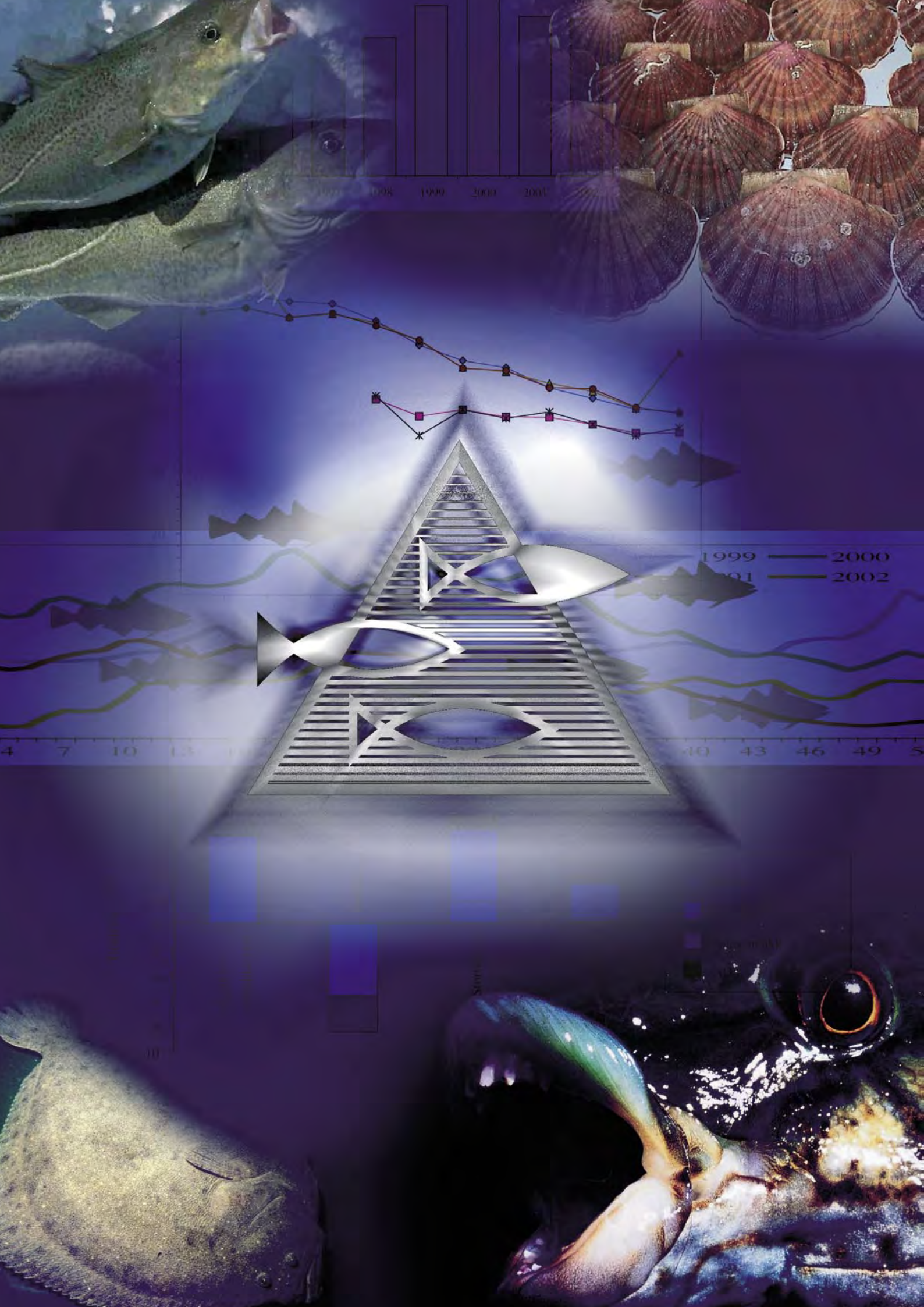


Fisken og havet, særnummer 3-2004  
ISSN 0802 0620

# Havbruksrapport 2004

Redaktører: Ann-Lisbeth Agnalt  
Arne Ervik  
Tore S. Kristiansen  
Frode Oppedal

