

Gill-oxygen supply limitation in Atlantic salmon - effects of temperature and body size

Malthe Hvas - FG Dyrevelferd, Havforskningsinstituttet



FHF dialogmøte, 9-10. mars 2026

Oversikt

- Flaskehalseffekter – måle på individnivå.
- Prestasjoner i «små fisk».
- Klimaendringer og krympende fiskestørrelser
- Fokus på stor fisk i eksperimenter.
- Dødelighet etter stress i stor laks.
- Oksygen begrensning i stor laks.
- Temperatur toleranse i stor laks.
- Oppsummering og konklusjon.



Gjeller fra laks på 5 kg og 0,5 kg.



Flaskehals – når oppstår den?

- Hvordan måler man den begrensende faktor for fisken?
- Hjerne eller gjeller?
- Effekt av livsstadier og størrelse?

- Må måle på hele fiskens prestasjonsnivå. Ikke nok bare å se på de enkelte organer.
- Forskjeller og endringer i vev og organer kan da korreleres med prestasjoner på individ nivå.

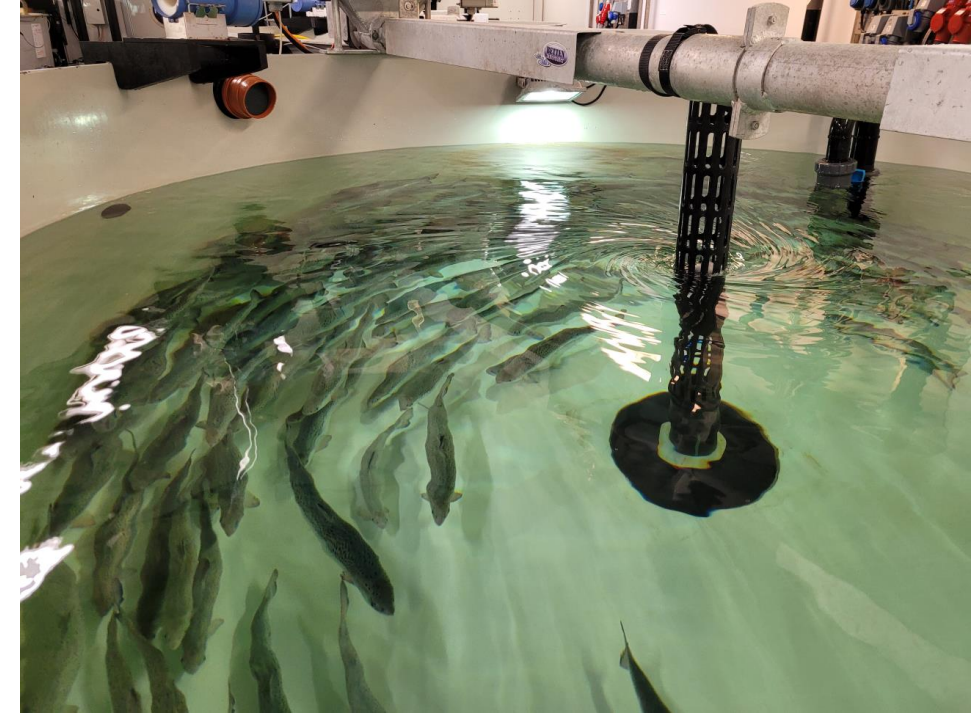


Sykdom
Lav oksygen
Stress
Høy temperatur



Prestasjoner målt på individnivå

- Svømmekapasiteter.
- Energiforbruk (oksygen opptak).
- Miljøtoleranser (temperatur, hypoksi).
- Appetitt og vekst.
- Robusthet mot akutt stress.
- Overlevelse.

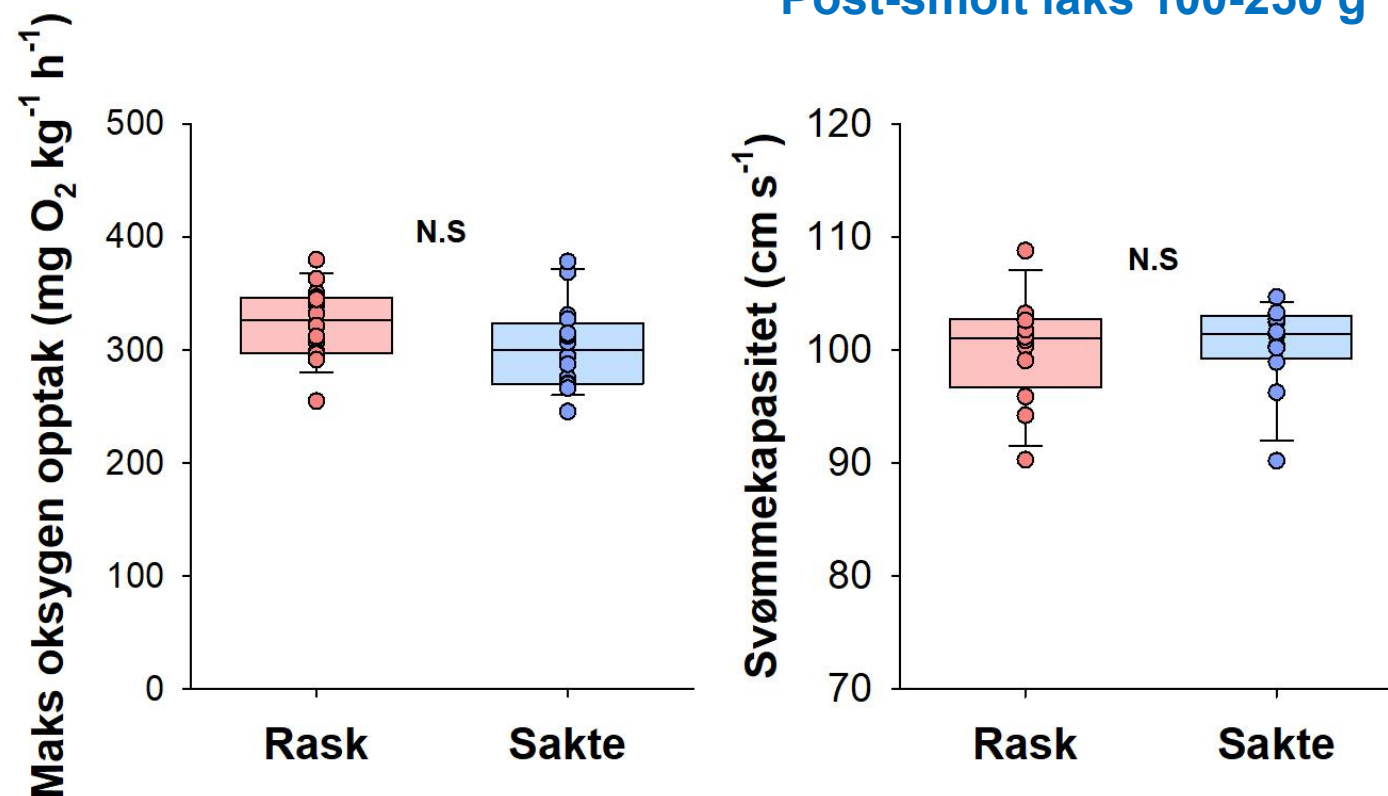


Prestasjoner i små fisk: Rask og sakte voksende laks

- Intensiv og rask smolt produksjon gir avvikende hjertemorfologi.
- Dårlig sirkulasjonshelse i oppdrettslaks fører til dårlig velferd.
- Prestasjoner målt på individ nivå er ikke påvirket i tidlig post-smolt med ulik veksthastighet.

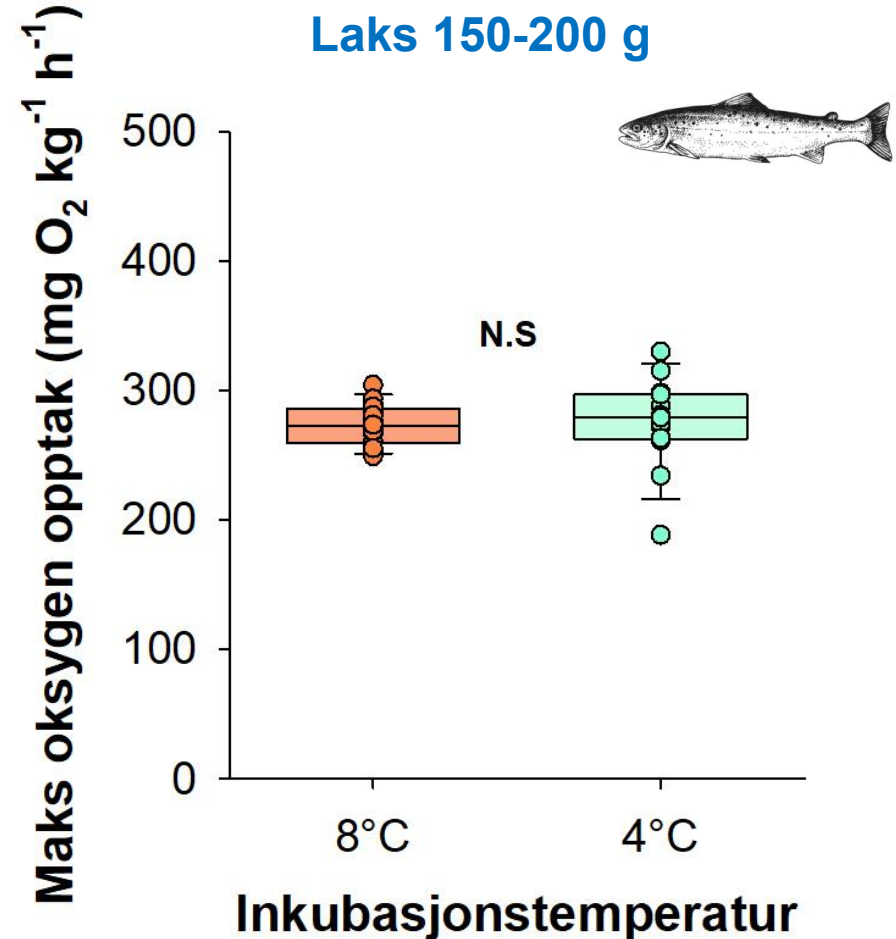
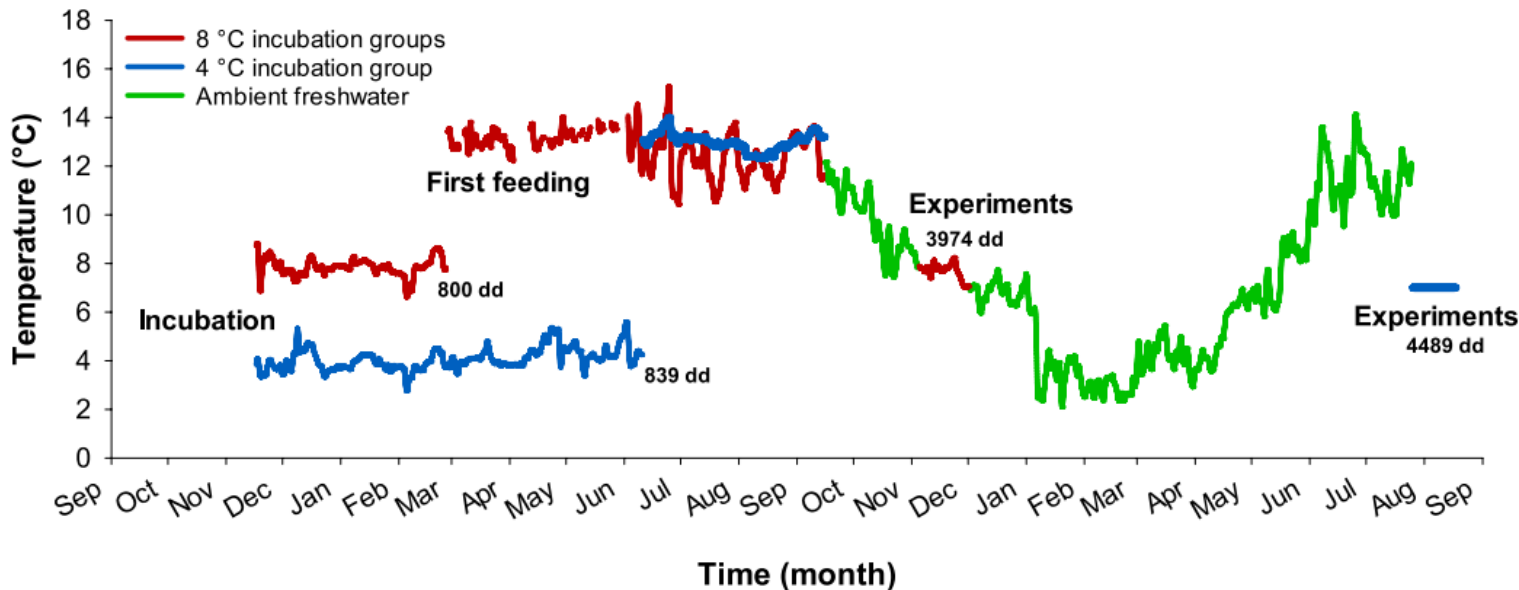


