til bunnære sedimenter.
- Holomiktiske innsjøer under sommer-stratifisering, da en eventuell anaerob sone har sin høyeste beliggenhet i vannmassen.
- Meromiktiske innsjøer med permanent anaerob sone i hypolimnion.

## Erfaringer fra Muskedalstjernet

Det er 3. august med solskinn og varm luft dirrende over en speilblank vannoverflate. Robåten ligger stille over det dypeste området til tjernet mens prøvetaking foregår. Bare garvede limnologer blir ikke forbauset av hva temperaturmålingene viser (tabell 1).

Overflatevannet har temperaturer på 22,2 °C, men allerede på 3 m dyp registreres 11,3 °C, og fra 5 m og ned til bunnen er det kjølige vannmasser

**Tabell 5.** Systematikk til fototrofe bakterier basert på genom-studier. \* oksyofotobakterier, \*\* anoksyfotobakterier, *Systematics of phototrophic bacteria based on genomic studies.* \* oxyphotobacteria, \*\* anoxyphotobacteria

	Divisjon/Phylum Garrity 2005	Orden/Order Eksempel/example	Slekt/Genus Eksempel/example
B10	Cyanobacteria*	Oscillatoriales	Oscillatoria
B11	Chlorobi**	Chlorobiales	Chlorobium
B12	Proteobacteria**	Chromatiales	Lamprocystis
B6	Chloroflexi**	Chloroflexales	Heliolithrix
B13	Firmicutes**	Clostridiales	Heliobacillus

varierende i området omkring 4 °C. Det er vinterens vannmasser som fremdeles er tilbake i dypet av Muskedalstjernet. Sirkulasjonen etter isløsing har vært ubetydelig, og vinterstagnasjonen gikk rett over til sommerstagnasjon. Forholdet viser at denne lokaliteten har en minimal sirkulasjon av vannmassene om våren. Den tilhører det som betegnes en «vårmeromiktisk innsjø» (Åberg & Rodhe 1942).

Også oksygenets fordeling i vannmassene gjenspeiler dette hendelsesforløpet. Fra 5 m dyp og ned til bunnen av tjernet er det avtakende konsentrasjoner fra 4,3 – <0,4 mg O<sub>2</sub>/l. De hydrokjemiske analyseresultatene (tabell 2) indikerer bare små variasjoner i fremherskende vannkvalitet fra 1985 til 2006. Det som viser seg av forskjeller er knyttet til de bunnære vannmassene. I 2006 ble det registrert store vertikale konsentrasjonsendringer av kjemiske faktorer (tabell 6). Dette har sammenheng med mikrobiologisk aktivitet i vannet over slamavsetningene (dyggtje) i bunnområdene. I disse vannlagene er det at populasjonen av *L. roseopersicina* finner hovedsakelig sine egnede livsbetingelser.

Forekomsten av *L. roseopersicina* i Muskedalstjernet ved vinter- og sommersituasjon 2006 fremgår av tabell 7. Ved den mikroskopiske analysen av sestonfiltrene ble det konstatert en artsrik bakterieflora med betydelig kvantitet av mikroorganismer i vannlagene i intervallet 9–12 m dyp. Imidlertid var det bare koloniene av *L. roseopersicina* som lot seg identifisere og kvantifisere. Da denne organismen opptrer med ulike størrelser på koloniene, som fragmenter av kolonier og i enkeltceller, gir verdiene som fremkom bare et tilnærmet uttrykk for populasjonens reelle størrelse. Men resultatene fra sommersituasjonen 2006 gir en god pekepinn på at det var et forholdsvis tynt sjikt i bunnvannmassene hvor *L. roseopersicina* har sin hovedforekomst. Under vintersituasjonen 2006 ble det påvist beskjedne koloniforekomster også i vannmassene helt opp under isen. Dette kan muligens ha en årsakssammenheng med sommerfenomenet 2005, og at høstsirkulasjonen kan være mer dyptgående i Muskedalstjernet sammenliknet med vårsirkulasjonen.

