

# Merdmiljø

Miljøet i en oppdrettsmerd er avgjørende for både produksjonsresultatet, fiskens velferd og helse. Etter at anlegget er geografisk plassert (lokalisert), er merdmiljøet blant annet gitt av faktorer som variasjoner i miljøforhold, vannstrøm gjennom og rundt merdene, begroing, biomasse, merdstørrelse og fiskens oksygenopptak. En av de viktigste miljøfaktorene for laks er oksygen, og den har synkende toleranse for hypoksi (lavt oksygennivå) ved økende temperatur.

FRODE OPPEDAL<sup>1</sup> (frodeo@imr.no), LARS HELGE STIEN<sup>1</sup>, LARS GANSEL<sup>2</sup>, PASCAL KLEBERT<sup>3</sup>, PÅL LADER<sup>3</sup>, JANA GUENTHER<sup>2</sup>, METTE REMEN<sup>1</sup>, TURID SYNNOVE AAS<sup>3</sup>, JAN AURE<sup>1</sup> og THOMAS TORGERSEN<sup>1</sup>  
1. Havforskningsinstituttet, 2. SINTEF, 3. NOFIMA

Miljøet i en oppdrettsmerd avhenger av mange faktorer hvor lokalisering bestemmer grunnleggende forhold som temperatur, saltholdighet, oksygen, vannstrøm, værforhold og variasjon med årstid. Vannet i fjorder kan ha kraftig lagdelinger av blant annet saltholdighet, temperatur, tetthet og oksygen, mens det ytterst ved kysten typisk er mer like forhold. I Sør-Norge er variasjonen i temperatur størst mellom sommer og vinter, Midt-Norge har mindre variasjon og mer stabile temperaturer, mens det i nord generelt

er kaldere hele året. Lignende variasjon ses også i en gradient fra øst til vest kombinert med forskjell mellom fjord og kyst. Miljøet i og rundt merdene bør måles kontinuerlig på flere dyp for å fange opp endringer (figur 1).

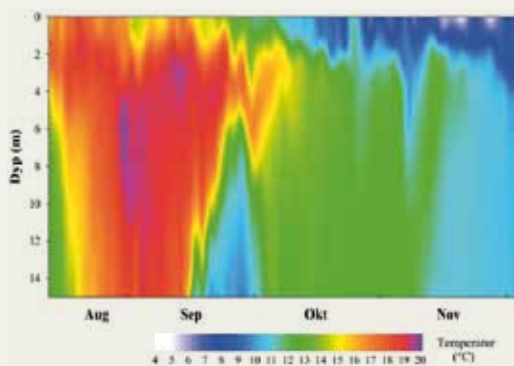
## Beregnet bæreevne

Det er utviklet en grunnleggende modell for å beregne vannutskifting og oksygenforhold i en merd. Modellen er basert på bakgrunnsstrøm, merdstørrelse (lengde eller diameter) og fisketetthet. En

midlere målt faktor for strømreduksjon og oksygenforbruk benyttes. Resultatene fra modellen viser at merdens bæreevne gitt som fisketetthet (kg/m<sup>3</sup>) øker med vannstrøm og synker med merdstørrelse (figur 2). Fisketettheten i store merder må være betydelig lavere enn i små for å kunne opprettholde god vannutskifting. Risikoen for at det oppstår ugunstige oksygennivå øker med størrelsen på merden. Temperatur, fiskestørrelse og bakgrunnsnivå for oksygen vil påvirke sammenhengene. Strømningsmønsteret vil også påvirkes av biologiske faktorer som begroing og fiskens egenbevegelse, noe modellen foreløpig ikke tar hensyn til.