Post-smolt laks 100-250 g



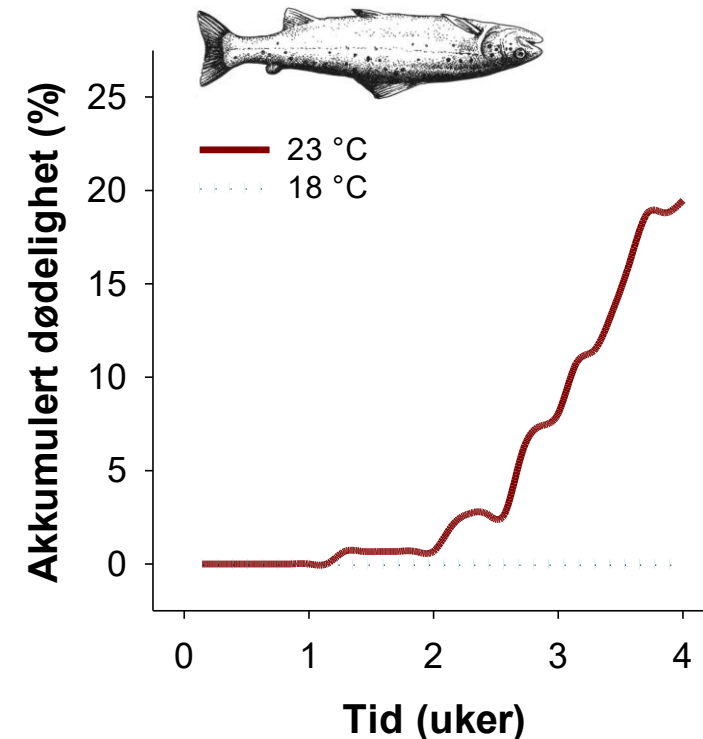
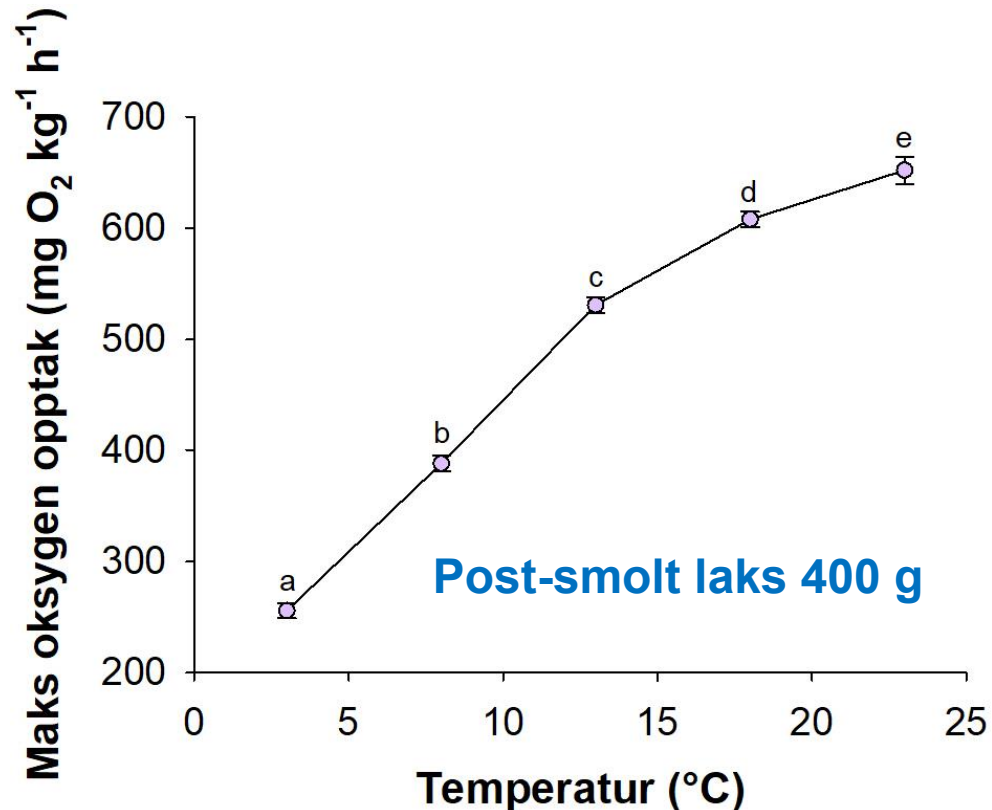
Andet eksempel: Ulik inkubasjonstemperatur

- 9 måneders forskjell i alder ved test, men samme størrelse.
- Forskjeller i hjertemorfologi.
- Men ikke forskjell i fysiologiske prestasjoner målt på individ nivå.



Små laks: Oksygen opptak blir ikke en flaskehals på høy temperatur

- Men fisken mister appetitten, og har økt dødelighet på høy temperatur.



Klimaendringer og krympende fiskestørrelser

- Varmere miljøer vil favorisere mindre fiskestørrelser:
 - Akselerert metabolisme.
 - Raskere utviklingshastighet.
 - Tidligere reproduksjonsalder.
 - Mindre oksygen for å støtte økt energibehov.



nature
climate change

PERSPECTIVE

PUBLISHED ONLINE: 16 OCTOBER 2011 | DOI: 10.1038/NCLIMATE1259

Shrinking body size as an ecological response to climate change

Jennifer A. Sheridan* and David Bickford*

Opinion

Cell
PRESS

Declining body size: a third universal response to warming?

Janet L. Gardner¹, Anne Peters^{2,3}, Michael R. Kearney⁴,
Leo Joseph⁵ and Robert Heinsohn¹

¹Fenner School of Environment and Society, Australian National University, Canberra, ACT 0200, Australia

²Behavioral Ecology of Sexual Signals Group, Max Planck Institute for Ornithology, Vogelwarte Radolfzell, 78315 Radolfzell, Germany

³School of Biological Sciences, Monash University, VIC 3168, Australia

⁴Department of Zoology, The University of Melbourne, VIC 3010, Australia

⁵Australian National Wildlife Collection, CSIRO Ecosystem Sciences, GPO Box 284, Canberra, ACT 2601, Australia

Global warming benefits the small in aquatic ecosystems

Martin Daufresne^{a,b,1}, Kathrin Lengfellner^a, and Ulrich Sommer^a

^aFB3–Marine Ökologie, Leibniz-Institut für Meereswissenschaften (IFM-GEOMAR), 24105 Kiel, Germany; and ^bHYAX–Lake Ecosystems Laboratory, Cemagref, 13182 Aix-en-Provence, France

Edited by Stephen R. Carpenter, University of Wisconsin, Madison, WI, and approved June 3, 2009 (received for review February 25, 2009)

Understanding the ecological impacts of climate change is a crucial challenge of the twenty-first century. There is a clear lack of

Second, James' rule (13) states that, within a species, populations with smaller body size are generally found in warmer

PNAS

“The gill-oxygen limitation theory”

- Forklarer krympende kroppsstørrelser i et varmere klima.
- Todimensjonale overflaten av gjellelameller kan ikke holde tritt med det økende oksygenbehovet til voksende tredimensjonale legemer.
- Teorien har blitt kritisert:
 - Gjellelameller er brettede overflater og øker tilsvarende med kroppsstørrelse.
 - Fysiologiske data tyder ikke på oksygenbegrensning i gjellene ved høye temperaturer.



SCIENCE ADVANCES | REVIEW

ECOLOGY

The gill-oxygen limitation theory (GOLT) and its critics

Daniel Pauly

The gill-oxygen limitation theory (GOLT) provides mechanisms for key aspects of the biology (food conversion efficiency, growth and its response to temperature, the timing of maturation, and others) of water-breathing

Copyright © 2021
The Authors, some
rights reserved;
exclusive licensee
American Association
for the Advancement
of Science. No claim to
original U.S. Government
Works. Distributed

Received: 13 March 2017 | Accepted: 4 July 2017

DOI: 10.1111/gcb.13831

OPINION

WILEY Global Change Biology

Sound physiological knowledge and principles in modeling shrinking of fishes under climate change