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET, februar 2004



1998 1999 2000 2001

1999 — 2000  
2001 — 2002

4 7 10 13 16 40 43 46 49 5

Havbruksnæringen opererer i et konkurranseutsatt marked og må være effektiv for å konkurrere med land der prisnivået er lavere enn hos oss eller land som er beskyttet av spesielle markeds mekanismer. Næringen må derfor ha et høyt kunnskapsnivå og stor evne til effektivisering og endring. Norge ligger langt framme innen havbruksforskning, men store oppgaver ligger ennå uløste foran oss. Havbruksrapporten skal gi leseren en kortfattet oversikt over hva som har skjedd innen forskning og næring det siste året. Den presenterer nye elementer i forskningen, og gir noen tanker om framtidens utfordringer. Rapporten er som vanlig todelt, den første delen behandler spørsmål i tilknytning til laksefisk, marin fisk og skaldyr, mens den siste tar opp utvalgte tema og vyer for framtida.

Norge er fortsatt den ledende produsenten av laksefisk, men økt konkurranse og vanskelige markedsforhold gjorde 2003 til et vanskelig år for næringen. Oppdrettsnæringen må også møte utfordringer innen fiskehelse og produktkvalitet, og problemstillinger som dyrevelferd og miljøspørsmål gjør nytenkning nødvendig. Et utvalg nedsatt av Fiskeridirektøren har vurdert en alternativ avgrensingsform av settefiskproduksjonen, der fiskens vannbehov er satt i fokus. Innen marin fisk er næringen fremdeles på utviklingsstadiet, og hovedinnsatsen ligger på å få fram tilstrekkelig yngel av god kvalitet og å effektivisere produksjonen av matfisk.

Produksjonen av torskeyngel økte kraftig i 2003, og flere tusen tonn oppdrettstorsk vil komme på markedet de nærmeste årene. Også for kveite er vi inne i en vekstfase, og en forventer en fordobling av produksjonen til over tusen tonn fram mot 2005. Skjellnæringen sliter fortsatt både med å få opp produksjonen og å levere skjell av god kvalitet. For kamskjell og hummer kan den nye loven om havbeite være et virkemiddel for næringsutvikling. Også intensivt oppdrett

av hummer åpner spennende perspektiver som er belyst i rapporten.

Som hovedtema i årets havbruksrapport har vi bioteknologi, et nytt og grensesprengende fagområde som allerede har fått stor betydning for havbruksnæringen. Rapporten gir et innblikk i hva bioteknologi er, hvilke metoder som brukes og hvilke anvendelser den kan få innen oppdrett. For framtida er kravet om bærekraft viktig, og også i år har vi bedt en miljøorganisasjon om å fortelle hvordan de ser på oppdrett og hvordan de tenker seg framtidens havbruk. Rapporten tar også opp tema som utvikling av ny oppdrettsteknologi og hvordan en kan effektivisere oppdrett av en tropisk art som tilapia, et fiskeslag som er i ferd med å bli en av verdens viktigste oppdrettsarter.

Forfatterne i havbruksrapporten har blitt forespurt om de ville skrive om et oppgitt tema. Redaktørene takker for at de har villet ta på seg denne ekstra oppgaven og for den tålmodigheten de har vist med å få artiklene fram til en endelig form. Vi er særlig takknemlige over at så mange utenfor Havforskningsinstituttet har villet delta, det gjør at rapporten kan favne videre enn til bare å dekke det som foregår innen instituttet.

Havbruksrapporten er populært skrevet, og artiklene har ikke litteraturhenvisninger. De av leserne som vil vite mer om den enkelte artikkel kan kontakte forfatterne, e-postadressene står bakerst i rapporten. Redaktørene er ellers behjelpelige med å svare på spørsmål og formidle kontakt.

*Havbruksrapport 2004* er redigert av Ann-Lisbeth Agnalt, Arne Ervik, Tore S. Kristiansen og Frode Oppedal, mens Berit M. Gullestad og Ingunn Bakketeig er ansvarlig for korrekturen. Hugh Allen har oversatt sammendraget til engelsk, og den grafiske produksjonen er utført av Harald E. Tørresen.