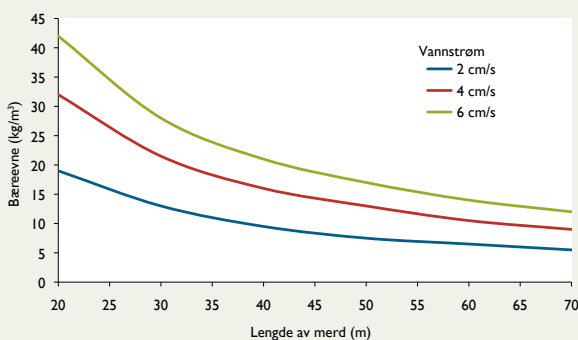
## Not og fisk påvirker vannstrømmen

Redusert vannstrøm gjennom merden kan komme av blokkering som skyldes liten masketørrelse, tykk tråd eller begroing. Dersom vi observerer strømningene i en tom merd vil vi finne en av tre ulike strømningsregimer basert på notens grad av blokkering. Nedstrøms av en normal ren not vil strømningene danne enkle ”tråder”, med minimal avbøyning og moderat redusert vannhastighet. En moderat begrodd not vil skape kryssninger mellom strømningene i kjølvannet bak, mer avbøyning og kraftigere reduksjon i vannstrøm. Meget begrodd noter vil skape kraftig avbøyning og resirkulasjon av vannet inne i og bak merden. Effekten av fiskens bevegelser skaper i tillegg en intern sirkulasjon. Laks i merd danner vanligvis en ringformet struktur og svømmer kontinuerlig rundt i merden, raskere på dagtid enn om natten. Fisken bruker da en kraft innover mot merdens senter og motkraften presser vannet ut av merden. Lavtrykket som oppstår i senter av merden på grunn av vanntapet fører til at vann kommer inn ovenfra eller muligens også nedenfra. Effekten er størst i dypt med flest fisk, som igjen varierer med tid på døgnet, lys, føring, temperatur og



Figur 1. Eksempel på merdmiljø på et anlegg lokalisert i en middels stor fjord på Vestlandet med stor variasjon i temperatur over tid og dyp.

Example of cage environment at a farm in a fjord in western Norway with temperature fluctuating with depth and time.



Figur 2. Beregnet midlere bæreevne som tetthet (kg/m<sup>3</sup>) ved ulike lengder av merden og vannstrøm 2, 4 og 6 cm/s gitt normal sommertemperatur og oksygenivå (sjøvann, 15 °C, 9,5 mg/l, 115 % metning). Laveste akseptable gjennomsnittlige oksygenverdi i merden er satt til 7 mg/l (85 % oksygenmetning).

Calculated average sustainable fish density in a fish cage (kg/m<sup>3</sup>) as a function of cage length and water current of 2, 4 or 6 cm/s in a summer situation (seawater, 15 °C, 9.5 mg/l, 115 % oxygen saturation). Lowest acceptable mean oxygen concentration in the cage is set to 7 mg/l (85 % oxygen saturation).

andre varierende faktorer. Figur 3 illustrerer hvordan deler av vannstrømmen avbøyes og går rundt merden og danner en resirkulering i bakkant (lange røde piler). De små røde pilene illustrerer vann som presses ut av merden på grunn av fiskens bevegelse, og dermed suges vann inn ovenfra (grønn pil). Fiskens effekt i forhold til not og begroing er ukjent, men vil variere med svømmehastighet, tetthet og bakgrunnsstrøm.

### Modell av vannstrøm i flere merder

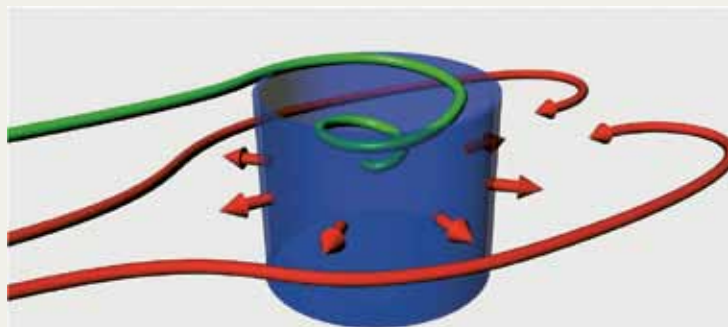
Ved hjelp av modeller har vi forsøkt å danne oss et bilde av hvordan vannet strømmer gjennom og rundt enkeltmerder og grupper av merder (figur 4). Bakgrunnsstrømmens retning er indikert med den røde pilen og er 20 cm/s (gul farge). Merdens not er indikert med rød sirkel og fiskens egenbevegelse som røde halvmåneformede piler. Blokkering av merdene og anlegget gir redusert strømhastighet foran, inne i og bak hver enkelt merd. Den avbøyde strømmen fører nødvendigvis til en økning i vannstrøm rundt merden og anlegget. Det er en klar le-effekt når merdene ligger etter hverandre i hovedstrømretningen. Det komplekse bilde av vannstrømmen som ses vil bli sammenlignet med faktiske målinger på oppdrettsanlegg de neste årene.