Daniel Pauly | William W. L. Cheung

Global Change Biology

Global Change Biology (2017) 23, 3449–3459, doi: 10.1111/gcb.13652

OPINION

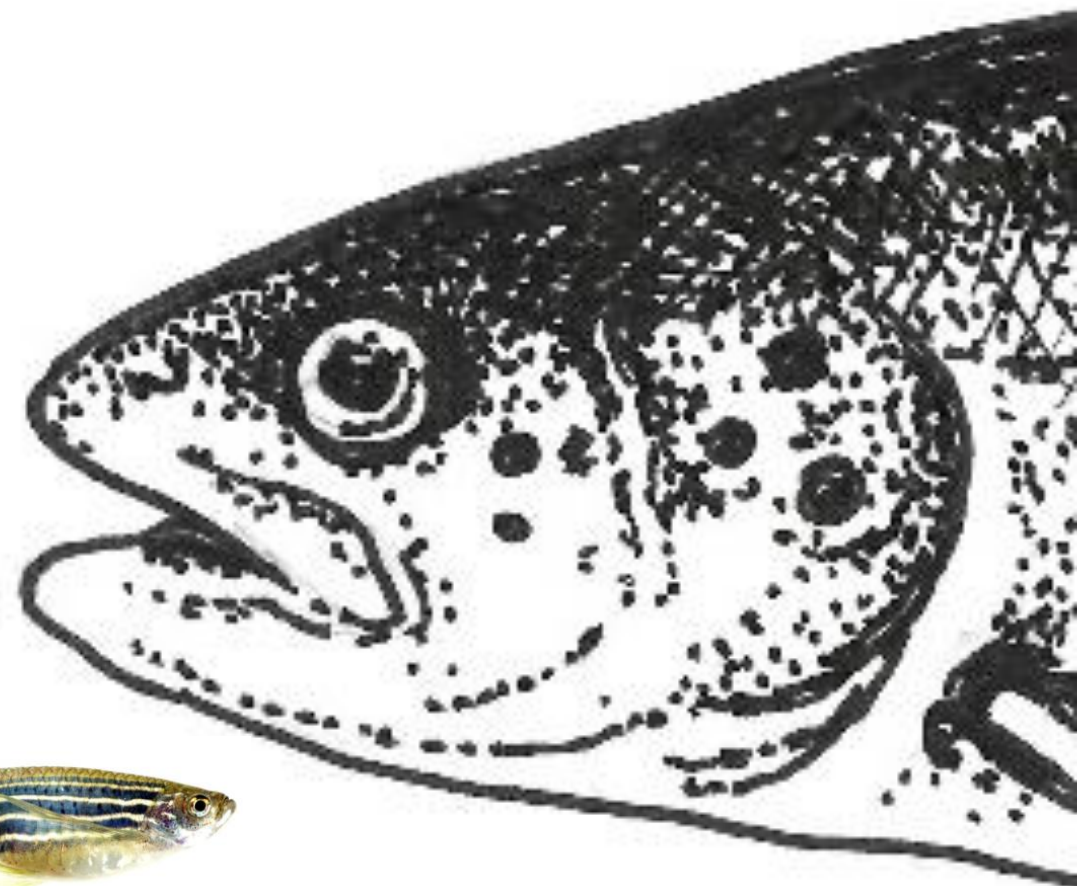
Models projecting the fate of fish populations under climate change need to be based on valid physiological mechanisms

SJANNIE LEFEVRE¹ , DAVID J. MCKENZIE² and GÖRAN E. NILSSON¹

¹Department of Biosciences, Faculty of Mathematics and Natural Sciences, University of Oslo, Blindernveien 31, Postbox 1066 Blindern, Oslo NO-0316, Norway, ²Centre for Marine Biodiversity Exploitation and Conservation, UMR 9190 MARBEC (CNRS, IRD, IFREMER, UIM), Place E. Bataillon cc 093, 34095 Montpellier, France

Fokus på stor fisk i eksperimenter

- Eksperimenter på stor fisk er sjeldne.
- Vi vet at dødelighet og dårlig velferd i stor oppdrettslaks er et økende problem.
- Anekdotisk tåler stor laks stress og håndtering dårligere.
- Oppstår der en flaskehals for sirkulasjonshelsen når laksen blir stor?



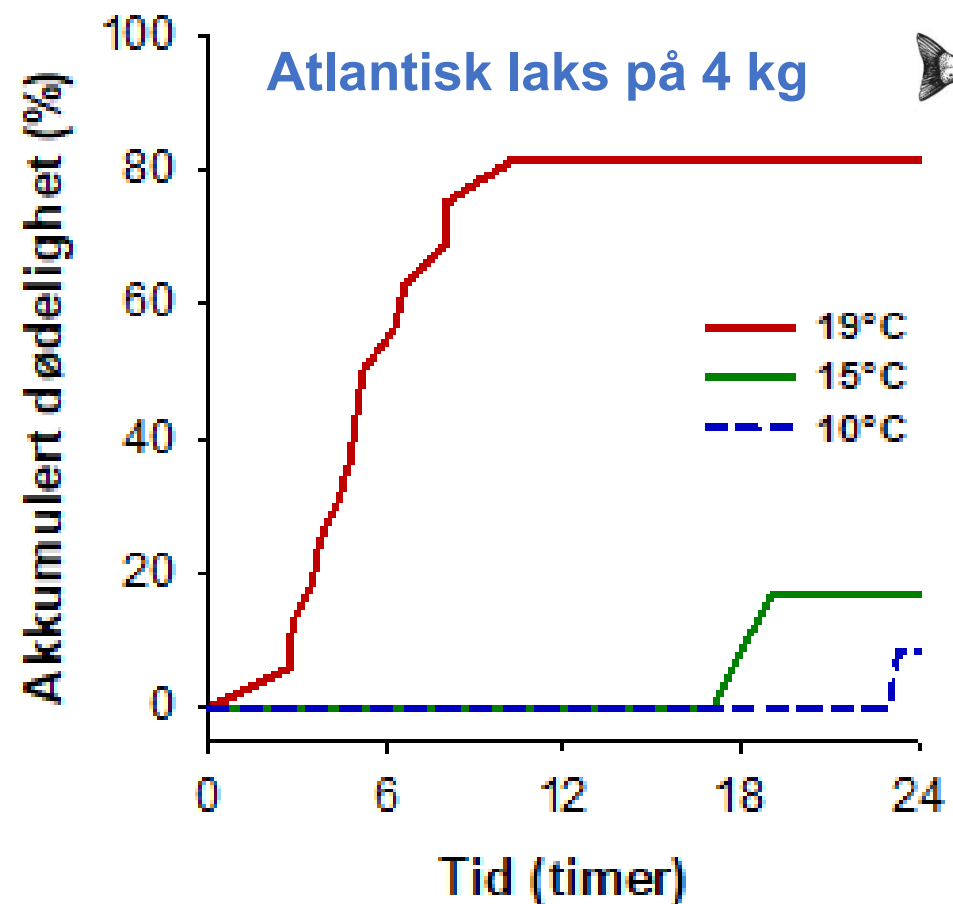
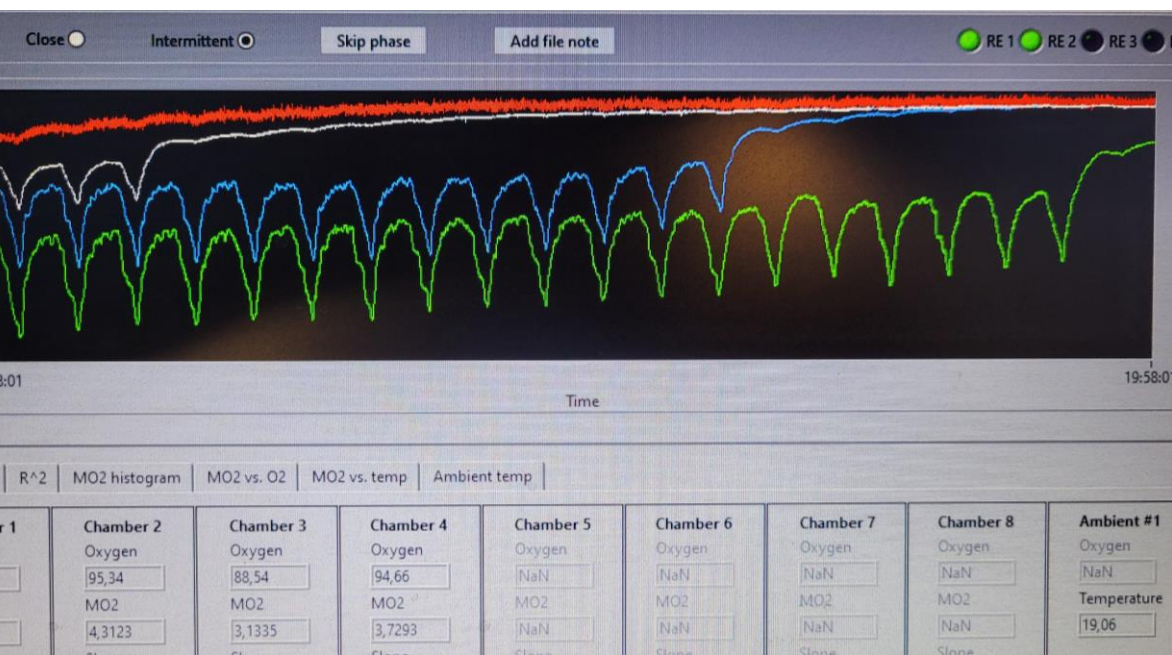
Sebrafisk - 2.5 cm

Voksen laks - 70 cm



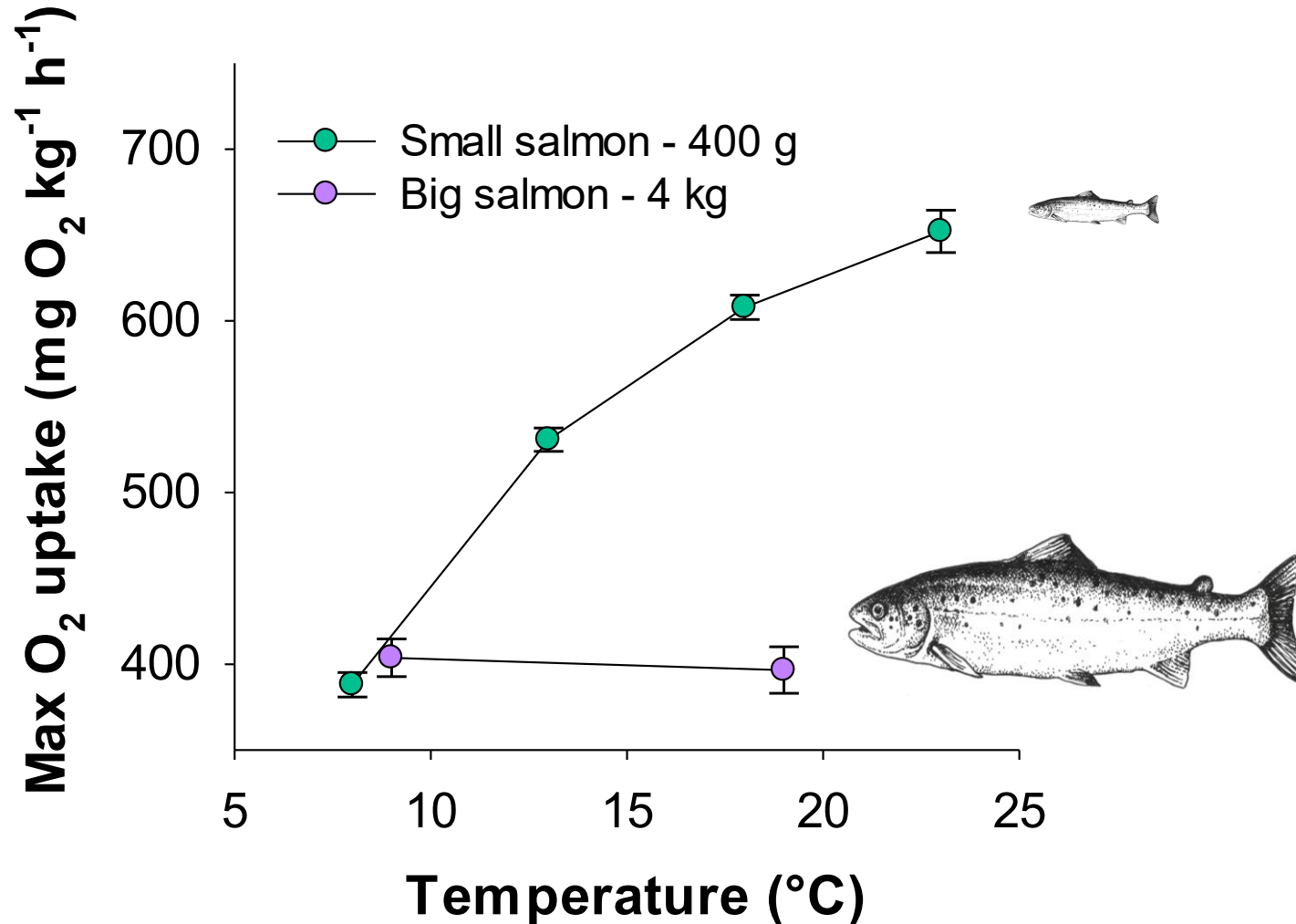
Dødelighet etter stress på høy temperatur i stor laks

- Håndtering, kort lufteksponeering, og innesperring.
- Hva går galt?



