

I-2013

HAVFORSKINGSTEMA

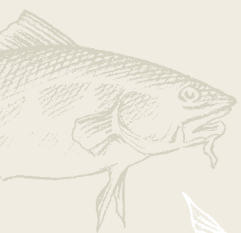


FÅR OPPDRETTLAKS NOK OKSYGEN?

*Mette Remen, Frode Oppedal, Lars H. Stien, Thomas Torgersen
og Rolf Erik Olsen*



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
INSTITUTE OF MARINE RESEARCH



FÅR OPPDRETTLAKS NOK OKSYGEN?

Oppdrettslaks kan oppleve store svingninger i oksygenivået inne i merdene. Samtidig har kunnskapen om laksens toleranse for slike svingninger vært begrenset, noe som har gjort det vanskelig å vurdere om fiskens vekst og velferd påvirkes negativt. Nye forsøk utført ved Havforskningsinstituttet har vist hvordan laksens appetitt, fordøyelse, vekst og fysiologi påvirkes av svingninger i oksygenivået. Vi har også fått kunnskap om laksens tilpasningsevne og grenseverdier for stress og redusert fôrinntak.

De siste ti årene har fokuset på merdmiljøet i norsk lakseoppdrett økt. Oksygenforholdene varierer på ulike dyp, og både oppdrettere og forskere har innsett at det er nødvendig å vite hva oksygenivået er fra overflaten og til bunnen i merdene. Derfor har Havforskningsinstituttet utviklet en målebøye med sensorer for oksygen, temperatur, saltholdighet og partikkel- og planteplanktontetthet som måler vannkvaliteten i alle dyp i merden hver time (figur 1). Dermed kan vi se hvordan temperatur og oksygenivå varierer med tid og dyp. Bøyen ble utviklet som del av prosjektet WELFARE-TOOLS finansiert av Norges forskningsråd. I dette prosjektet ble det også utviklet en internetapplikasjon (www.imr.no/welfaremeter) som automatisk analyserer hvordan svingninger i oksygen- og temperatur påvirker laksen i merden.

Oksygenvariasjoner

På Vestlandet er oksygenivået i sjøen lavest (30–70 % O_2 er observert) i perioder på sensommeren og høsten (figur 2). Årsaken til det er høye vanntemperaturer på denne årstiden, noe som gjør at vannets oksygenløselighet er lav samtidig som fisken har høyt oksygenforbruk.

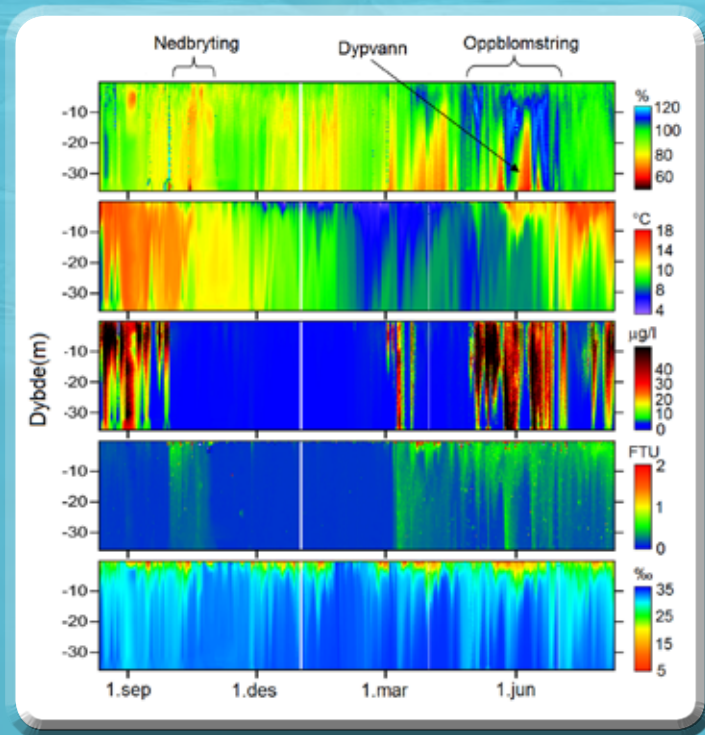
Oksygenivået kan variere mye over kort tid. Siden algene produserer oksygen gjennom fotosyntese når det er lyst og forbruker det når det er mørkt, kan vi se tydelige døgnvariasjoner under algeoppblomstringer. På lokaliteter med strømsvake perioder når tidevannet snur, kan oksygenivået svinge mellom høye og lave nivåer fire ganger i døgnet. Dette skyldes at fisken bruker oksygen hele tiden, så oksygenivået i merden avhenger av vannutskiftingen strømmen gir.