De mikrobiologisk betingede miljøforholdene i dypområdet av Muskedalstjernet (tabell 6) kan forklare ut fra kjente nitrogen- og svovelstoffskifteprosesser i akvatiske lokaliteter av liknende natur. Økningen i verdiene for total nitrogen ned mot sedimentoverflaten gjenspeiler den tiltakende mengde med mikroorganismer i vannmassene. Det registreres korresponderende avtakende konsentrasjoner av nitrat. Forholdet gjenspeiler

**Tabell 6.** Muskedalstjernet. Miljøforhold i dypvannet 03.08. 2006.

*Lake Muskedalstjernet. Environmental conditions in the deep water.*

Prøvedyp m	O <sub>2</sub> mg/l	Tot.N µg N/l	NO <sub>3</sub> µg N/l	SO <sub>4</sub> mg/l	Cl mg/l
9	1,1	520	160	3,59	5,96
10	0,6	560	17	3,72	6,09
11	0,4	1155	<1	1,93	6,29
12	<0,4	7200	<1	0,37	9,66

**Tabell 7.** Muskedalstjernet. Forekomst av *Lamprocystis roseopersicina* i prøver tatt på to ulike datoer, kolonier per liter. Stjerne: prøve mangler. 0: sporadisk forekomst av enkeltkolonier.

*Lake Muskedalstjernet. Abundance of Lamprocystis roseopersicina in samples from two different days, colonies per litre. Asterisk: no sample. 0: sporadic occurrence of single colonies.*

Dyp i m	09.03.2006	03.08.2006
1	< 1 000	0
2	1 300	0
3	3 900	0
4	*	0
5	7 800	0
6	*	0
7	14 300	< 1 000
8	*	1 720
9	31 200	76 800
10	*	8 190 000
11	5 405 400	134 400
11,5	2 535 000	*
12	1 729 000	< 1 000

denitrifikasjonsprosessen, hvor nitrat reduseres over nitritt til molekylært nitrogen via stoffskiftet til bakterier («nitratespirasjon»). Når det gjelder konsentrasjonsfallet i sulfat i vannsjiktene 11 og 12 m dyp, er dette knyttet til bakteriell reduksjon av sulfat med dannelse av H<sub>2</sub>S («sulfatrespirasjon»). De relevante bakteriene benytter organisk stoff som hydrogenkilde. Den frigjorte gassen gir livsbetingelser for bl.a. *L. roseopersicina*, som er avhengig av H<sub>2</sub>S for sin anoksygenfotosyntese. Den største populasjonstetthet av *L. roseopersicina* ble tilsvarende registrert i vannsjiktet på 10 m dyp (tabell 7). I den tilsynelatende hendelsesløse dagligdag ved Muskedalstjernet, blir noe uavbrutt til der nede i



dypet, som er betydningsfullt for hele stoffkretsløpet og organismelivet i dette skogstjernet.

Utenom *L. roseopersicina*, var det en annen sterkt pigmentert bakterie som forekom i vannprøvene fra Muskedalstjernet (figur 2D). Ved oppdyrkingen av mikroorganismene var det stadig en intens fiolett farget form som vokste frem i kulturskålene og tiltrakk seg oppmerksomhet. Den syntes nærmest å følge *L. roseopersicina* som en ledsagende organisme. Det viste seg å være *Chromobacterium violaceum* Bergonzina 1881. Denne organismen er knyttet til lokaliteter i vann og jord. Fysiologisk er den karakterisert som fakultativ anaerob, men avhengig av tilstedeværelse av nitrat. Organismen produserer pigmentet violacein (C<sub>20</sub>H<sub>13</sub>N<sub>3</sub>O<sub>3</sub>) som er praktisk uløselig i vann. Denne egenskapen har gjort *C. violaceum* til en mye benyttet testorganisme innenfor vannforskning. Stoffet violacein har antagonistisk virkning overfor bakterier, protozoer og dyr (antibiotikum; Brock et al. 1994).

## Avslutning

Hva så med fenomenet sommeren 2005, da overflatevannet i tjernet – noen døgn ved månedsskiftet juli–august – ble farget lyserødt av *L. roseopersicina*? Noe slikt var ikke tidligere opplevd i Muskedalstjernet, etter det folk som bodde i trakten kunne minnes. Og heller ikke i norsk sammenheng synes en liknende episodisk tilsynekomst av *L. roseopersicina* å ha vært observert eller beskrevet. Hva var det som hadde funnet sted, når denne organismen nede fra dypet av Muskedalstjernet overraskende kom til syne?

Spørsmålet står ennå ubesvart. Men det har vært en «oppflytting» av populasjonen fra dyplagene og opp mot overflaten av tjernet. Ved rapporteringen av fenomenet ble det uttrykt: « – Det var helt tett av disse hvite flakene så langt jeg kunne se ned i vannet. Det kan virke som at flakene kommer fra bunnen av tjernet.» (Sørensen 2005). Det var døende kolonier av *L. roseopersicina* som dannet de hvite fnokkene. Forholdet kan indikere en passiv, kortvarig transport av populasjonen fra bunnområdet. Og når organismen kommer opp i oksygenrikt miljø og møter sollys, vil den ikke lenger kunne leve. Det har vært spekulert i om endringer i trykkforhold kan ha medført frigivelse av gasser fra sedimentene (for eksempel metan, hydrogen, karbondioksid) og tatt *L. roseopersicina* med seg på ferd opp mot overflaten. Fenomenet vil vel gjøre seg gjeldende på nytt under bestemte fysiografiske betingelser, da kan detaljerte observasjoner bli foretatt.