### Deformasjon av notvegg

Problemstillinger knyttet til vannstrøm er mer kompliserte for merdenes nøter enn for rigide strukturer (for eksempel båter og oljerigger) siden nøtene deformeres med økende vannstrøm (figur 5). Deformasjonen er en ulempe ved at den reduserer volumet som er tilgjengelig for fisken, men samtidig en fordel ved at den reduserer kraften som virker inn på fortøyningene. På kommersielle merder eksponert for vannhastigheter på 13–35 cm/s er det målt volumreduksjoner på 20–40 %. Deformasjonens effekt på vannstrømmen inne i merden og fiskens normale atferd er ukjent.

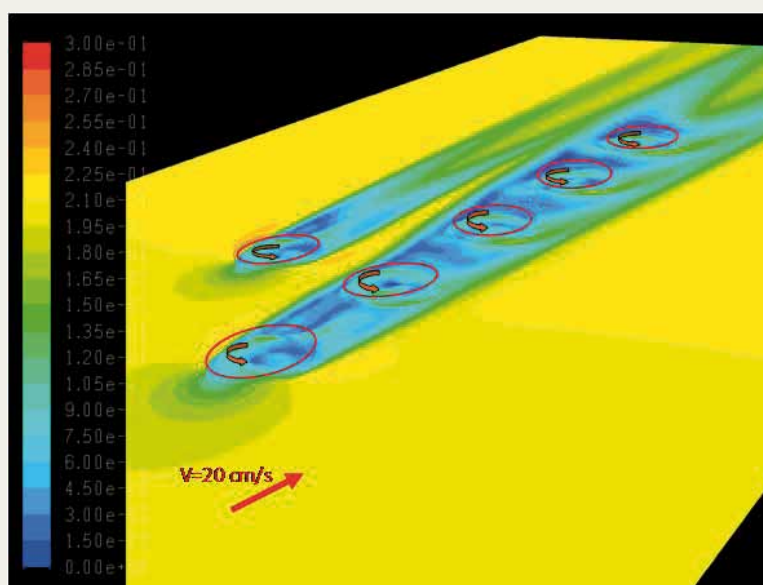
### Begroing er en utfordring

Med økende grad av begroing på nøtene reduseres vannets mulighet til gjennomstrømming, belastningen på opphenget øker og mer vekt er nødvendig for å opprettholde merdvolumet. Videre vil leppefisk ofte spise begroing fremfor lus dersom denne er av en matnyttig sammensetning. Siden begroing reduserer maskeåpningen, er det utviklet en standard metode for måling av graden av blokkering. Hydroider (spesielt *Ectopleura larynx*) er dominerende på nøter i Sørvest- og Midt-Norge mellom juli og november, mens blåskjell, alger, mosdyr og spøkelseskreps er ofte observerte



Figur 3. Illustrasjon av hvordan vannstrømmen påvirkes av not, fisk inne i merden og dens bevegelse.

Illustration of how water flow is affected by a net cage with fish moving in a circular pattern midwaters.



Figur 4. Simulert hastighet av vannstrøm rundt enkeltmerd (oppe til venstre) og 5 merder i en rekke med not, fisk og sirkulær egenbevegelse av fisken.

Simulated water speed around a single and group of 5 cages with nets, and fish moving in a circular pattern.