Oksygenkrevende nedbrytning av dødt organisk materiale (for eksempel alger) kan også bidra til at oksygenivået reduseres. Etter en algeoppblomstring kan dette føre til svært lave oksygenivå i noen dager (ned til 40 % O_2 er observert).





Figur 1:
 Bøye (APB 5, Saiv AS og Argus Remote Systems AS) for automatisk profilering av vannmiljø i laksemerd og fjord. Med jevne mellomrom sender bøyen en målesonde ned og opp i vannsøylen. Hver måleprofil vises automatisk på bøyens egen webside og kan i tillegg legges automatisk inn i en database på Norsk marint datasenter for sikker lagring. Mellom målingene er sensorene over vann for å hindre groe og for regelmessig kalibrering mot luft.



Figur 2:
 Oksygen (%), temperatur (°C), planteplankton (fluorescens, g/l), partikkeltetthet (FTU) og saltholdighet (‰) målt fra 0 til 35 meters dybde utenfor et oppdrettsanlegg fra august 2011 til august 2012. Dataene viser hvordan planteplankton påvirker oksygenforholdene ved å produsere oksygen i den lyse delen av året og ved å forbruke oksygen når planktonet nedbrytes om høsten. En annen effekt er oksygenfattig dypvann som tidvis stiger opp og skaper oksygenforhold ned mot 50 % O₂ i store deler av vannsøylen.



FAKTA

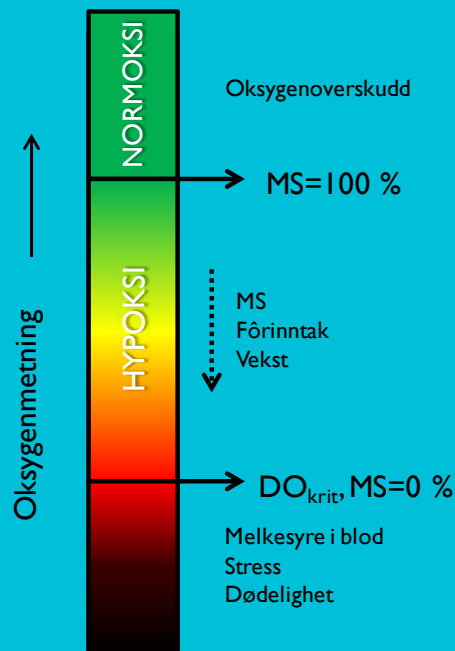
METABOLSK SPILLEROM, HYPOKSI OG DO_{KRIT}

Oksygenforbruket (MO_2) til fisk øker med energiforbruket, og brukes derfor som et mål på energiomsetningen, eller metabolismen. Fisk som har spist og som svømmer ved maksimal hastighet, kan ha tre ganger høyere MO_2 enn sulten, hvilende fisk.

Differansen mellom maksimalt og minimalt oksygenforbruk kalles det metabolske spillerommet (MS, engelsk: metabolic scope), og representerer kapasiteten en fisk har til å utføre energikrevende prosesser utover det å overleve fra det ene øyeblikket til det neste. For eksempel henger fôrintak og vekst nøye sammen med størrelsen på det metabolske spillerommet.

Både vannets temperatur og oksygeninnhold påvirker fiskens metabolske spillerom. Generelt er spillerommet lite ved lave (f.eks. 3–6 °C) og høye (f.eks. 19–22 °C) temperaturer, og høyest ved optimaltemperaturen (13–17 °C er foreslått for laks). Men uansett temperatur er laksen avhengig av å ta opp nok oksygen fra vannet for at det metabolske spillerommet skal opprettholdes. Jo høyere temperaturen er, jo mer oksygen trengs. Dersom det er nok oksygen i vannet til å opprettholde spillerommet, kalles det normoksi. I motsatt fall kalles det hypoksi.

