

3.5.5 HVA BESTEMMER VANNUTSKIFTNING OG OKSYGENFORHOLD I OPPDRETTSMERDER?



Foto: Frode Oppedal

I de senere år er merdene blitt større og inneholder høyere biomasse uten at oppdretterne nødvendigvis har kalkulert konsekvensene for miljøet i form av vannstrøm og oksygeninnhold. Basert på observasjoner er det utviklet en enkel modell hvor vannutskifting og oksygenforhold i fiskeoppdrettsanlegg beregnes ut fra bakgrunnsstrøm, fisketetthet og merdstørrelse. Resultatene viser at fisketettheten i store merder må være betydelig lavere enn i små for å kunne opprettholde god vannutskifting, og vi kan si at bæreevne målt som tetthet er lavere i store enn i små merder. Risikoen for at det oppstår ugunstige oksygenivå øker med størrelsen på merden.

Jan Aure

jan.aure@imr.no

Jannicke Vigen

jannicke.vigen@student.uib.no

Frode Oppedal

frodeo@imr.no

Det livgivende oksygen

Oksygen er uunnværlig i alle energikrevende prosesser hos laks. Tilstrekkelig oksygentilførsel er avgjørende for å kunne ta opp mat og omdanne denne til energi og vekst. Oksygenverdier som ligger under trivsels- og ikke minst toleransegrensene gir ikke bare dårlige produksjonsresultat for oppdretteren gjennom dårlig appetitt og fôrutnyttelse, men også redusert sykdomsmodstand og dårlig velferd. Dersom

fisken over lengre tid ikke får dekket oksygenbehovet vil den konsentrere opp mellesyre i muskulaturen og dø.

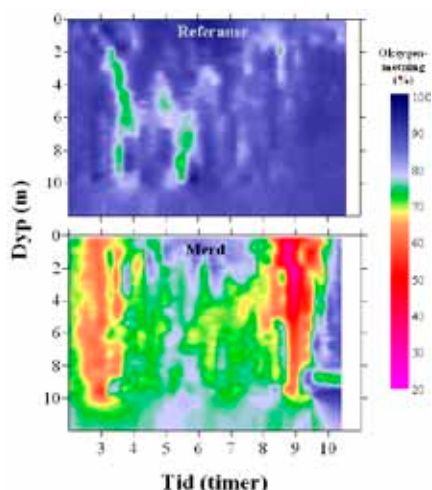
Grenseverdier for oksygen i merdene

Laks i naturen er tilpasset et liv hvor oksygenmetningen i vannet er rundt 100 %. Ettersom oksygenets løsningssevne synker med økende temperatur, tilsvarer dette i sjøvann ca. 11, 9 og 8 mg/l ved henholdsvis 2, 10 og 16 °C. De fleste studier som har undersøkt konsekvenser av dårlige oksygenforhold har vært gjort ved stabile nivå av oksygen over lengre tid og viser at appetitt og vekst reduseres allerede ved 80 % metning (6,4 mg/l ved 16 °C sjøvann), mens andre studier viser et knekkpunkt på 67 % metning (5,4 mg/l ved 16 °C sjøvann). En utredning gjort for Mattilsynet konkluderer med at verdier ned til 60 % kunne tolereres (4,8 mg/l ved 16 °C sjøvann), verdier ned til 50 % (4 mg/l ved 16 °C sjøvann) kunne tolereres dersom alle andre forhold var optimale, mens 40 % metning (3,2 mg/l ved 16 °C sjøvann) var uakseptabelt. Men ute i merdene er det store fluktasjoner som følge av tidevann, vind, avrenning fra land, jordrotasjon med mer, og laksen opplever sjeldent stabilt lave oksygenivåer. Imidlertid viser nye forsøk at grenseverdiene som nevnt over, også er gyldige for varierende lave oksygenforhold. Ved verdier ned mot 40 % metning (3,2 mg/l ved 16 °C sjøvann) i to timer døde en del fisk dersom den ble utsatt for andre stressende forhold samtidig.

derte med at verdier ned til 60 % kunne tolereres (4,8 mg/l ved 16 °C sjøvann), verdier ned til 50 % (4 mg/l ved 16 °C sjøvann) kunne tolereres dersom alle andre forhold var optimale, mens 40 % metning (3,2 mg/l ved 16 °C sjøvann) var uakseptabelt. Men ute i merdene er det store fluktasjoner som følge av tidevann, vind, avrenning fra land, jordrotasjon med mer, og laksen opplever sjeldent stabilt lave oksygenivåer. Imidlertid viser nye forsøk at grenseverdiene som nevnt over, også er gyldige for varierende lave oksygenforhold. Ved verdier ned mot 40 % metning (3,2 mg/l ved 16 °C sjøvann) i to timer døde en del fisk dersom den ble utsatt for andre stressende forhold samtidig.