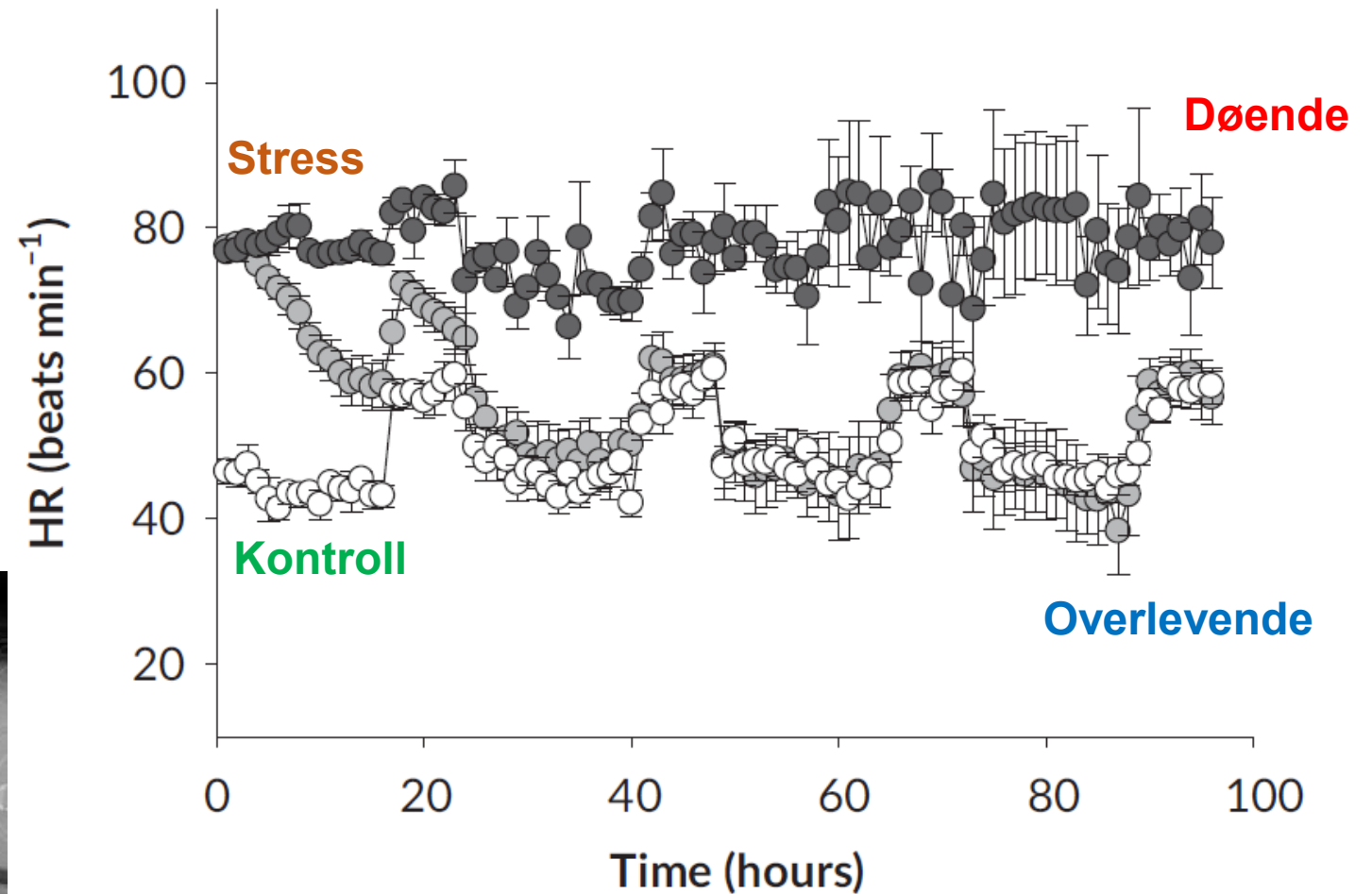
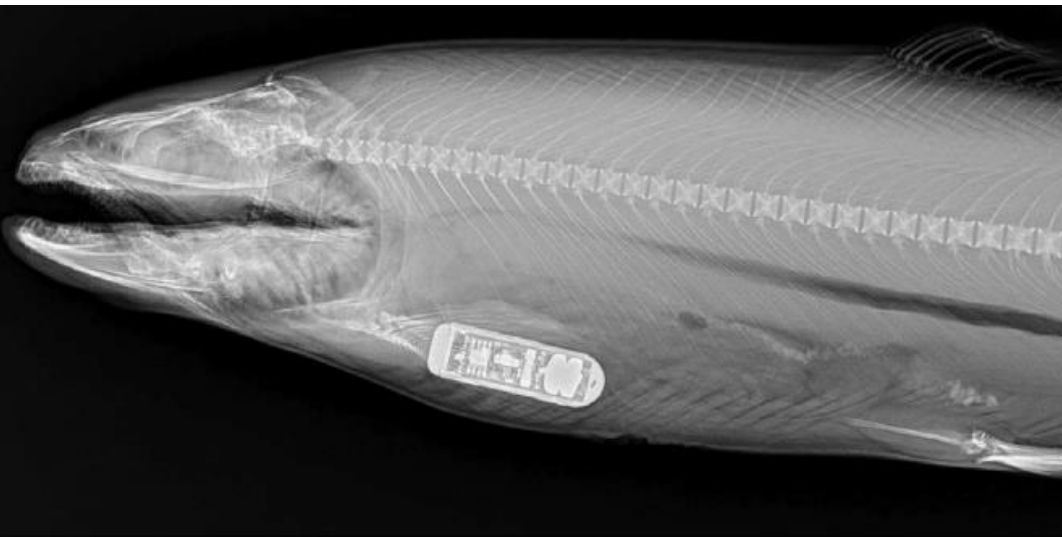
Mindre laks kan øke maks oksygen opptak på høy temperatur

- Stor laks kan ikke...
- Oksygenbegrensning hos stor laks?
- Og altså mindre aerob kapasitet til aktiviteter?



Hjerterate i døende laks etter akutt stress

- Forsinket dødelighet etter stress er assosiert med høy og ustabil hjerterate.