<b>Forord</b> .....	3
<b>Sammendrag</b> .....	6
<b>Summary</b> .....	9
<b>Dyrevelferd – velferd for hvem?</b> <i>Ole J. Torrissen</i> .....	13

## Kapittel 1: Laksefisk

<b>1.1 Produksjon av laks og regnbueørret i 2003</b> <i>Gjoran Hauge</i> .....	16
<b>1.2 Markedssituasjonen for laks og ørret 2003</b> <i>Paul T. Aandahl og Merete N. Kristiansen</i> .....	20
<b>1.3 Helsesituasjonen hos laksefisk</b> <i>Kjell I. Flesjå, Brit Hjeltnes, Renate Johansen, Kari Norheim, Anne Berit Olsen og Hanne Ringkjøb Skjelstad</i> .....	25
<b>1.4 Moderne lakseproduksjon i merd: Fokus på fiskevelferd og merdmiljø</b> <i>Gunn Helen Henne og Aud Asheim</i> .....	30
<b>1.5 Røye – liten fisk kan bli “stor” mat</b> <i>Bjørn-Steinar Sæther, Sten I. Siikavuopio og Arne Mikal Arnesen</i> .....	34
<b>1.6 Rygggradsutvikling og deformasjoner i ryggstølen hos oppdrettsfisk</b> .....	36
<i>Anna Wargelius, Per Gunnar Fjellidal, Ulla Nordgarden, Arne Berg og Tom Hansen</i>	
<b>1.7 Vaksinasjonsstrategi for vår- og høstsmolt</b> <i>Arne Berg og Tom Hansen</i> .....	40
<b>1.8 Negative virkninger av lakselus på laks i havet</b> <i>Ove Skilbrei</i> .....	43
<b>1.9 Rigor mortis – dødsstivhet, avgjør kvalitet og økonomisk gevinst</b> <i>Stine Beate Balevik og Erik Slinde</i> .....	48

## Kapittel 2: Marin fisk

<b>2.1 Oppdrett av torsk</b> <i>Ørjan Karlsen</i> .....	52
<b>2.2 Avlsarbeid skal sikre lønnsomheten i torskeoppdrett</b> <i>Atle Mortensen og Kjersti Fjalestad</i> .....	55
<b>2.3 Torskeyngel med “nakkeknekk” utgjør et av hovedproblemene i intensivt oppdrett i dag</b> <i>Geir K. Totland, Harald Kryvi og Sindre Grotmol</i> .....	57
<b>2.4 Levendefôr i marin yngelproduksjon</b> <i>Torstein Harboe og Anders Mangor-Jensen</i> .....	64
<b>2.5 Tidlig tilvenning av kveite og torsk til formulert fôr - forskningsmessig framgang og utfordringer</b> <i>Ingegerd Opstad og Kristin Hamre</i> .....	68
<b>2.6 Oppdrett av kveite</b> <i>Tore S. Kristiansen og Torstein Harboe</i> .....	72
<b>2.7 Andre marine fiskearter i oppdrett i Norge</b> <i>Anne Berit Skiftesvik</i> .....	76

<b>2.8 Sansebiologi og atferd - viktig kunnskap for utvikling av marint oppdrett</b>	
<i>Howard Browman</i> .....	77
<b>2.9 Helse situasjonen hos marin oppdrettsfisk</b>	
<i>Renate Johansen</i> .....	79

### Kapittel 3: Skalldyr

<b>3.1 Havbeiteloven – et virkemiddel for næringsutvikling?</b>	
<i>Øivind Strand, Ann-Lisbeth Agnalt og Thorolf Magnesen</i> .....	90
<b>3.2 Miljøvirkninger av blåskjell dyrking</b>	
<i>Tore Strohmeier, Pia Kupka Hansen, Øivind Strand og Arne Ervik</i> .....	93
<b>3.3 Prøvedyrking av østers i Sunnhordland</b>	
<i>Øivind Strand og Stein Mortensen</i> .....	95
<b>3.4 Kvalitet på østers, kamskjell og blåskjell</b>	
<i>Stein Mortensen og Arne Duinker</i> .....	97
<b>3.5 Skallets styrkeegenskaper – viktig i skjell dyrking?</b>	
<i>Ellen Sofie Grefsrud</i> .....	99
<b>3.6 Oppdrett av hummer – en ny næring i utvikling</b>	
<i>Ashjørn Drengstig og Tore S. Kristiansen</i> .....	102