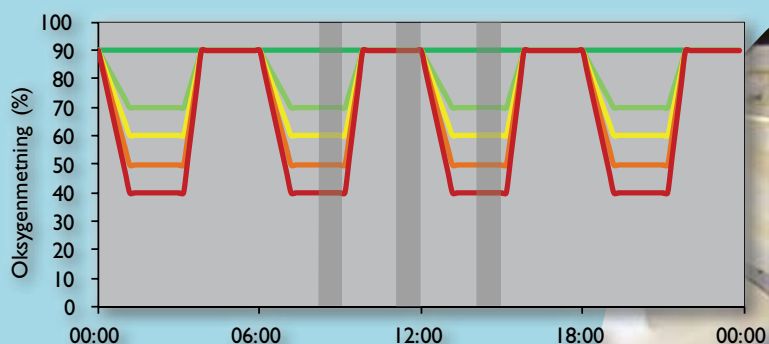
Når oksygennivået synker under grenseverdien mellom normoksi og hypoksi, reduseres spillerommet gradvis, noe som gjør at kapasiteten for fôropptak og vekst begrenses. Når oksygennivået synker videre til den kritiske oksygenmetningen (DO_{krit}) er spillerommet likt null. Ved oksygennivå under denne grenseverdien må fisken kompensere ved hjelp av anaerob (uten oksygen) metabolisme, og oksygenmangel og stress tiltar med synkende oksygennivå. I verste fall dør fisken. Oksygennivå under DO_{krit} kan derfor ses på som uakseptable både med tanke på vekst og velferd.



Figur 3: Skjematisk fremstilling av hvordan en gradvis synkende oksygenmetning påvirker fiskens metabolske spillerom (MS), vekstkapasitet og fysiologiske tilstand.

Fôrinntaket reduseres først

For at oppdretterne skal kunne avgjøre når det er nødvendig med tiltak mot lave oksygennivå, må de vite hvordan oksygenivået i vannet påvirker laksen. Siden lave oksygenivåer som oftest er et høstproblem, gjennomførte vi et forsøk der vi holdt postsmolt laks (laks i første del av sjøvannsfasen, 250–350 g i forsøket) ved en typisk høsttemperatur for Vestlandet (16 °C). Vi undersøkte hvordan laksens fôrinntak og fysiologi ble påvirket av oksygenvingninger (Figur 4 og 5) med oksygenivå mellom 40 og 70 % O₂ i hypoksi-periodene, og 90 % O₂ i normoksi-periodene (se faktaboks for forklaring av begrepene). Kontrollgruppen ble holdt ved 90 % O₂ kontinuerlig. Oksygenivåene ble valgt fordi slike nivå er observert i laksemerder om høsten, og varigheten (to timer) og frekvensen av hypoksi (hver sjetten time) ble valgt for å etterligne forholdene som kan oppstå på lokaliteter som opplever ”strømstille” perioder når tidevannsstrømmen snur.



Figur 5: De ulike variasjonene i oksygenmetning som de fem gruppene ble utsatt for i løpet av døgnet. Kontrollgruppen gikk ved 90 % O₂ kontinuerlig. Behandlingen ble opprettholdt i 21 dager ved 16 °C. Gruppenavnet indikerer oksygenmetningen (% O₂) i normoksi:hypoksi, og de grå søylene viser når fisken ble føret.

Den første negative effekten på fôrinntak ble registrert ved ca. 70 % O₂. Fôrinntaket sank gradvis med synkende oksygenmetning (Figur 6). Ved 40 % O₂ var fôrinntaket redusert til 29 % av fôrinntaket til fisk som ble holdt ved 90 % O₂. Siden det reduserte fôrinntaket gir redusert vekst og dårligere fôrutnyttelse, kan oksygenivå under 70 % O₂ ha mye å si for produksjonseffektiviteten og fiskens velferd over tid.