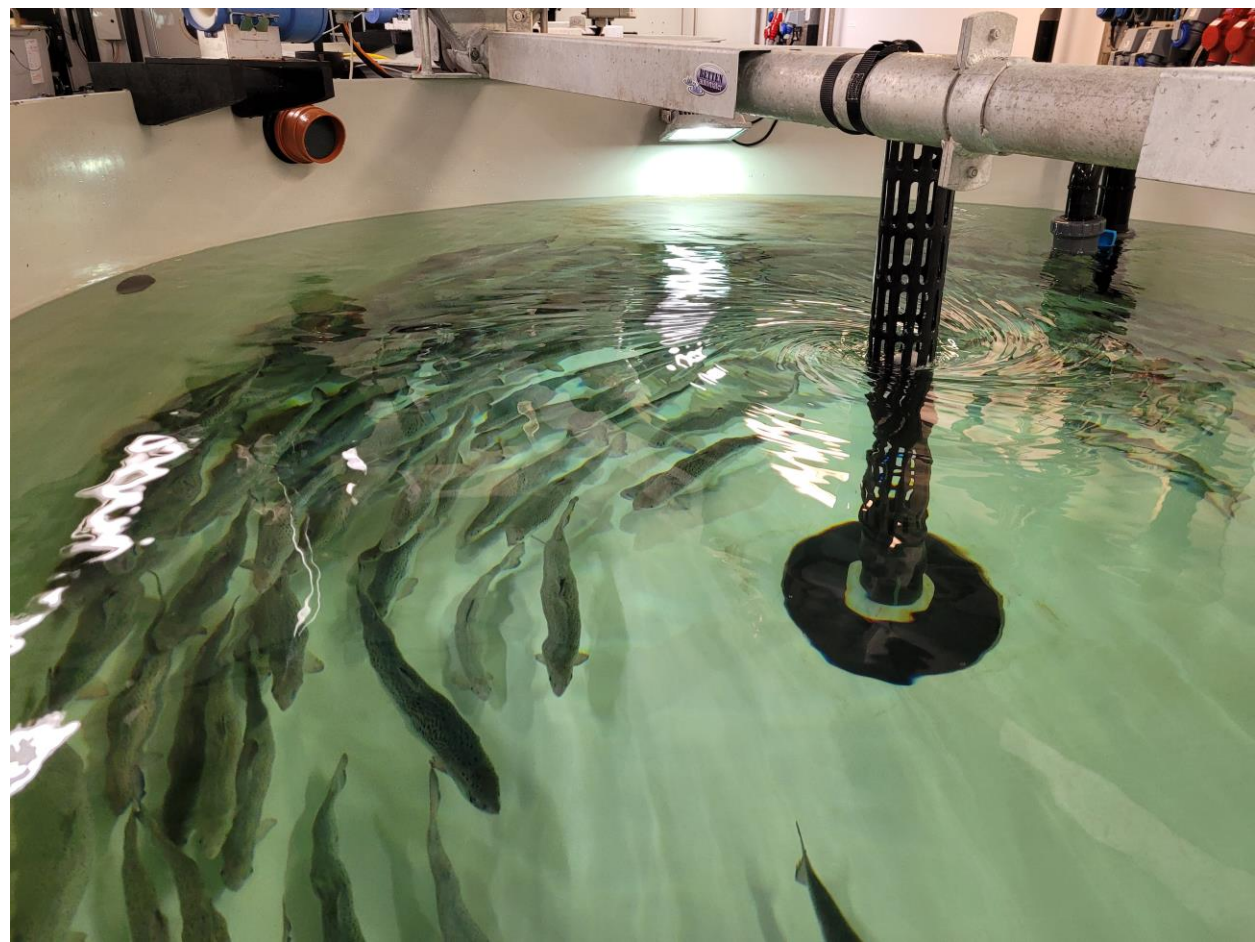


2025: Nye eksperimenter på stor Atlantisk laks

Stor fisk – 5, 10, 15 °C

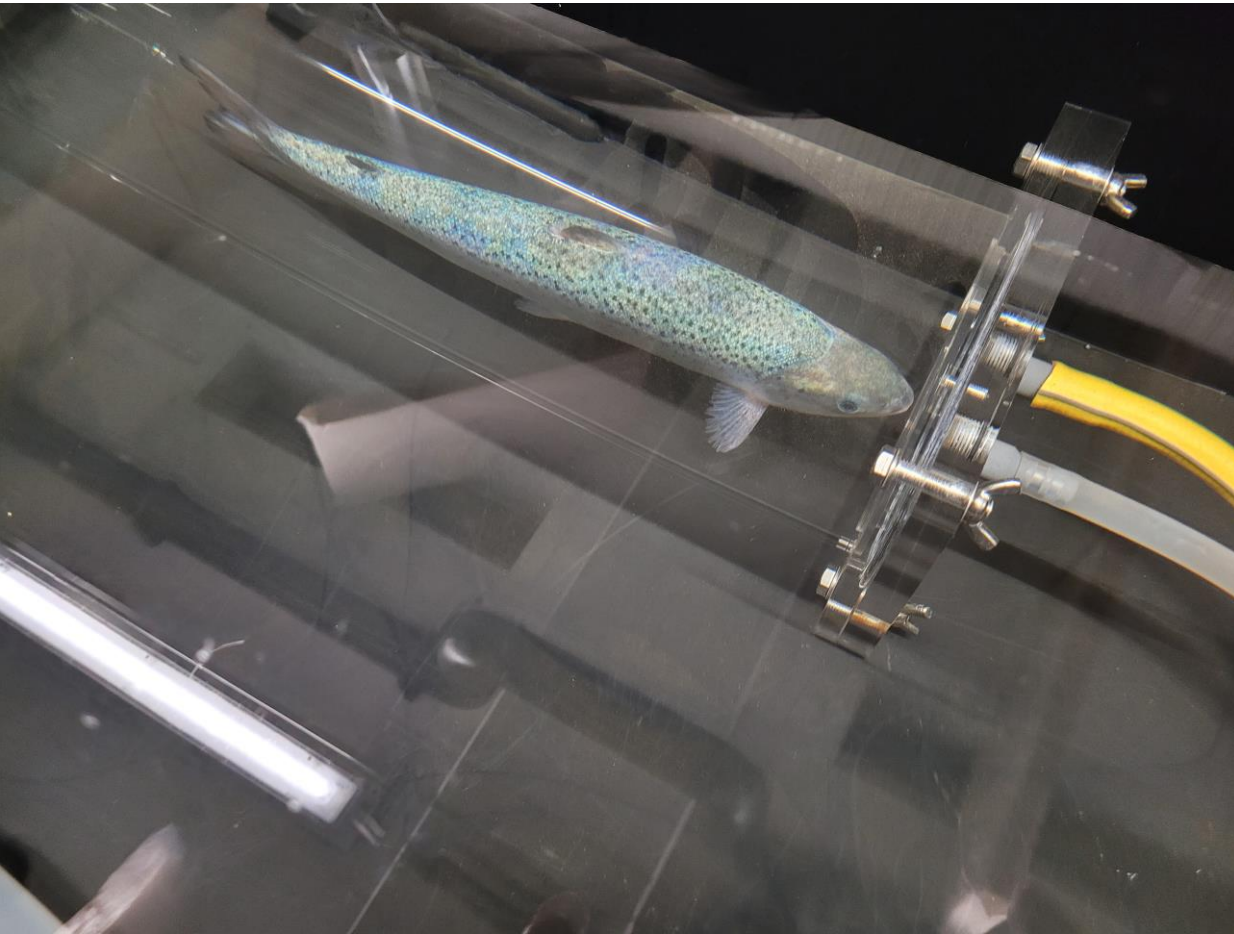


Små fisk - 5, 10, 15 °C

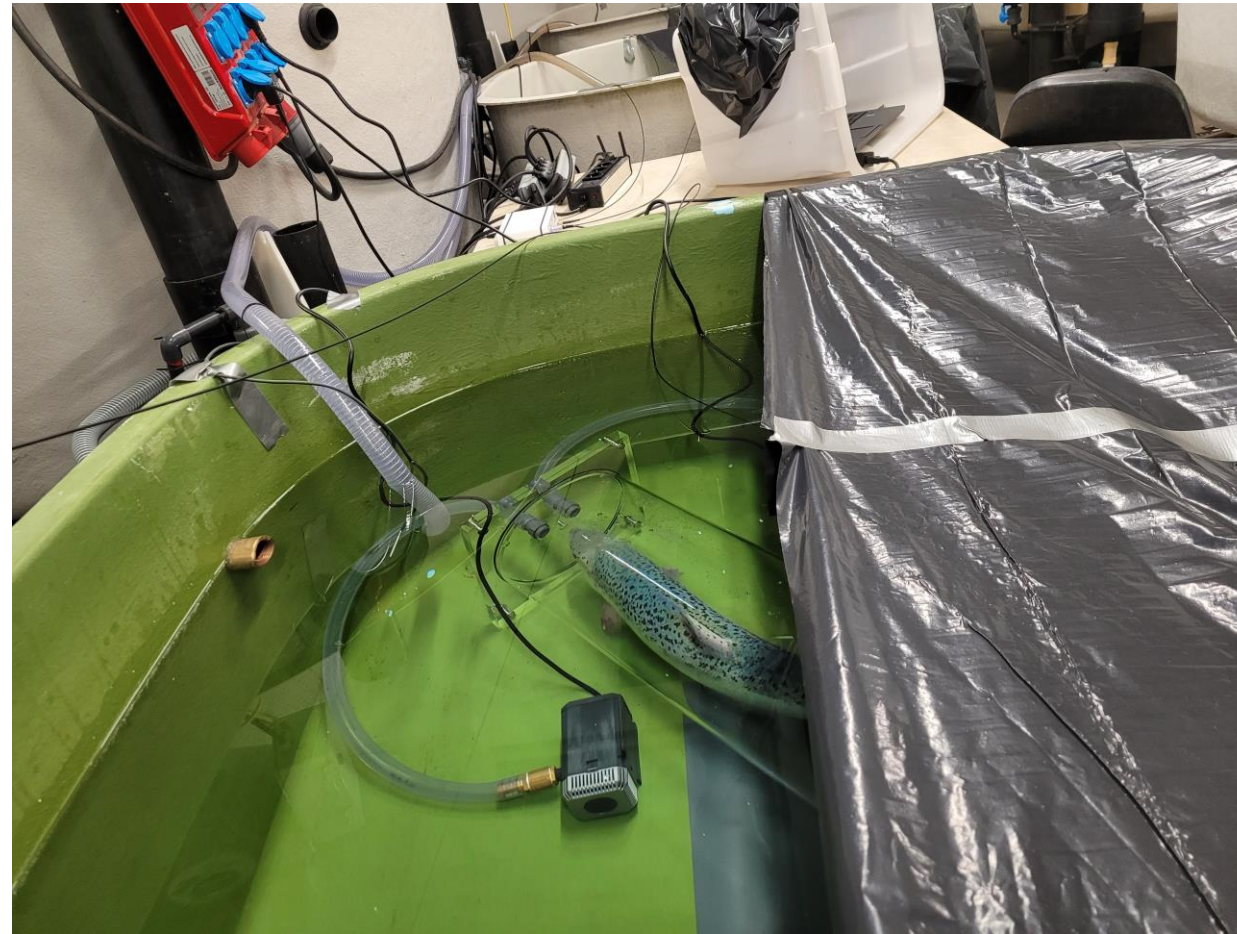


Respirometri – måling av oksygen opptak i fisk

Atlantisk laks – 0,5 kg

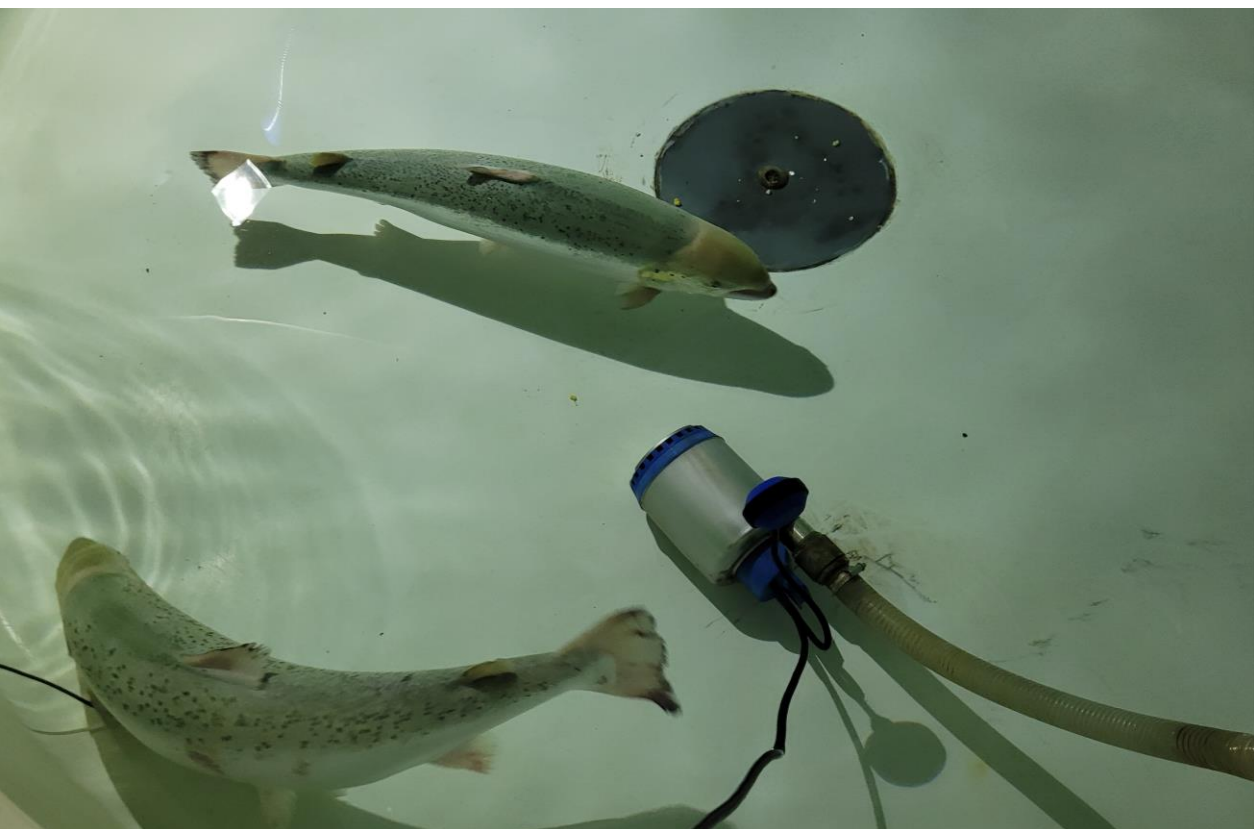


Atlantisk laks – 5 kg

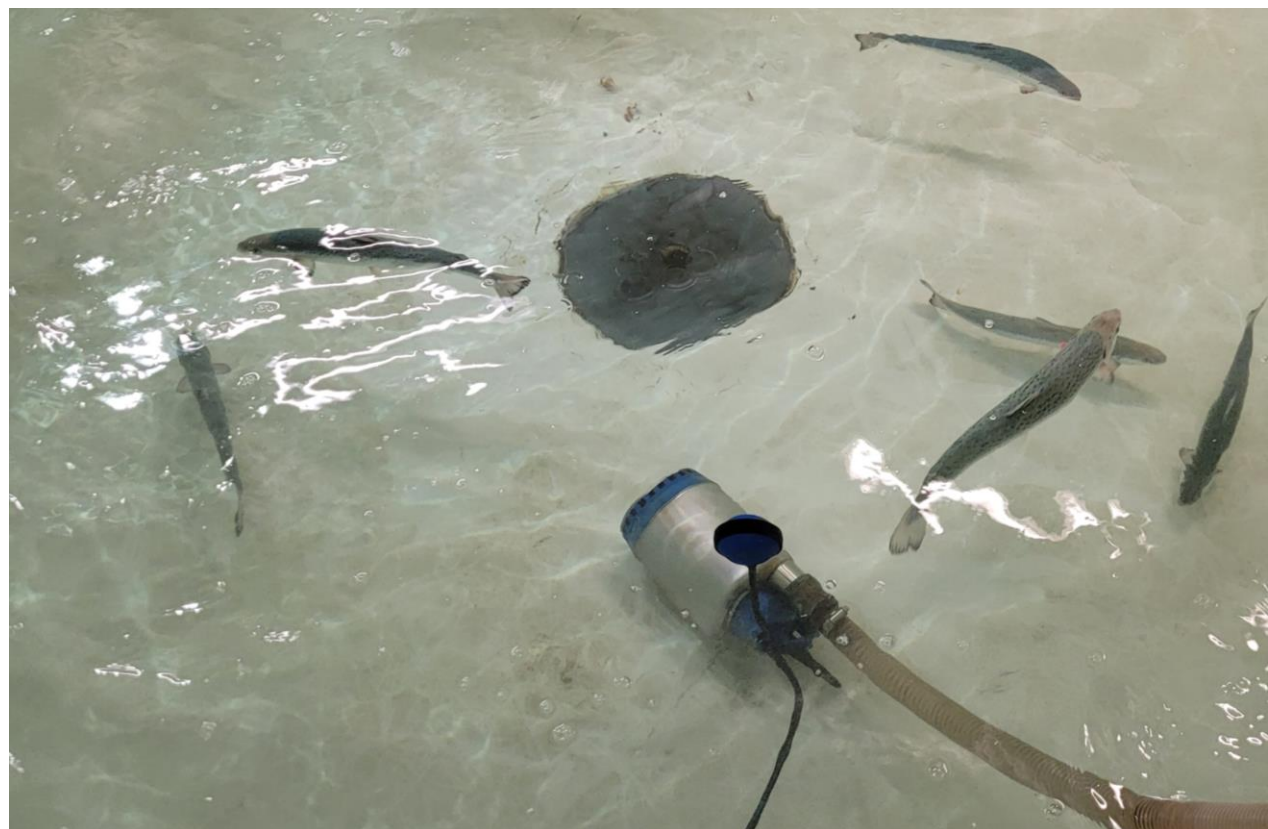