### Kapittel 4: Bioteknologi og genetikk

<b>4.1 Bioteknologi og det marine potensialet</b>	
<i>Trond Ø. Jørgensen</i> .....	106
<b>4.2 Vaksineutvikling på gennivå</b>	
<i>Audun H. Nerland og Ingunn Sommerset</i> .....	108
<b>4.3 Marin funksjonell genomforskning</b>	
<i>Audun H. Nerland</i> .....	112
<b>4.4 Lakselusresistens hos atlantisk laks</b>	
<i>Kevin A. Glover og Frank Nilsen</i> .....	116
<b>4.5 Lakselus – vaksineutvikling</b>	
<i>Petter Frost og Frank Nilsen</i> .....	118

### Kapittel 5: Framtidsvyer

<b>5.1 Miljøstatus for norsk havbruk</b>	
<i>Marius Dalen og Marius Holm</i> .....	124
<b>5.2 utfordringer ved havbruk utaskjærs</b>	
<i>Leif Magne Sunde og Arne Fredheim</i> .....	126
<b>5.3 Vannbehov og reguleringsmekanismer for norske settefiskanlegg</b>	
<i>Sveinung Fivelstad, Yngve Ulgenes, Terje Jahnsen, Martin Binde, Morten Lund, Erling Keiserås, Alf Albrigtsen</i> .....	130
<b>5.4 Diett etter eget ønske – ny strategi for ernæring av oppdrettsfisk</b>	
<i>F.J. Sánchez-Vázquez, J.A. Madrid, D. Raubenheimer og S.J. Simpson</i> .....	134
<b>5.5 Tilapia – framtidens tropiske oppdrettsart</b>	
<i>Trygve Gjedrem</i> .....	138
<b>Forfattere i Havbruksrapport 2004</b> .....	143

## LAKSEFISK

2003 ble et rekordår for norsk laksenæring med tanke på slaktekvantum – for første gang passerte vi en halv million tonn slaktet laks i Norge. Men prismessig var utviklingen i 2003 ikke like oppløftende. Det begynte bra de første månedene, men til slutt endte gjennomsnittsprisen ca. en krone under 2002-nivå. Som i 2002 ble det en varm sensommer med høye sjøtemperaturer, og selv om forholdene ikke var så ekstreme som i 2002, utgjorde dette en betydelig stressfaktor for både laks og oppdretter.

Lakseavtalen med EU ble opphevet i fjor, og eksporten av laks økte med omkring 15%. De lave prisene gjorde at verdien bare økte med 5.5%, til totalt 10,1 milliard. Økningen var størst i EU og Øst-Europa, mens det var nedgang i Japan. Russland var det markedet som økte mest. Produksjon av regnbueørret var ca. 75 000 tonn. Eksportverdien for ørret gikk ned med 17%, dette har sammenheng med at EU innførte en midlertidig straffetoll på ørret. Norge har et konkurransemessig fortrinn fordi vi kan levere fersk laks, noe som foretrekkes i mange markeder. Laks fra Norge har en sterk posisjon internasjonalt, og Norsk Laks er en kjent merkevare.

Forebyggende helsearbeid har fortsatt høy prioritet. God helseovervåking og et effektivt diagnoseapparat er viktig, og det er behov for et forbedret rapporteringssystem. Forekomsten av ILA gikk ned sist år. Det ble ikke registrert nye tilfeller på Vestlandet, som tidligere har vært hardest rammet, men det var noen utbrudd i Midt- og Nord-Norge. For andre smittsomme sykdommer som Pancreas Disease og proliferativ gjellebetennelse er situasjonen uoversiktlig og gir grunn til bekymring.

Optimalisering av merdmiljøet kan være en av de viktigste forutsetningene for å øke lønnsomheten i produksjon av laksefisk i sjø. Fokus på dyrevelferd vil stille større krav til dokumentasjon av fiskens livsmiljø. Det er hittil gjort lite av systematiske målinger av velferdsindikatorer som oksygennivå i fullskala merdanlegg i sjø. Havbruksveterinærtenesta i Gulen/AkvaVet Gulen AS har siden 2001 gjennomført profil- og tidsseriemålinger av merdmiljøparametere på en rekke oppdrettslokaliteter. Målingene viser stor variasjon og lave minimumsverdier for oksygen.

Havforskningsinstituttet har de siste årene valgt å sette fokus på produksjonslidelser i akvakultur. Dem finnes det mange av, og de kan ha store konsekvenser både for fisken selv og for økonomien til den enkelte oppdretter. Flere av lidelsene

er knyttet til feilutvikling eller deformasjoner i skjelettet hos oppdrettsfisk. Nå har forskere avdekket ny viten om smoltifiseringens betydning for utviklingen av virvelsøylen hos laks, og om effekten av høy temperatur i kritiske stadier. Fortsatt gjenstår det imidlertid å finne svar på mange viktige spørsmål.