Figur 4: Karene fisken ble holdt i var ca. 450 liter, hadde lokk og automatisk styring av utfôring, vanngjennomstrømming, temperatur og oksygentilførsel. Fôrspill ble samlet og veid etter hvert måltid for å beregne hvor mye fisken hadde spist.





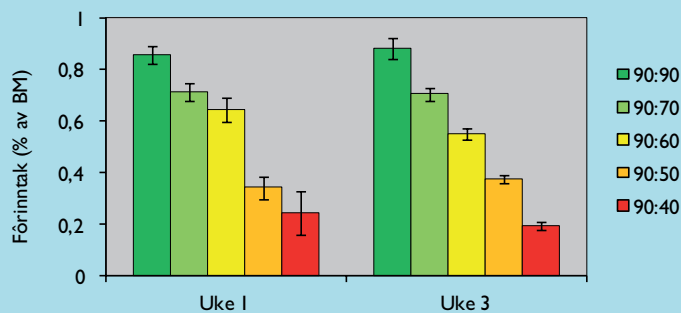
Alvorlig oksygenmangel gir stress

At fôrinntaket gradvis reduseres når oksygenmetningen synker fra 70 til 40 % kan ses på som en kompensasjonsrespons som reduserer fiskens oksygenbehov. Ved at fisken samtidig øker evnen til oksygenopptak (f.eks. ved å øke gjelleventileringen), kan den unngå oksygenmangel i vevet, og slik unngå akutte fysiologiske problemer og stress. Synker oksygenmetningen under en kritisk grense, vil imidlertid slik kompensasjon være utilstrekkelig. I forsøket med postsmolt så vi at melkesyre, et sluttprodukt fra anaerob metabolisme (se faktaboks) begynte å akkumuleres ved 60 % O₂. Stresshormonet kortisol ble utskilt ved 50 % O₂ (se figur 7, 8 og 10 A–B). Disse resultatene tyder på at grenseverdien for oksygenmangel i vevet, kalt den kritiske oksygenmetningen (DO_{krit}, se faktaboks), ligger mellom 50 og 60 % O₂ ved 16 °C. Generelt bør oksygennivå under DO_{krit} unngås i lakseoppdrett av flere grunner: Anaerob metabolisme er energikrevende, stress er ikke forenelig med god dyrevelferd og overlevelsen er tidsbegrenset. Gjentatt stress kan i tillegg svekke immunforsvaret.

Laks viser evne til tilpasning

I 21 dager ble postsmolten utsatt for oksygenreduksjoner fire ganger om dagen for å undersøke om den fysiologiske responsen og appetitten endret seg hos fisk som tilvennes svingninger i oksygenivået.

Når vi ser på fôrinntaket i periodene med hypoksi (40–70 % O₂), så vi ingen tegn til at fisken tilpasset seg. Reduksjonen i fôrinntak var lik i uke 1 som i uke 3 (figur 6). Men i periodene med gode oksygenforhold (90 % O₂) så vi tydelige endringer: etter omtrent sju dager begynte fisken å kompensere for det lave fôrinntaket i hypoksi ved å spise mer i fôringsperioden der oksygenmetningen var høy (figur 9). I gruppen som fikk 40 % O₂ i hypoksiperiodene, førte denne kompensasjonen til at det totale daglige fôrinntaket økte fra 36 % av kontrollgruppens fôrinntak i uke 1, til 70 % i uke 3.

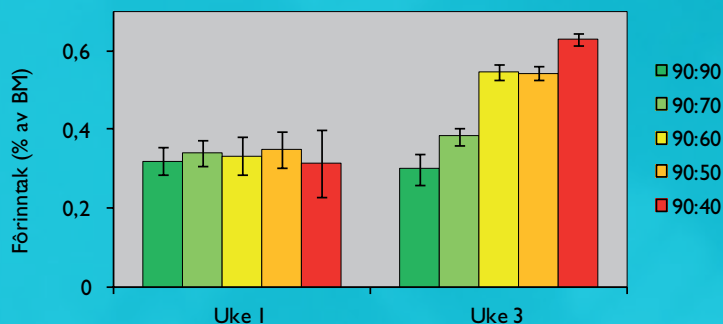


Figur 6: Gjennomsnittlig daglig fôrinntak (% av biomasse, BM) i hypoksi (måltid 1 + måltid 3) i uke 1 og uke 3 hos postsmolt som ble utsatt for fire daglige hypoksiperioder av ulik alvorlighetsgrad i 21 dager. Gruppenavnet indikerer oksygenmetningen i normoksi:hypoksi (% O₂).