Test av akutt temperatur toleranse på ulike fiskestørrelser

Stor fisk



Små fisk

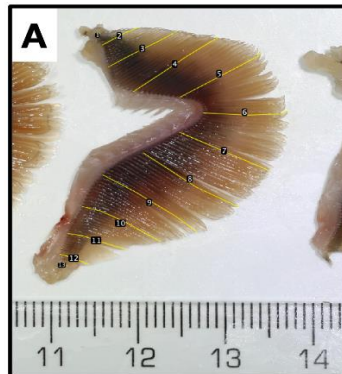


Måling av gjelleoverflateareal

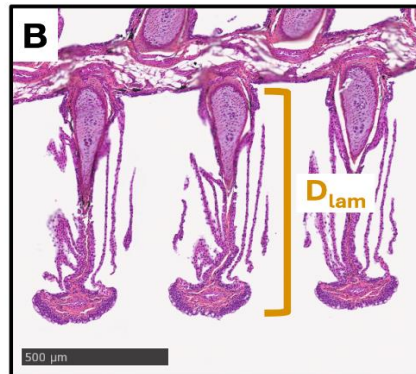
- Begrenser gjellene oksygenopptak i stor laks?

~0.5 kg
salmon

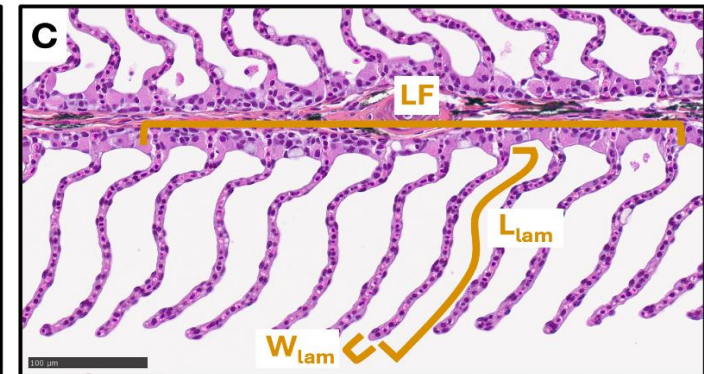
Macroscopic
sagittal view



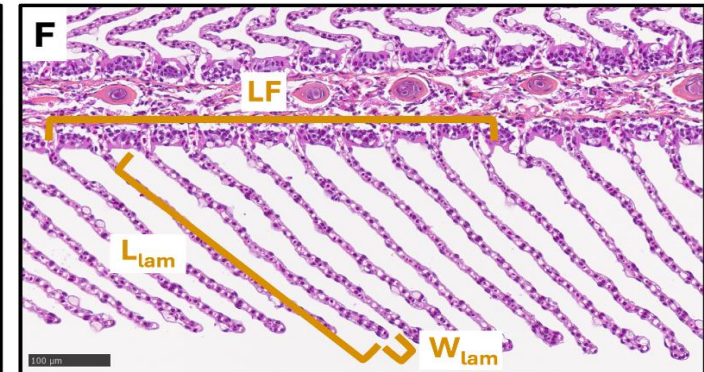
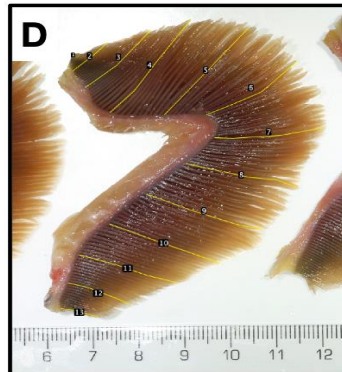
Microscopic
transverse view