Valg av vaksinasjonsstrategi er mer enn valg av vaksine. Temperatur, fiskestørrelse, lysforhold og tidspunkt bestemmer også i stor grad beskyttelsesgrad og bivirkninger. I produksjon av ettårssmolt er tidsperioden hvor det kan vaksineres lang. Dette betyr at det er mulig å vaksinere stor fisk ved lave temperaturer. I høstsmoltproduksjon er fleksibiliteten mye mindre, og mye smolt blir derfor vaksinert ved for høy temperatur, for liten fiskestørrelse eller for tett opp mot utsett.

Regioner med stor oppdrettsaktivitet har mye lakselus, og dette er regnet som en fare for sjøørret og villaks. Forsøk med utsett av smolt som er behandlet mot lakselus bekrefter tidligere funn om at lakselus gir økt dødelighet, men viser også for første gang at lusa fører til at laksen vokser mye langsommere det første året den lever i havet.

*Rigor mortis*, dødsstivhet, er viktig for fiskens endelige kvalitet og den økonomiske gevinst for oppdretteren. For kaldblodige dyr, som laks og annen fisk, vil tiden da dødsstivhet inntre henge sammen med sjøtemperaturen og hvordan fisken blir behandlet etter avlivning. Vannbindingsevne, drypptap, vekt og kvalitet er avhengig av hvordan fisken gjennomløper *rigor mortis*, og de økonomiske konsekvensene kan være store. Derfor er det viktig å forstå denne prosessen.

I Norge har oppdrett av røye i sjø pågått i flere år, men innfangning og produksjon av røye fra ferskvann er noe helt nytt. Fiskeriforskning har gjennom de siste år samarbeidet tett med VillmarksFisk AS om utviklingen av et nytt produksjonskonsept for røye i Bardu kommune. På forskningsfronten skjer det fortsatt en del nytt med hensyn til røye, men de senere år er røye mye brukt som en modell for studier av generelle fenomener fremfor studier med spesiell fokus på arten. En skotsk røyeoppdretter har initiert og koordinerer et Internett-basert europeisk nettverk for røyeinteresserte – *charrnet* ([www.charrnet.org](http://www.charrnet.org)).

## MARIN FISK

Det er fortsatt rask vekst i produksjonen av torskeyngel, og stadig mer av yngelen kommer fra intensiv produksjon. I

2003 ble det produsert rundt fem millioner yngel totalt, men deler av den intensive produksjon var fisk med deformasjoner som ikke var egnet for videre oppføring. Poll- og poseprodusentene har hatt et relativt godt år, med en samlet yngelproduksjon på over 1 million. Eksporten av oppdrettstorsk, inkludert oppfôret villtorsk, økte fra 257 tonn i 2002 til 605 tonn i 2003, og eksportprisen for sløyd med hode var i snitt 36 kr per kg. Innledende markedsundersøkelser indikerer at oppdrettstorsk får gode skussmål. I løpet av 2003 er fire–fem store matfiskanlegg satt i drift, hver med en produksjonskapasitet på over 500 tonn årlig. Basert på utsettene av settefisk i 2002 må det forventes en betydelig produksjonsøkning i 2004.

I 2002 startet Fiskeriforskning planleggingen av et avlsprogram for torsk, og i 2003 ble de første familiegruppene av torsk produsert ved Havbruksstasjonen i Tromsø. Det er ventet at avlsprogrammet skal frembringe en torsk som har bedre produksjonsegenskaper i oppdrett enn villtorsk, og dermed bidra til å sikre lønnsomhet i torskeoppdrett i årene som kommer.

Levende organismer som startfôr er foreløpig en forutsetning for produksjon av marin fiskeyngel. Forekomstene av de naturlige byttedyrene i sjøen varierer mye og er en for upålitelig fôrressurs for næringen. Den marine akvakulturindustrien er derfor basert på kulturer som rotatorier (*Brachionus* sp.) og saltkreps (*Artemia salina*). Dyrket levendefôr er uavhengig av sesong, og kan dessuten relativt enkelt anrikes med hensyn til næringsinnhold. Fortsatt trengs det mer kunnskap om hvordan fôrdyrene skal masseproduseres og anrikes for å dekke ernæringsbehovene til de ulike fiskeartene.