- ◀ **Figur 7:** Blodprøvetaking. For å unngå at prøvetakingen skulle påvirke stressnivået hos fisken, gikk det maks. 5 minutter fra fisken ble høvet til blodprøvene var tatt og bearbeidet.
- ◀ **Figur 8:** Postsmolt under prøvetaking. All fisk ble veid og målt ved start, slutt og ved uttak underveis for å kartlegge biomasseøkningen i karene over tid.



Figur 9:
Gjennomsnittlig daglig fôrintak (% av biomasse, BM) i normoksi (måltid 2) i uke 1 og uke 3 hos postsmolt som ble utsatt for fire daglige hypoksi-perioder av ulik alvorlighetsgrad. Gruppenavnet indikerer oksygenmetningen i normoksi:hypoksi (% O₂).



Økningen i fôrintak i perioder med gode oksygenforhold kan ha sammenheng med at fiskens stressrespons ble nedregulert. Utskillelsen av stresshormonet kortisol ved 40 og 50 % O₂ på dag 1, kunne ikke lenger observeres på dag 7, 14 eller 21 (figur 10 A), selv i perioder med 40 % O₂. Stressresponsen hemmer appetitten, og når denne responsen ble nedregulert kan fisken ha blitt i stand til å utnytte periodene med gode oksygenforhold (og stort metabolsk spillerom) til å prøve å dekke næringsbehovet sitt. Nedreguleringen av stressresponsen kan derfor ses på som en positiv tilpasning til oksygenvingninger.

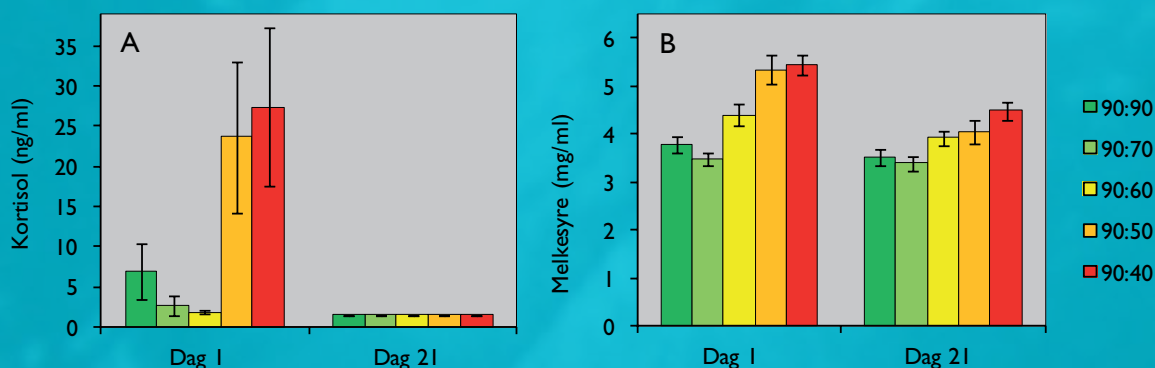
Fôr når oksygennivået er høyt

Siden laks så ut til å kompensere i perioder med gode oksygenforhold, ble det undersøkt om optimal vekst kunne opprettholdes dersom man kun fôrer i perioder med gode oksygenforhold. Et premiss for dette er at fisken er i stand til å fordøye fôret skikkelig selv om oksygennivået synker like etter fôring. I dette forsøket ble fisken utsatt for tilsvarende oksygenvingninger som i det

første forsøket (to timer hypoksi hver sjettede time), og ved samme temperatur (16 °C). Forskjellen var at fisken kun ble fôret i perioder med gode oksygenforhold (80 % O₂), to ganger daglig (figur 11).