Fiskens oksygenforbruk

Laks større enn ca. 1 kg forbruker mellom



Figur 3.5.5.1

Normale oksygenforhold i september ved måling i et referansepunkt utenfor merdene og ekstremt lave oksygenforhold ved bortimot strømsstille inne i en merd av kommersiell størrelse (24 x 24 m) med 77 tonn laks og beregnet tetthet på ca. 7 kg/m³. Variasjon i oksygenivå skyldes hovedsakelig tidevannsdrevet variasjon i vannstrøm.

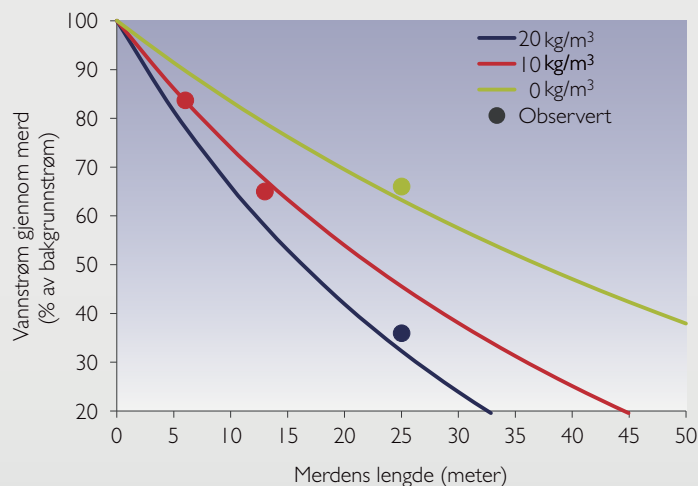
Oxygen conditions in September at a reference point and extreme hypoxia during tidal periods of standing currents within a commercial cage (24 x 24 m) holding 77 tonnes of Atlantic salmon at an approximate stocking density of 7 kg/m³.

3 og 8 kg oksygen per tonn fisk i løpet av et døgn med høyest forbruk om sommeren og tidlig på høsten. Forbruket øker også ved føring og i stressende situasjoner, som for eksempel i situasjoner med redusert oksygenforhold. I et fiskeoppdrettsanlegg vil både fiskens spesifikke oksygenforbruk og fisketettheten (eller mengde fisk) være bestemmende for oksygenforbruket. Oksygenet som forbrukes av fisken, må erstattes med oksygenrikt sjøvann som strømmer gjennom oppdrettsanlegget.

I de siste årene har oppdrettsanleggene blitt stadig større for å effektivisere produksjonen. Større anlegg fører til økt friksjon og dermed redusert vanntilførsel. I tillegg må vannet også passere flere fisk enn tidligere. Dette fører til en økt risiko for periodevis lave oksygenverdier i merdene. Dette bekreftes av undersøkelser i store merder hvor oksygenmetninger under 30 % (Figur 3.5.5.1) er målt i strømsvake perioder. De potensielt største problemene med oksygenunderskudd i merdene oppstår som oftest om sommeren og tidlig høst når fiskens oksygenforbruk er på det høyeste og vannets innhold er på det laveste på grunn av høy temperatur.

Beregninger av strøm og oksygenforhold

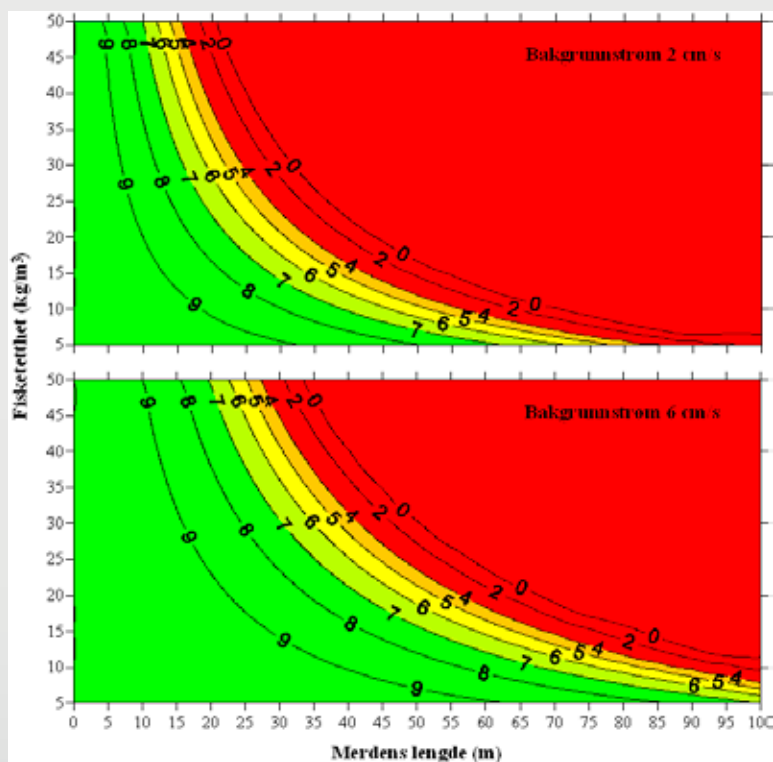
Vannstrømmen gjennom et oppdrettsanlegg bremses av nøtene og fisken inne i