Produksjon av levendefôr er svært ressurskrevende, og næringen har mye å tjene på å utvikle et formulert fôr som helt eller delvis kan erstatte det levende planktonet. Marine fiskelarver er svært små og har et ufullstendig utviklet fordøyelsessystem, noe som stiller store krav til fôrsammensetning. Økt kunnskap om larvenes ernæringsbehov og fordøyelse har bidratt til bedre fôr og redusert perioden med levendefôr, men det er ennå et stykke til levendefôret kan erstattes helt.

Kveiteyngelproduksjonen økte i 2003 til ca. en halv million yngel. Antall produsenter ble redusert fra 14 til 8, og alle de gjenværende aktørene satser nå på intensiv produksjon. Det er forventet en ytterligere vekst i yngelproduksjonen de nærmeste årene. Matfiskproduksjonen økte svakt i 2003 og passerte 500 tonn. Stort utsett av yngel de siste årene gjør imidlertid at det er forventet at produksjonen når 700–800 tonn i 2004, og at den vil passere 1000 tonn i 2005. Bare 12 matfiskanlegg var i drift i 2003. I 2003 er det gjort gode erfaringer med bruk av resirkulering av vann og temperaturkontroll for å øke veksten den første vinteren i anlegget, og bruk av dype merder med hengende hyller og automatiske appetittfôringssystemer i siste del av matfiskfasen. Dette gir håp om at vi nå nærmer oss en effektiv produksjonslinje for kveite og akseptabel produksjonstid.

Av andre fiskearter ble det produsert 100 000 yngel og 100 tonn matfisk av flekksteinbit, mens det ble produsert 250 000 yngel og rundt 300 tonn matfisk av piggvar. Selv om vi i

Norge behersker oppdrett av piggvar, gjør dårligere rammebetingelser i forhold til produsentlandene i EU at vi ikke er konkurransedyktige. Flekksteinbit er derimot en kaldvannsart som særlig er egnet i Troms og Finnmark og vil kunne bli et norsk nisjeprodukt.

Deformiteter hos torsk og sykdommen atypisk furunkulose hos kveite trekkes av mange frem som de største helseproblemene innen marint fiskeoppdrett. Sykdommen vibriose er heller ikke under kontroll, selv om nye vaksiner gir håp om forbedringer. I enkelte yngelgrupper av torsk har opptil 80 % av fisken unormal vinkel mellom kraniet og fremre del av ryggraden. For å forstå hvordan slik “nakkeknekk” utvikler seg og hvilke mekanismer som ligger bak, har forskere derfor fulgt utviklingen fra klekking til yngelstadium, og det pågår en diskusjon om mulige årsaker til misdannelsen.

Kunnskap om larvenes sanseevner er viktig informasjon for å kunne skape et godt oppdrettsmiljø eller et formulert fôr for fiskelarven. Dette er temaet for et pågående forskningsprogram ved Havforskningsinstituttet, hvor det benyttes avanserte fysiske og fysiologiske målemetoder samt atferdsstudier ved hjelp av avansert billedanalyse.

#### SKALLDYR

Lov om havbeite med skalldyr og pigghuder ble vedtatt i desember 2000. Forskriftene til loven kom i 2003, og tidlig i 2004 forventes de første tillatelser til å drive havbeite med kamskjell og hummer. Formålet med loven er å bidra til at havbeite kan bli en balansert, bærekraftig og lønnsom kystnæring. Loven kan bli særdeles viktig i utviklingen av denne næringen, men bare om en får realisert den nødvendige forskningsinnsats og egnede virkemidler rettet mot næringsaktører.

En stor fremtidig blåskjellnæring vil bety mange utfordringer for både forvaltningen og næringen selv. Blant annet knytter det seg usikkerhet til hvordan skjell dyrking påvirker miljøet, og til behovet for å regulere næringen. Havforskningsinstituttet har startet arbeidet med å fremskaffe kunnskap om de økologiske konsekvensene av blåskjell dyrking, noe som kan legge grunnlaget for utvikling av en standardprosedyre for overvåkning av blåskjellanlegg.