Resultatene viste at fire daglige reduksjoner i oksygenmetningen ned til 70 % O₂ ikke ga negativ effekt på fôrintaket hos postsmolt (400–800 g), mens reduksjoner ned til 60 og 50 % O₂ ga en reduksjon på henholdsvis 6 og 13 % (figur 12). Det daglige fôrintaket var imidlertid høyere enn i forsøk 1, der det ble fôret to ganger daglig ved lavt oksygennivå og én gang daglig ved høyt. Disse resultatene tyder på at det er gunstig å fôre når oksygenforholdene er gode.

Reduksjonen i fôropptak i gruppene som hadde oksygennivå på 50 og 60 % O₂ i kortvarige perioder mellom fôringene, viser at hypoksi kan gi negative effekter selv om det fôres etter at gode forhold er gjenopprettet. Dette kan ha sammenheng med at laksen må bruke perioden med gode oksygenforhold til å kvitte seg med



Figur 10 A–B:
Konsentrasjoner av stresshormonet kortisol (A) og det anaerobe sluttproduktet melkesyre (B) i blodet til laks i den første hypoksi-perioden på dag 1 og på samme tid på dag 21. Gruppenavnet indikerer oksygenmetningen i normoksi:hypoksi (% O₂).



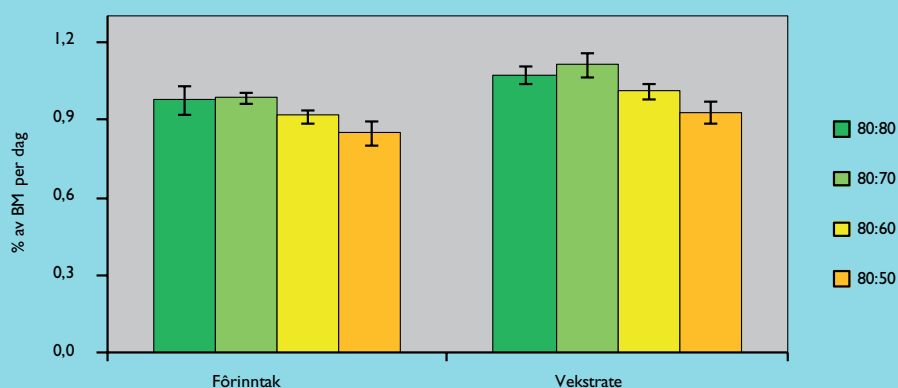
Figur 11:
Miljøhallen ved Havforskningsinstituttets forskningsstasjon i Matre, der forsøk 2 ble gjennomført. Karene har automatisk styring av utføring, lys, vanngjennomstrømming og oksygentilførsel.



anaerobe sluttprodukter (for eksempel melkesyre), eller til å fordøye fôr. Vi fant ingen negativ effekt av oksygensvingningene på fiskens fordøyelse, men analysene sier ingenting om fordøyelsen skjedde i perioder med lite eller mye oksygen.

Grenseverdier øker med temperaturen

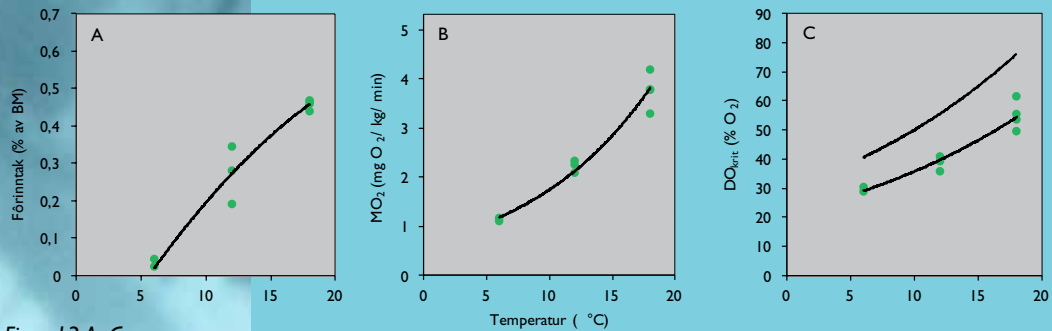
Oksygenreduksjoner kan oppstå i kortere eller lengre perioder, og med ulik intensitet og hyppighet. For å vurdere i hvilken grad fiskens vekst og velferd er negativt påvirket, må vi ha kunnskap om oksygenrenseverdier. Den første grenseverdien det er nyttig å ha kunnskap om er grensen for optimalt fôrinntak. Ved oksygennivå over denne grenseverdien vil oksygennivået normalt ikke virke begrensende for fisk i oppdrett. Den andre grenseverdien man bør ha kunnskap om er den kritiske oksygenmetningen, DO_{krit} . Ved oksygennivå under denne grensen er de fysiologiske utfordringene fisken opplever så store at DO_{krit} kan ses på som en nedre grense for akseptable oksygenreduksjoner med tanke på fiskens funksjon og velferd. Oksygennivå mellom disse to grenseverdiene kan ses på som "suboptimale". Det vil si at kapasiteten for fôrinntak og vekst gradvis reduseres med synkende oksygennivå, men at fisken er i stand til å kompensere på en slik måte at den akutte fysiologiske utfordringen blir liten.