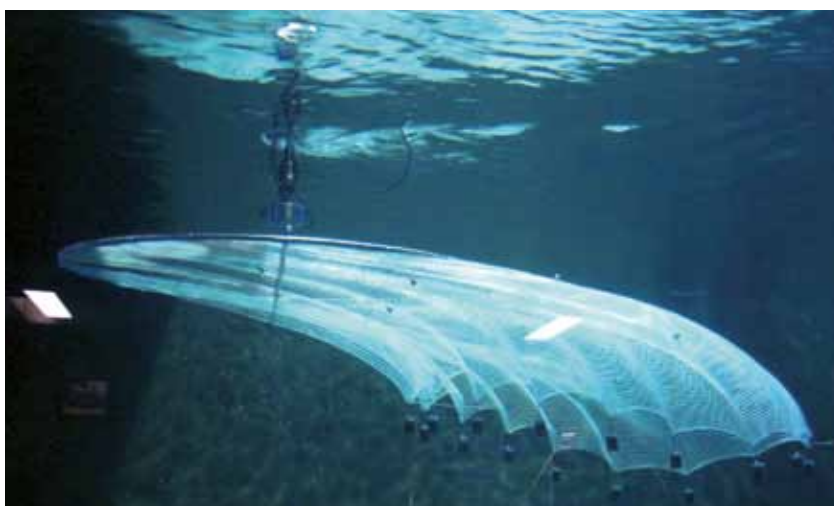
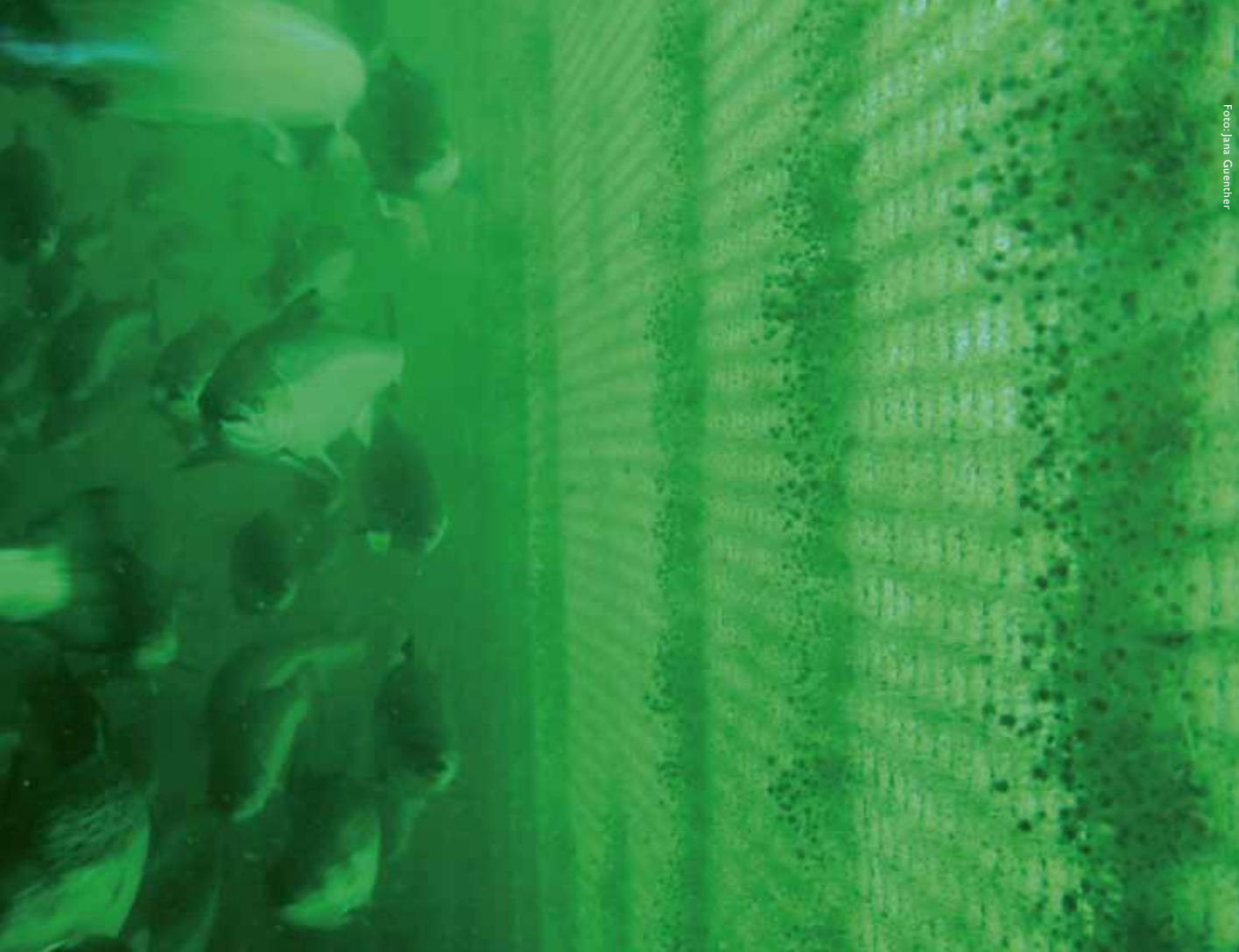


Foto: Pål Løder

Bilde 1. Vannstrøm øker deformasjon og belastning på oppheng av nøter. Water flow increase deformation and forces acting on suspension.