Figur 3.5.5.2

Modellert (linjer) og observert (punkt) vannstrøm gjennom en fiskemerd gitt som % av bakgrunnsstrømmen og som funksjon av merdens lengde i meter for fisketetthet 0, 10 og 20 kg/m³.

Modelled and observed current through a fish cage given as % of the natural current and as a function of the cage length with fish density 0, 10 and 20 kg/m³.



Figur 3.5.5.3

Beregnet midlere oksygenkonsentrasjon (mg/l) i en fiskemerd som funksjon av fisketetthet (kg/m³) og merdens lengde (m) i en sommersituasjon (sjøvann, 15 °C, 120 % oksygenmetning) med lite (2 cm/s) og relativt god bakgrunnsstrøm (6 cm/s).

Calculated mean oxygen concentrations (mg/l) in a fish cage as a function of fish density (kg/m³) and the cage length (Lx, meter) in a summer situation (seawater, 15 °C, 120 % oxygen saturation with weak (2 cm/s) or relative good (6 cm/s) water currents.

anlegget. Basert på strømmålinger i og ved oppdrettsanlegg har vi beregnet friksjonskoeffisienten ved ulike fisketettheter, og denne økte tilnærmet proporsjonalt med økende fisketetthet. I tillegg til at vann-

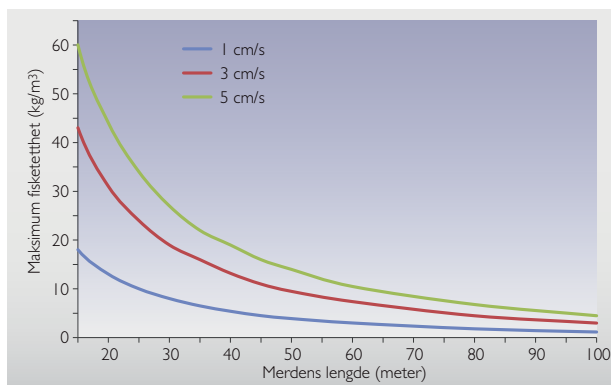
strømmen avtar med økt fisketetthet, vil den også reduseres med økt lengde på anlegget. I figur 3.5.5.2 er den gjenværende prosent av strømmen gjennom en oppdrettsmerd ($\text{vannstrøm}_{\text{ut}}/\text{vannstrøm}_{\text{inn}}$ x

100 %) beregnet som en funksjon av merdens lengde og fisketettheter på 20, 10 og 0 (tom merd) kg/m^3 , hvor vannstrøm_{inn} er bakgrunnsstrømmen på lokaliteten og vannstrømut er strømhastigheten ved enden av oppdrettsmerden. For eksempel vil en 25 m merd redusere vannstrømmen til ca. 70 % av bakgrunnsstrømmen uten fisk ($0 \text{ kg}/\text{m}^3$) og til ca. 35 % med en fisketetthet på $20 \text{ kg}/\text{m}^3$. Vi ser også at lengden på merden har stor betydning for vanngjennomstrømmingen. Ved en fisketetthet på $10 \text{ kg}/\text{m}^3$ vil for eksempel strømhastigheten reduseres til ca. 70 % av bakgrunnsstrømmen for en merd på 12 m og til ca. 15 % for en 50 m lang merd. Dette viser tydelig at i store merder (både kompaktanlegg med firkantmerder og sirkelmerder) må det være en betydelig redusert fisketetthet i forhold til små merder for å sikre en god vannutskiftning.