Figur 12: Gjennomsnittlig daglig fôrinntak (% av biomasse) og vekstrate (% av biomasse) i løpet av 70 dager med hypoksi i to timer hver sjettede time ved 16 °C, hos postsmolt som kun ble fôret i perioder med gode oksygenforhold (80 % O₂). Gruppenavnet indikerer oksygenmetningen i normoksi:hypoksi (% O₂).

I det første forsøket foreslo vi at grenseverdien for redusert fôrinntak lå på ca. 70 % O₂, og at DO_{krit} lå mellom 50 og 60 % O₂ for postsmolt ved 16 °C. Oksygen grenseverdier er imidlertid temperaturspesifikke. Ved lave temperaturer er fiskens fôrinntak og aktivitetsnivå relativt lavt, noe som betyr at den trenger mindre oksygen. Når temperaturen går opp, øker både fôrinntak og aktivitetsnivå, og behovet for oksygen blir større. Sammenhengen mellom temperatur og grenseverdien for redusert fôrinntak undersøkes i et pågående forsøk ved Forskningsstasjonen Matre. Sammenhengen mellom temperatur og DO_{krit} ble undersøkt i 2009.

Resultatene fra 2009 viste som forventet at oksygenforbruket (MO₂, mg O₂/kg/min) til postsmolt laks (300–500 g) økte med temperaturen, og var omtrent tre ganger høyere ved 18 °C enn ved 6 °C. Dette førte til en eksponentiell økning også i DO_{krit}, som økte fra 29 til 55 % O₂ ved samme



Figur 13 A–C:

Effekt av temperatur på A) fôrinntak (% av biomasse ved måltid to timer før DO_{krit}-måling), B) oksygenforbruk, MO₂ (mg O₂/kg/min) og C) den kritiske oksygenmetningen, DO_{krit} (% O₂) for postsmolt laks. Fisken i dette forsøket hadde lavt oksygenforbruk, noe som fører til at DO_{krit} blir relativt lav. For å vise hvordan DO_{krit} kan variere hos fôret, svømmende laks, er et høyt estimat for DO_{krit} lagt til (stiplet linje). Se tekst for nærmere forklaring.

temperatursprang (figur 13 A–C). I forhold til tidligere forsøk med postsmolt av tilsvarende størrelse, viste det seg at disse fiskenes oksygenforbruk var relativt lavt. Vi brukte derfor sammenhengen mellom MO₂ og DO_{krit} til å estimere hva DO_{krit} kan være for fisk med et oksygenforbruk som er mer relevant for postsmolt i en oppdrettsituasjon. Ut fra dette fant vi at DO_{krit} kan være opptil 40 % høyere enn hva vi fant i vårt forsøk, det vil si at DO_{krit} øker fra 41 % O₂ ved 6 °C til 77 % O₂ ved 18 °C (figur 13 C). Variasjonen i DO_{krit} ved en gitt temperatur forteller oss at det kan være mulig å treffe tiltak for å senke DO_{krit} dersom oksygenivået i en merd i en kort periode er lavt. DO_{krit} vil for eksempel være lavere for fastet fisk som ikke stresses, enn hos fisk som fordøyer et stort måltid eller svømmer hurtig.