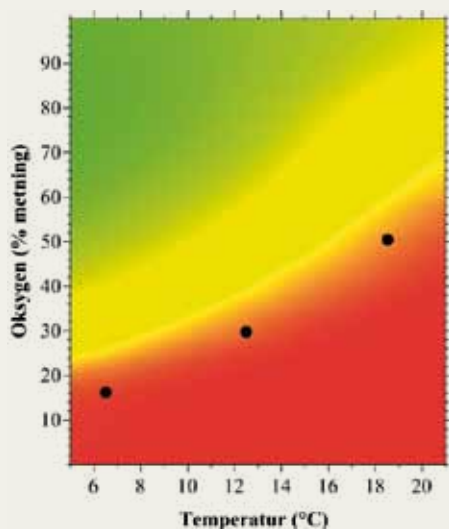
**Bilde 2.** Typisk begroing av hydroider på en oppdrettsnot.  
Fouling of hydroids on fish farm nets.

arter. Undersøkelser viser at hydroider har flere festemekanismer og har rask gjenvekst etter at noten er vasket. I dag brukes hovedsakelig kobberimpregnering og vasking og tørking av nøtene for å forhindre og fjerne begroing, men det jobbes kontinuerlig med å utvikle bedre metoder.

### Oksygenforbruk og grenseverdier for oksygen

Oksygen er nødvendig for alle energikrevende prosesser hos laks. Nødvendige prosesser for livsopphold, svømmeaktivitet og prosesser knyttet til føeropptak er alle avhengige av at vevene får tilstrekkelig oksygentilførsel. Dette forutsetter at

vannet inneholder tilstrekkelig oksygen til at fisken klarer å dekke behovet med oksygenopptak over gjellene. Dersom fisk utsettes for synkende oksygeninnhold, opprettholder den oksygenforbruket blant annet ved å øke gjelleventilasjonen, inntil den ved en kritisk grense ikke klarer å ta opp nok oksygen til å opprettholde forbruket. Punktene på figur 5 viser den laveste oksygenmetningen som aktiv og fullfôret laks klarer å opprettholde oksygenforbruket sitt ved på ulike temperaturer. Figuren viser at denne kritiske oksygenmetningen øker med økende temperatur, og dette skyldes både at oksygen- og energiforbruket øker og at løseligheten av oksygen i vannet synker med økende temperatur. Oksygenverdier lavere enn disse kritiske nivåene fører til at fisken ikke får dekket oksygenbehovet. Den vil da akkumulere melkesyre og dø etter relativt kort tid om ikke forholdene bedres. Ved oksygeninnhold på eller like over disse kritiske nivåene kan fisken opprettholde energiforbruket sitt i en kortere periode. Det betyr imidlertid ikke at oksygenforhold på dette nivået over tid vil tillate god vekst, velferd eller fiskehelse. Grenseverdier for gode betingelser vil derfor være høyere.



**Figur 5.** Kritisk oksygenmetning (punkter) og vurdering av temperatur- og oksygenforholdenes betydning for velferd og ytelse hos laks. Punkter: Nedre grenser for opprettholdelse av oksygenforbruk for fullfôret laks på ca. 400 g. Farger: optimalt (grønn), suboptimalt (gul), på toleransgrensen (oransje) og kritisk (rød). Merk at grensen mellom gul og grønn sone er usikker.

*Critical oxygen saturation (markers) and evaluation of the effect of temperature and oxygen conditions on welfare and performance of Atlantic salmon. Markers: Lower limits for sustained oxygen consumption of 400 g salmon fed to satiation. Colours: optimal (green), suboptimal (yellow), at tolerance limit (orange) and critical (red). Note that the position of the green-yellow boundary is uncertain.*