Microscopic
sagittal view

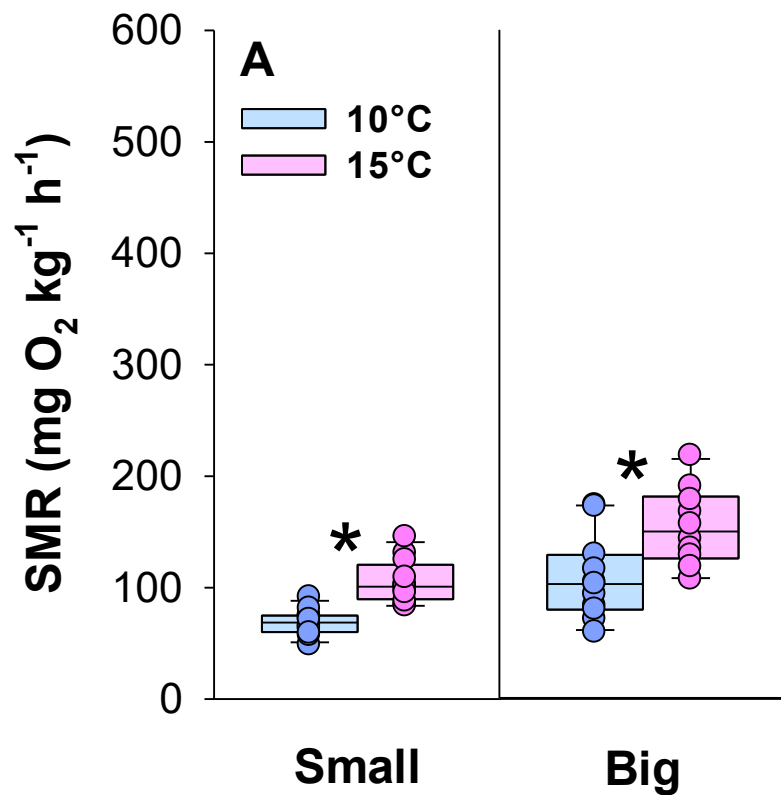


~5.0 kg
salmon

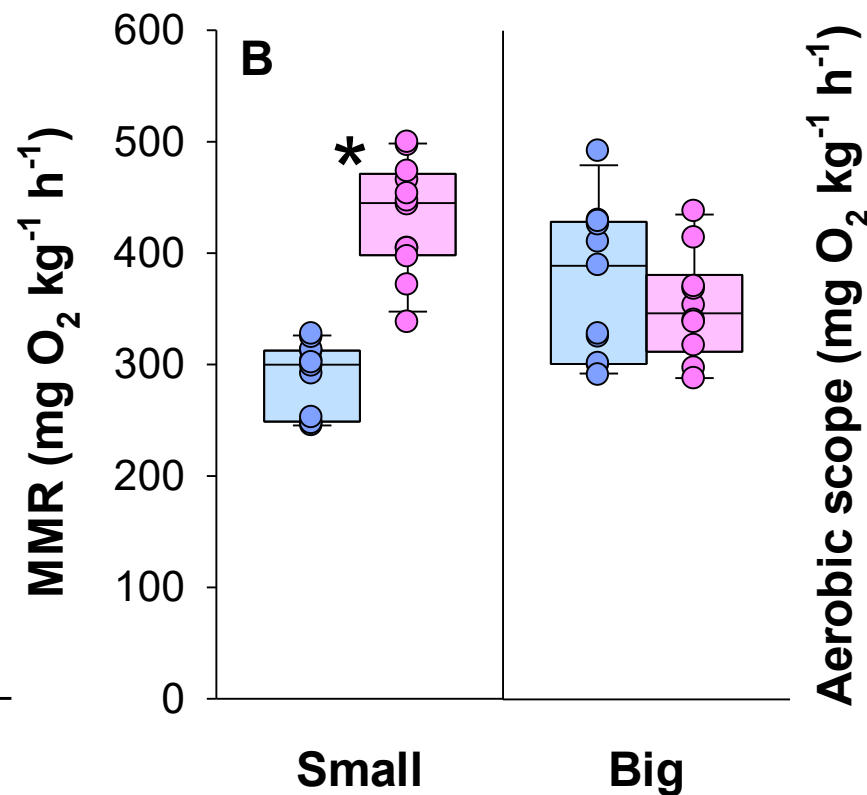


Okxygen begrensning i stor laks på høy temperatur

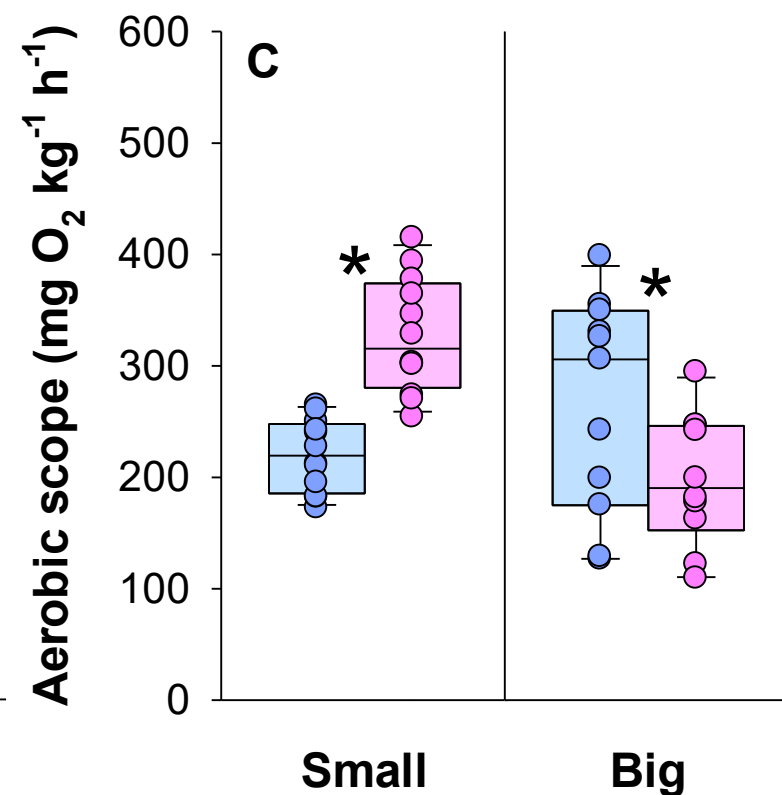
«Hvile oksygen forbruk»



«Maks oksygen forbruk»

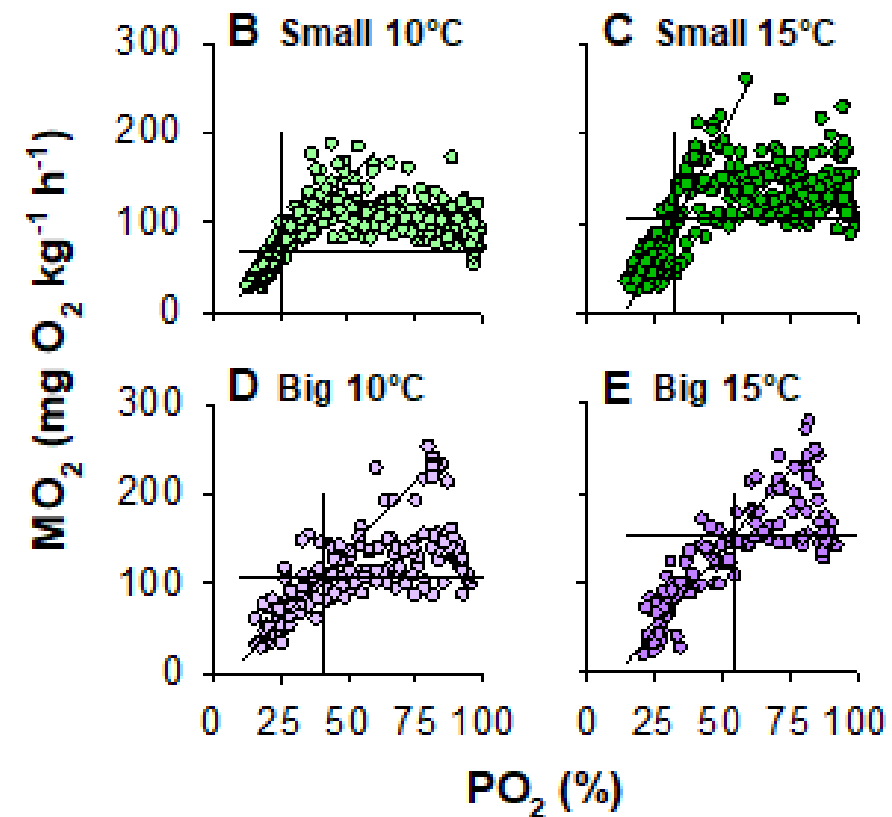
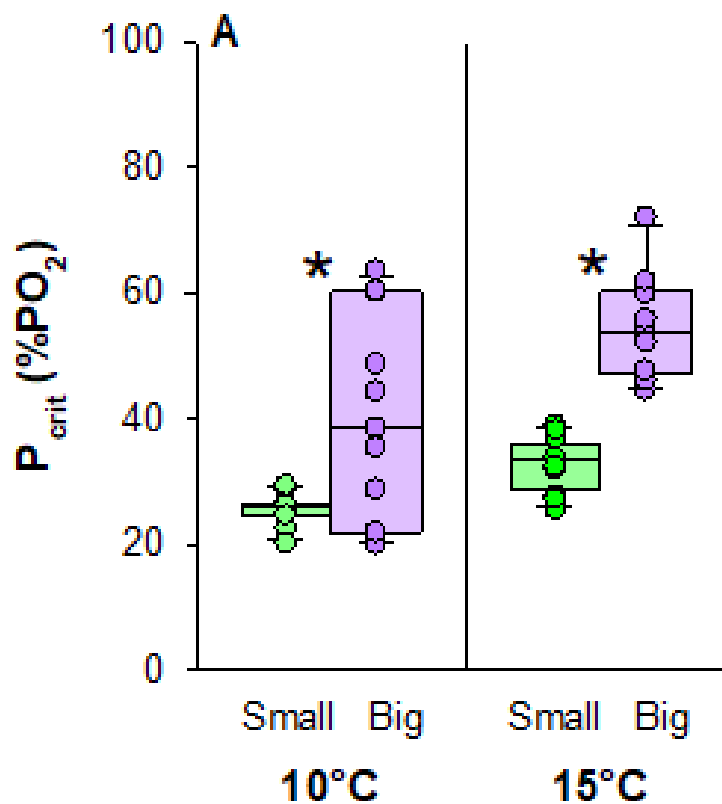


«Energi til aktiviteter»



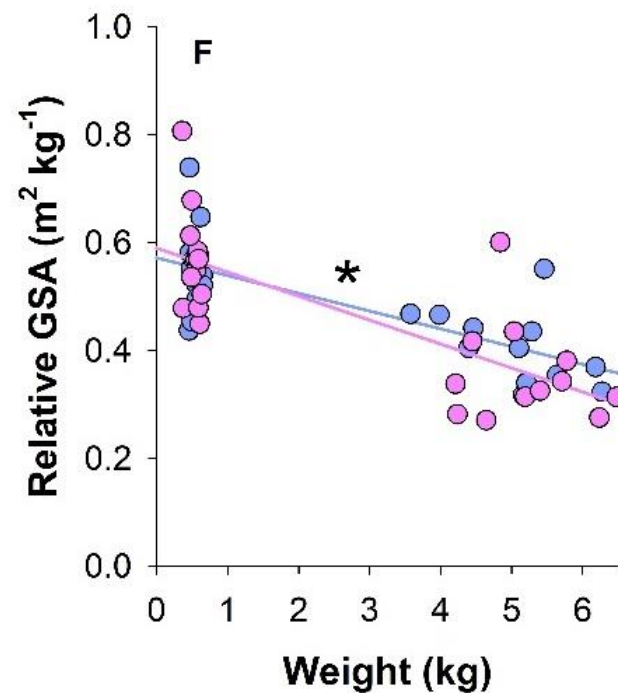
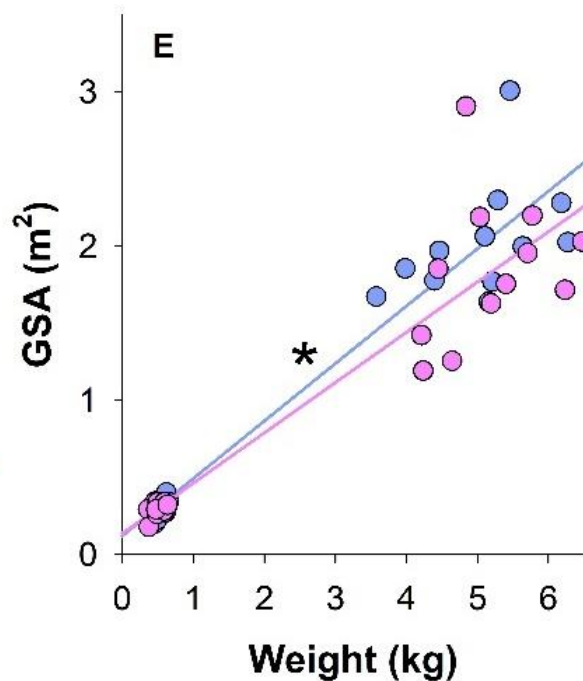
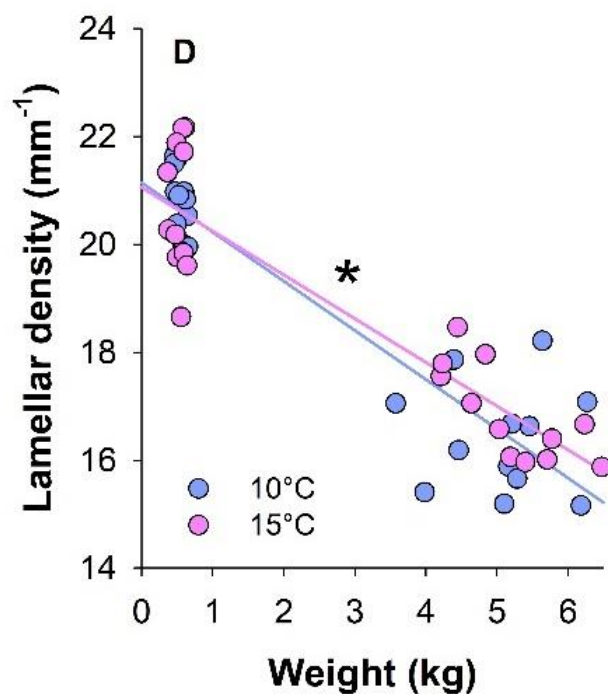
Kritiske grenseverdier for oksygen

- P_{crit} er den kritiske oksygentensjon – et mål for hypoksitoleranse.
- Høy temperatur gjør P_{crit} dårligere.
- Stor fisk er mere sårbare overfor hypoksi.