Praktiske råd

For å vurdere hvilke tiltak som er nødvendig for å unngå negative effekter av hypoksi i et oppdrettsanlegg, trengs det en oversikt over oksygen- og temperaturvariasjonene på lokaliteten. I tillegg må årsaken(e) til at oksygenivået synker klarlegges. Når man har en slik oversikt, kan man utarbeide en langsiktig strategi som reduserer sannsynligheten for at laksen opplever perioder med utilstrekkelige eller kritisk lave oksygenivå. For eksempel kan mulige strategier være å unngå høy biomasse i perioder der temperaturen og fiskens oksygenforbruk er høyt, å sørge for hyppigere fjerning av begroing eller å separere tettliggende merder.

Dersom oksygenivået i kortere perioder synker under grenseverdien for optimalt fôrinntak (suboptimale nivå), kan det være aktuelt å begrense utfôringen til tidspunkt med god oksygentilgang. Grenseverdien for optimalt fôrinntak ligger på ca. 70 % O₂ ved 16 °C for postsmolt laks, og kan forventes å øke med temperaturen. Pågående forsøk undersøker dette.



Dersom oksygenivået plutselig og uforutsett synker til kritiske nivå (f.eks. under eller etter en algeoppblomstring), bør fisken forstyrres minst mulig for å holde fiskens oksygenbehov nede, eventuelt bør også føring stoppes. Dersom det er mulig å pumpe vann fra dyp med lavere temperatur inn i merden, eller å tilsette oksygen, kan dette være aktuelle krisetiltak for å unngå/ redusere dødelighet. Våre forsøk har vist at en nedre grense for akseptable oksygenreduksjoner spenner fra 29 til 55 % O₂ for postsmolt laks når temperaturen øker fra 6 til 18 °C. Dette er et lavt estimat, og grenseverdien kan ganges med opptil 1,4 for fisk som vokser godt og svømmer med moderat hastighet.



FAKTA

CREATE

Forsøkene som er beskrevet her er gjort som en del av Cage Environment-prosjektet i CREATE.

- **CREATE:** Senter for forskningsdrevet innovasjon (SFI) med fokus på biologisk og teknologisk forskning og utvikling rettet mot påvekstfasen av fiskeoppdrett.
- **Vertsinstitusjon:** SINTEF Fiskeri og Havbruk.
- **Forskningspartnere:** NTNU Cesos og Institutt for teknisk kybernetikk, Havforskningsinstituttet, NOFIMA Marin, SINTEF IKT.
- **Bedriftspartnere:** AKVAgroup, Egersund Net, Biomar, Erling Haug, Salmar, Marine Harvest, Lerøy Seafood Group.
- **Internasjonale partnere:** University of New Hampshire, University of Melbourne.
- **Budsjett:** 160 millioner kroner over 8 år. Finansiert av Norges forskningsråd og medvirkende partnere.



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
Institute of Marine Research

Nordnesgaten 50 – Postboks 1870 Nordnes
NO-5817 Bergen – Norway
Tlf: 55 23 85 00 – Faks: 55 23 85 31
E-post: post@imr.no

www.imr.no

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
AVDELING TROMSØ

Sykehusveien 23 – Postboks 6404
NO-9294 Tromsø
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 77 60 97 01

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN FLØDEVIGEN

NO-4817 His
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 37 05 90 01

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN AUSTEVOLL

NO-5392 Storebø
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 18 22 22

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
FORSKNINGSSTASJONEN MATRE

NO-5984 Matredal
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 56 36 75 85

FISKERIFAGLIG SENTER FOR
UTVIKLINGSSAMARBEID

Centre for Development Cooperation in Fisheries
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Fax: + 47 55 23 85 79
E-mail: post@imr.no

REDERIAVDELINGEN

Research Vessels Department
Tlf.: +47 55 23 85 00 – Faks: +47 55 23 85 32

AVDELING FOR SAMFUNNSKONTAKT
OG KOMMUNIKASJON

Tlf.: 55 23 85 38 – Faks: 55 23 85 55
E-post: informasjonen@imr.no

KONTAKTPERSON

Mette Remen
Tlf.: 56 36 75 24/922 10 181
E-post: mette.remen@imr.no