Østers dyrking representerer en nisje i norsk oppdrettsnæring; det er en aktivitet drevet av en håndfull næringsaktører som opererer i utkanten av østersens naturlige utbredelsesområde. Det har vært observert variasjoner både med hensyn til veksthastighet og kvalitet på norsk østers, og dette er sett i sammenheng med ulikheter når det gjelder fødetilgang og temperatur. Fra gammelt av har østers dyrking vært knyttet til særlig velegnede lokaliteter. Også i dag ligger det store gevinster i å finne optimale lokaliteter. Det er forskjell på å bruke tre og seks år på å få frem et parti østers av egnet kvalitet.

Norsk skjellnæring må fokusere på kvalitet, og den trenger et system som kan brukes til å gradere skjellene etter kvalitet. Et slikt system er nå under utvikling for østers. Deler av skjellnæringen er inne i en positiv utvikling, men det er nødvendig at alle følger etter, slik at norske skjell kan få et bedre rykte i markedene.

I arbeidet med å utvikle havbeite med kamskjell (*Pecten maximus*), har høy dødelighet som følge av predasjon fra taskekrabbe (*Cancer pagurus*) vært et hovedproblem. Kamskjellet forsvarer seg på ulik måte overfor predatorer. Sjøstjerner utløser en aktiv flukt hos kamskjellet, ved at skjellet enten svømmer eller hopper vekk når sjøstjernen kommer i kontakt med skjellets kapperand. Nærvær av krabbe fører til at kamskjellet lukker seg og blir liggende. Ved krabbeangrep vil derfor skallet være kamskjelllets viktigste forsvar, og skallets egenskaper vil være avgjørende for om krabben lykkes i å knuse og spise kamskjellet.

Et brukerstyrt forskningsprosjekt har testet og evaluert løsninger for intensiv landbasert produksjon av 300 g hummer i resirkulert sjøvann. Resultatene er lovende, og dokumenterer at det lar seg gjøre å produsere porsjonshummer av god kvalitet i løpet av 24–30 måneder. Basert på dette er et selskap i Rogaland i ferd med å teste ut et patentert automatisert hummeroppdrettsanlegg, med sikte på fullskalaproduksjon. Flere andre selskaper planlegger også å starte med oppdrett og havbeite med hummer.

### MARIN BIOTEKNOLOGI

Bioteknologi kan forstås som en rekke biologiske og biokjemiske disipliner der en “anvender teknologi for å utnytte organismer, celler, deler av celler og/eller molekyler for produksjon av produkter eller tjenesteyting”. Denne teknologien er nå med full tyngde på vei inn i den marine sektor, og begrepet “marin bioteknologi” har fått et eget ståsted med utgangspunkt i bioteknologi anvendt på marint biologisk materiale. Et sentralt område for denne industrien er utnyttelse av biprodukter fra fiskeri og fiskeoppdrett, og utviklingen fremover vil åpenbart gå i retning av et produktspekter basert på bioteknologiske produksjonsformer. I tillegg vil bioteknologi finne anvendelse på en rekke områder innen havbruk, slik som funksjonell genomforskning som kan utnyttes innen genetisk kartlegging, avlsarbeid og vaksineutvikling.

I oppdrett av laks og regnbueørret i dag er lakselus et stort problem, det gjelder både miljømessig og økonomisk. En måte å kontrollere infeksjonsnivået på kan være å redusere fiskens sårbarhet med hensyn til lakselusinfeksjon gjennom selektiv avl. En artikkel diskuterer muligheten for en slik løsning, og introduserer noe av bioteknologien som kan benyttes i et slikt avlsprogram.

Ved Havforskningsinstituttet er det nylig utført forsøk som klart indikerer at det er mulig å vaksinere mot lakselus. I jakten på de rette komponentene i en lakselusvaksine brukes en rekke molekylærbiologiske angrepsvinkler. Til sammen skal dette gjøre oss i stand til å identifisere noen få gener (av lakselusens totalt 15 000–20 000 gener) som koder for proteiner

involvert i biologiske prosesser i lusen, og som kan blokkeres via vaksinasjon.

Funksjonell genomforskning kan gi svar på hvordan komplekse biologiske funksjoner som larveutvikling, kjønnsmodning, vekst og sykdomsresistens fungerer og reguleres. Kunnskap om dette kan være avgjørende for om vi vil klare å utvikle oppdrett av nye arter til økonomisk lønnsomme og konkurransedyktige næringer.