Oksygenforholdene i et oppdrettsanlegg er dermed bestemt av bakgrunnsverdier for vannstrøm og oksygen, fisketettheten, fiskens oksygenforbruk og sjøtemperatur. I figur 3.5.5.3 er oksygenverdiene i et anlegg beregnet for ulike fisketettheter med økende lengde på anlegget for en periode med relativt svak strøm (2 cm/s) og en periode med relativt normale midlere strømforhold (6 cm/s) i en sommersituasjon med sjøvannstemperatur på 15°C . Som nevnt over er det i de rolige strømperiodene i sommerhalvåret en forventer størst problemer med oksygenforholdene i et oppdrettsanlegg. Dersom kravet til midlere laveste oksygenverdi i anlegget settes til $7 \text{ mg}/\text{l}$, ser vi i figur 3.5.5.3 at når merdens lengde er 25 m kan midlere fisketetthet være om lag $20 \text{ kg}/\text{m}^3$. Dersom merdens lengde er 50 m, må fisketettheten reduseres til ca. det halve for å opprettholde de samme oksygenforholdene i merden. Vi ser også at følsomheten for endringer i oksygenverdiene ved økt fisketetthet er betydelig større for store merder. For en 50 m lang merd skal det bare en økning på ca. $5 \text{ kg}/\text{m}^3$ før midlere oksygenverdi reduseres fra 7 til $4 \text{ mg}/\text{l}$, mens det for en merd med lengde 25 m må fisketettheten øke med ca. $15 \text{ kg}/\text{m}^3$ for å få samme reduksjon i oksygeninnhold. Hver enkeltfisk sitt svømmedyp er påvirket av blant annet tid på døgnet, lys/mørke, sultnivå, føring, temperaturgradienter og tetthet. Dette fører til at normal observert fisketetthet vanligvis ligger på 1,5 til 5 ganger den beregnede. Resultatene over viser at store merder er betydelig mer følsomme for periodevis lave oksygenverdier enn mindre merder som følge av atferdsmessige endringer i fisketettheten.

Bæreevnen til store oppdrettsmerder er begrenset

Definisjonen av bæreevnen for et opp-



Figur 3.5.5.4

Laks med høy ventilasjonsfrekvens som svømmer i overflaten under ekstremt lave oksygenkonsentrasjoner. Atlantic salmon display high ventilation frequency at surface under severe hypoxic conditions.



Figur 3.5.5.5

Beregnet maksimal midlere fisketetthet (kg/m^3) i en merd (bæreevne) som en funksjon av merdens lengde (m) og vannstrøm (1, 3 og 5 cm/s) for en sommersituasjon (sjøvann, 15°C , 120 % oksygenmetning). Laveste akseptable midlere oksygenverdi i merden er satt til $7 \text{ mg}/\text{l}$ og oksygeninnholdet i upåvirket sjøvann er $10 \text{ mg}/\text{l}$.

Calculated maximum mean fish density in a fish cage (kg/m^3) as a function of cage length (m) and a water current of 1, 3 or 5 cm/s in a summer situation (seawater, 15°C , 120 % oxygen saturation). Minimum acceptable mean oxygen concentration in the cage is set to $7 \text{ mg}/\text{l}$ and oxygen in the surroundings is $10 \text{ mg}/\text{l}$.

drettsanlegg, uttrykt som maksimal fisketetthet, kan for eksempel være at midlere oksygenverdi i anlegget skal være over $7 \text{ mg}/\text{l}$ ved en gitt observert midlere minimum strømverdi på lokaliteten. I figur 3.5.5.4 er bæreevnen således beregnet ved for lav (1 cm/s), middels (3 cm/s) og god (5 cm/s) minimum vannstrøm. Vi ser da at økningen i bæreevnen med økende minimum vannstrøm avtar med økende størrelse på anlegget og er ca. tre ganger større for merdlengde lik 25 m enn for merdlengde lik 50 m. Det er verdt å merke seg at for et 100 m langt anlegg vil bedre strømforhold bare gi en ubetydelig økning i bæreevnen i form av økt maksimal fisketetthet. Flere merder etter hverandre eller kompakte anlegg kan sees på som en merdenhet. I figur 3.5.5.5 er det vist fisk som utsettes for meget lave oksygenforhold og trekker mot overflaten og viser en meget med høy ventilasjonsfrekvens (gjellebevegelse).

Water Exchange and Oxygen Conditions in Cages

In recent years cages for salmon farming has increased in size and hold higher biomasses. However, consequences of such on water flow and oxygen levels through the cages have not always been necessarily considered. A simplified model based on field data has been developed, and water exchange and oxygen conditions are calculated from natural current conditions, fish density and cage length. The results show that in order to provide the same water exchange in large cages, the fish density must be reduced substantially in comparison to smaller cages. Larger cages increase the risk of extreme hypoxic conditions to occur.