## Takk

Det var Leif Sørensen, Svinndal, som fikk rettet oppmerksomheten på fenomenet med purpursvovelbakterien i Muskedalstjernet sommeren 2005. For dette, og god hjelp med prøvetaking, takker vi ham. Professor John Ormerod har gitt verdifull bistand ved identifiseringen av organismer. Professor Dag Klaveness takkes for samråd og hjelpsomhet med litteratur. Bjørn Faafeng, NIVA, har hjulpet med fotografering og tilrettelegging av bilder. Det er Lida Henriksen, NIVA, som har æren for renskrivningen av en vrien manuskriptkladd. Takk også til alle som har gitt håndreking når det var behov.

## Litteratur

- Bavendamm, W. 1924. Die farblosen und roten Schwefelbakterien des Süß- und Salzwassers. Grunmlinien zu einer Monographis. In: R Kolkwitz Pflanzenforschung, Verlag von Gustav Fischer, Jena, s. 1-156.
- Biebl, H. & Pfennig, N. 1979. CO<sub>2</sub>-fixation by anaerobic phototrophic bacteria in lakes, a review. Ergebnisse der Limnologie, special volume of Archiv für Hydrobiologie 12: 18-58.
- Brock, T.D.; Madigan, M.T., Martinko, J.M. & Parker, J., 1994. Biology of microorganisms. Seventh edition. Prince Hall, New Jersey. 909 s.
- Cohn, F. 1875. Untersuchungen über Bakterien II. Beitr. Biol. Pfl. 1:141-207.
- Eimhjellen, K.E. 1970. *Thiocapsa pfennigii* sp. nov. A new species of the phototrophic sulphur bacteria. Archiv für Mikrobiologie 73: 193-194.
- Færøvig, P.J. 1995. En limnologisk undersøkelse av Blankvatn, en meromiktisk innsjø i Nordmarka, med vekt på redoks-prosesser, primærproduksjon og fotosyntetisk bakterieproduksjon. Cand. scient.-oppgave i limnologi. Universitetet i Oslo. 115 s.
- Fox, G.E., Pechmann, K.R. & Woese, C. R. 1977. Comparative cataloging of 16S ribosomal ribonucleic acid: molecular approach to procaryotic systematics. Int. J. Syst. Bacteriol. 27:44-57.
- Faafeng, B. 1976. Fotosyntetiske bakterier. Utbredelse og funksjon i naturen. Blyttia 34: 53-65.
- Garity, G.M., Bell, J.A. & Lilburn, T. 2005. The revised road map to the manual. In: D.J. Brenner; N.R. Krieg & J.T. Staley (eds.). Bergey's Manual of Systematic Bacteriology. Volume Two, The Proteobacteria. Springer Science, New York. s. 159-220.
- Gest, H., San Pietro, A. & Vernon, L.P. (eds.) 1963. Bacterial Photosynthesis, s. 19-34. Yellow Springs, OH: Antioch. 523 s.
- Hoel, K. 2001. Bustadnavn i Østfold. 4. Spydeberg. Seksjonen for navnegransking, Institutt for nordistikk og litteraturvitenskap. Universitetet i Oslo, Oslo. 312 s.
- Häusler, J. 1982. Schizomycetes. In: H. Ettl, J. Gerloff & H. Heynig (eds.) Süßwasserflora von Mitteleuropa, Band 20. Gustav Fischer Verlag, Stuttgart, s. 78-81.
- Kusnezow, S.I. 1959. Die Rolle der Mikroorganismen im Stoffkreislauf der Seen. VEB Deutscher Verlag der Wissenschaften, Berlin. 301 s.
- Lindstrøm, E.-A. & Skulberg, O.M. 1976. Sestonobservasjoner i sammenheng med praktiske vannundersøkelser: metoder, fremgangsmåter og eksempler på resultater. Norsk institutt for vannforsknings årbok 1975, Oslo, s. 35-47.