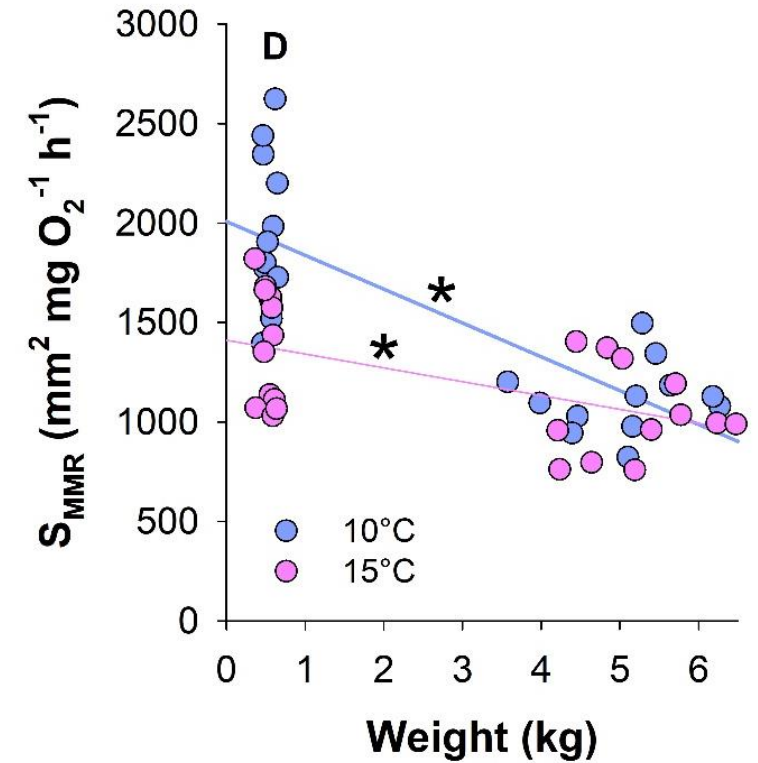
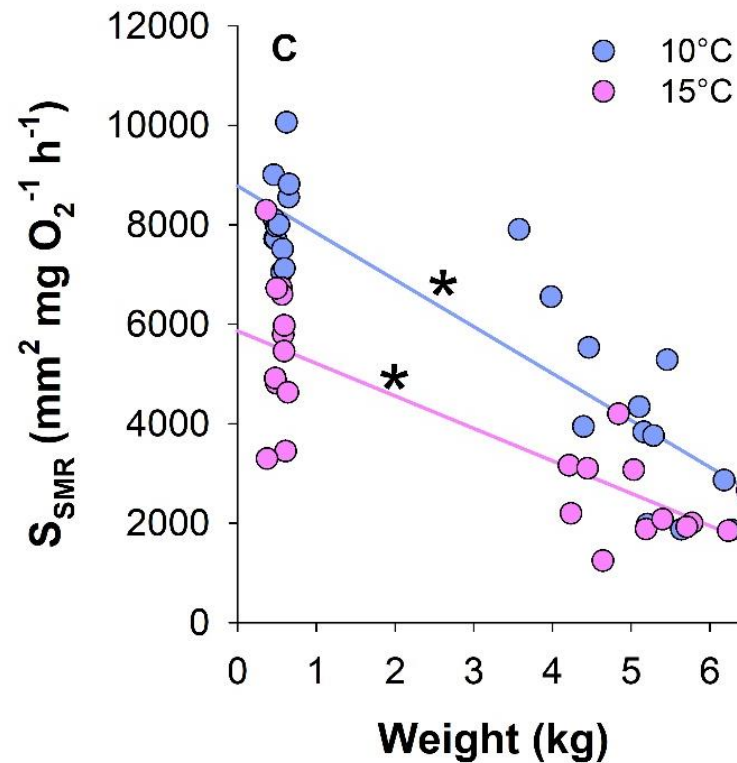
Gjelleoverflateareal / Gill surface area (GSA)

- Stor laks har lavere densitet av gjellelameller.
- Og lavere relativ GSA.

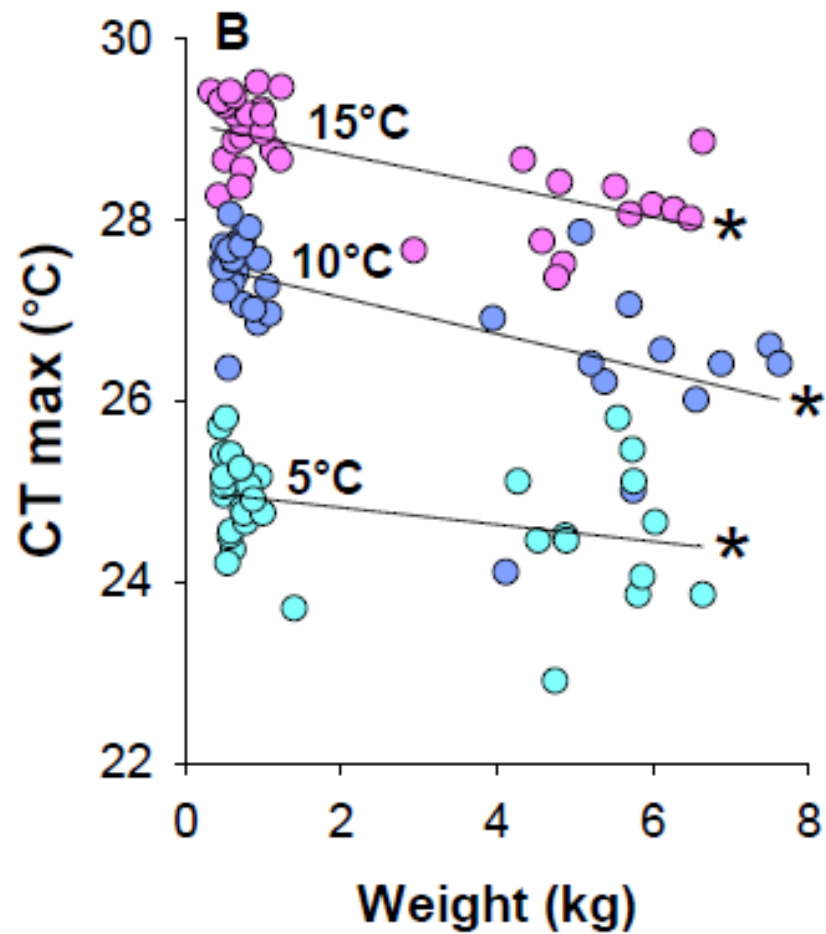


S-ratio: Gjelleoverflateareal delt på oksygenopptak

- Hvis GSA begrenser oksygenopptaket ved større størrelser, bør S-forholdet synke.
- Og det gjør det!



Temperatur toleranse i stor laks

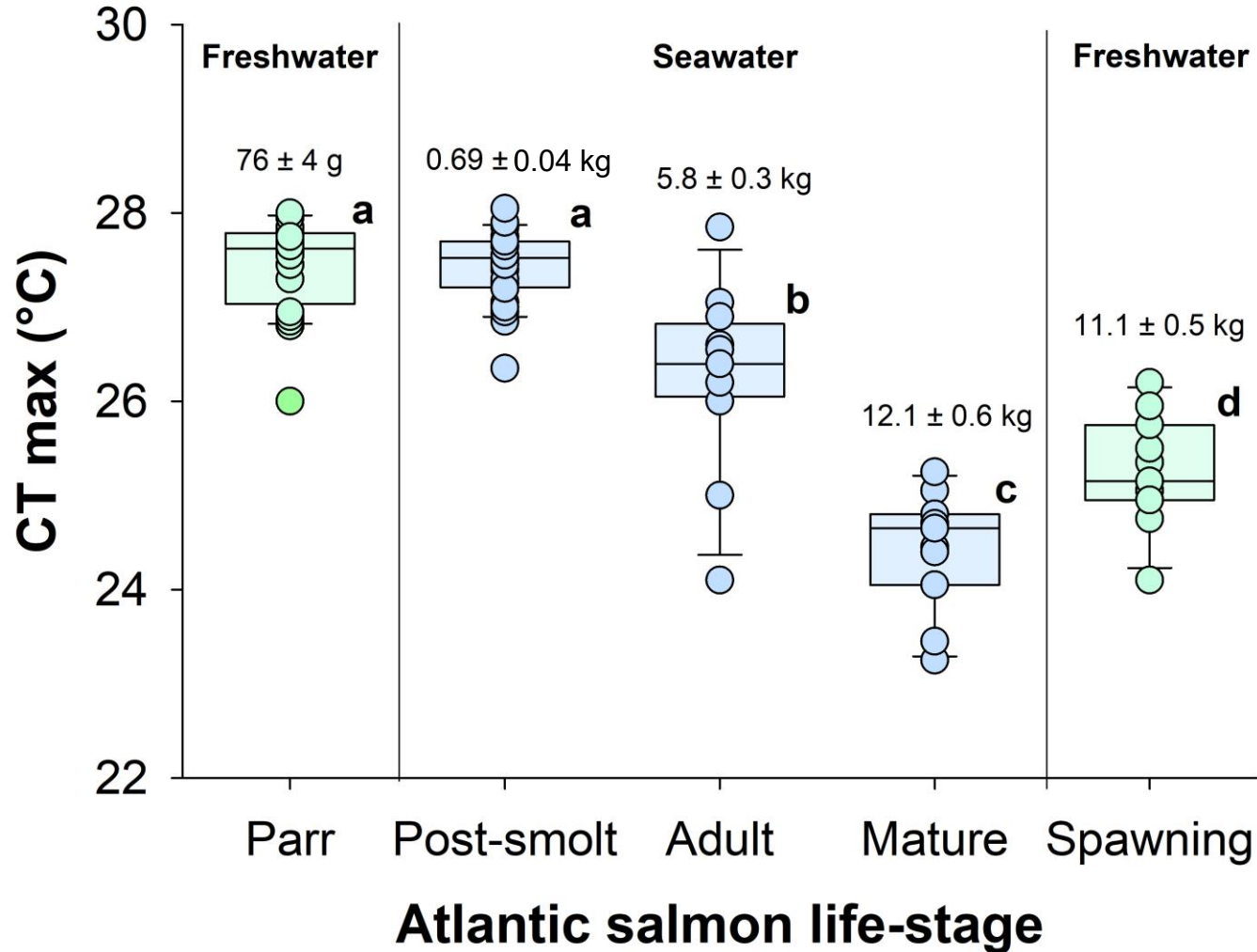


“Loss of equilibrium”



Hvas et al. *in prep.*

Temperatur toleranse avhenger av livsstadier



**Gyteklar
hunfisk**



Parr

Oppsummering og konklusjon

- Oksygen opptak blir en begrensende faktor i stor fisk.
- Stor laks tåler håndtering dårligere på høy temperaturer.
- Mangler mye kunnskap på stor laks. Inklusiv effekt av tidlig miljø historikk.
- Vi må jobbe mere med stor fisk på individ nivå i eksperimenter.



Takk for oppmerksomheten!

Matre Forskningsstasjon, Norge

- **Kontakt:**
malthe.hvas@hi.no