- Lunina, O.N., Bryantseva, I.A., Akimov, V.N., Rusanov, I.I. Rogozin, D. Yu., Barinova, E.S., Lysenko, A.M. & Pimenov, N.V. 2007. Seasonal changes in the structure of the anoxygenic photosynthetic bacterial community in Lake Shunet, Khakassia. *Microbiology* 76 (3): 368-379.
- Molisch, H. 1907. Die Purpurbakterien nach neueren Untersuchungen, s. 1-45. Jena: Verlag von Gustav Fischer.
- Norsk institutt for vannforskning 2005. Metoder for kjemiske vannanalyser.
- Ormerod, J.G. & Sirevåg, R. 1983. Essential aspects of carbon metabolism. In: J.G. Ormerod (ed). *The phototrophic bacteria*. Blackwell Scientific Publications, Oxford. s. 100-119.
- Ormerod, J.G. (ed.) 1983. *The phototrophic bacteria. Anaerobic life in the light*. Blackwell Scientific Publication, Oxford. 235 s.
- Penn, C. 1991. *Handling laboratory microorganisms*. Open University Press, Philadelphia. 160 s.
- Pfennig, N. & Trüper, H.G. 1992. The family Chromatiaceae, Chapter 170. In: A. Balows, H.G. Trüper, M. Dworkin, W. Harder & K-H. Schleifer (eds.) *The Prokaryotes, Second Edition*. Springer-Verlag, Berlin, s. 3200-3221.
- Pfennig, N. 1978. General physiology and ecology of photosynthetic bacteria. Chapter 1. In: R.K. Clayton & W.R. Sistrom (eds.) *The Photosynthetic Bacteria*. Plenum Press, New York, s. 3-18.
- Pfennig, N. 1993. Reflections of a microbiologist, on how to learn from the microbes. *Annu. Rev. Microbiol.* 47: 1-29.
- Ruttner, F. 1938. *Limnologische Studien an einigen Seen der Ostalpen. (Seen des Salzkammergutes, des Öttscher- und Hochschwabgebietes)*. Archiv für Hydrobiologie, Band XXXII, Stuttgart, s.167-319.
- Ruttner, F. 1952. *Grundriss der Limnologie*. Walter De Gruyter & Co., Berlin. 232 s.
- Sirevåg, R. & Ormerod, J.G. 1970. Carbon dioxide fixation in photosynthetic green sulphur bacteria. *Science* 169: 186-188.
- Sirevåg, R. & Ormerod, J.G. 1977. Synthesis, storage and degradation of polyglucose in *Chlorobium thiosulfatophilum*. *Arch. Microbiol.* 111:239-244.
- Skei, J.M. & Dyrssen, D. (eds.) 1988. Anoxic basins. *Mar. Chem.* 23 (3-4): 209-459.
- Skei, J.M., 1983. Geochemical and sedimentological consideration of a permanently anoxic fjord – Framvaren, South Norway. *Sediment Geol.* 36: 131-145.
- Skulberg, T. 1982. Mørk Søndre, Spydeberg. En gårds historie. Spydeberg Bygdebokkomité. ISBN 82-990952-0-4. s 58.
- Sørensen, K., 1988. The distribution and biomass of phytoplankton and phototrophic bacteria in Framvaren, a permanently anoxic fjord in Norway. *Mar. Chem.* 23: 229-241.
- Sørensen, L. 2005. Brev til Norsk institutt for vannforskning. Datert Muskedalen, Sunndal, 23.07.2005.1 s.
- Stein, J.R. (ed.) 1973. *Handbook of phycological methods. Culture methods and growth measurements*. The University Press, Cambridge. 448 s.
- Strøm, K.M. & Østtveit, H. 1948. Blankvatn. A meromictic lake near Oslo. *Skr. Norske Vidensk.-Akad., Oslo. I Mat.-Naturv. Klasse No. 1.* 41 s.
- Strøm, K.M., 1936. Land-locked waters. Hydrography and bottom deposits in badly-ventilated Norwegian fjords, with remarks upon sedimentation under anaerobic conditions. *Skr. Norske Vidensk.-Akad., Oslo. I Mat.-Naturv. Klasse No. 7.* 85 s.
- Vennerød, K. (red.) 1984. *Vassdragsundersøkelser. En metodebok i limnologi*. Universitetsforlaget, Oslo. 283 s.
- Wetzel, R.G. 1975. *Limnology*. W.B. Saunders Company, Philadelphia. 743 s.
- Winogradsky, S., 1888. Beiträge zur Morphologie und Physiologie der Bakterien, Vol. 1, Zur Morphologie und Physiologie der Schwefelbakterien, Verlag A. Felix, Leipzig. 120 s.
- Åberg, B. & Rodhe, W. 1942. Über die Milieufaktoren in einigen süd-schwedischen Seen. *Symb. Bot. Upsal.* 5: 1-251.