### FRAMTIDSVYER

De store fremskrittene havbruksnæringen har gjort på miljøsidan får mindre oppmerksomhet enn de negative oppslagene på 1980-tallet. Vi kan i dag slå fast at næringen hører til blant de mer miljøvennlige, med noen viktige unntak. Problemene med rømming og genetisk påvirkning av de ville bestandene er ikke løst, og lakselussituasjonen gir grunn til bekymring. Det er også en rekke uavklarte spørsmål i tilknytning til oppdrett av de nye marine artene.

Gradvis er oppdrettsanleggene flyttet fra beskyttede viker og poller til nye områder med bedre vannkvalitet og produksjonsbetingelser, men samtidig med den konsekvensen at de fysiske påkjenningene er blitt større for både fisk, folk og anlegg. Arealbegrensninger i kystsonen gjør at anleggene i fremtiden må flyttes ut i enda mer eksponerte områder. SINTEF Fiskeri og havbruk presenterer status og utfordringer i arbeidet med å utvikle oppdrettsteknologi som kan brukes utaskjærs.

Et utvalg nedsatt av Fiskeridirektøren har vurdert en alternativ avgrensingsform for settefiskanlegg, basert på vannbehov og inndeling av anlegg i tre ulike kategorier. Kategoriene er åpne enveis anlegg med oksygentilsetning, halvlukkede anlegg med lufting, oksygenering og partikkelfjerning og lukkede anlegg med biofilter i tillegg. Ved hver anleggstype er det diskutert krav til registreringer og målinger.

Fisk, i likhet med mange andre dyr, viser en bemerkelsesverdig “ernæringsvisdom” med hensyn til å velge sin egen, velbalanserte diett, sammensatt av føremner som hver for seg ikke gir tilstrekkelig næring. Analyse av fôrpreferanser representerer et nytt og lovende konsept i dyreernæring. Prinsippet om å kunne velge fôr etter eget ønske fremstår som spesielt interessant i arbeidet med å sette sammen dietter for fisk i ulike fysiologiske stadier, og i særlig grad med hensyn til nye oppdrettsarter.

Under andre himmelstrøk er det andre arter enn våre som er aktuelle i oppdrett. Avlsforsøk med arten tilapia viser at det er mulig å oppnå like stor avlsmessig fremgang som for laksefisk, og at det er et stort potensial for å effektivisere oppdrett av denne tropiske arten.



### SALMONIDS

For the Norwegian salmonid industry, 2003 was a record year in terms of slaughtered volume; for the first time, Norway passed the figure of half a million tonnes of slaughtered salmon. However, 2003 was not so encouraging in terms of price. The year began well, but ended at an average price level about one NOK lower than the 2002 average. Just as in 2002, the late summer was warm, with high sea temperatures, and even though conditions were not as extreme as in 2002, this was a significant stress factor for both salmon and fish farmers.

The salmon agreement with the EU was dissolved last year, and salmon exports rose by about 15%. As a result of the low prices, however, sales value rose by only 5.5%, to a total of NOK 10.1 billion NOK. Increases were greatest in the EU and Eastern Europe, while there was a fall in the Japanese market. The Russian market posted the largest increases. The production of trout fell by 2% to 75 000 MT. The export value of trout fell by 17%, due in part to the EU's temporary imposition of a punitive duty rate on trout. Norway enjoys a competitive advantage because we are capable of supplying fresh salmon, which are preferred in many markets. Norwegian salmon have a strong international position, and "Norwegian Salmon" is a well-known product brand.

Preventive healthcare is still a high priority. Good health monitoring and an efficient diagnostic apparatus are both important, and there is a need for a better reporting system. The incidence of infectious salmon anaemia (ISA) fell last year. No new cases were registered in western Norway, previously the region hardest hit by this disease, although there were a few outbreaks in mid- and northern Norway. The situation as regards other diseases such as Pancreas Disease and proliferative gill inflammation remains unclear, and there are grounds here for anxiety.

Optimisation of the sea-cage environment may be among the most important parameters for increasing the profitability of salmonid production in the sea. Any focus on animal welfare will require a higher standard of documentation of the living environment of the fish. To date, few systematic measurements have been made of indicators of well-being, such as oxygen levels in full-scale saltwater sea-cage facilities. Since 2001, the aquaculture veterinary service in Gulen and AkvatVet Gulen AS have been making profile and time-series measurements of sea-cage environment parameters at a number of fish farms. Their results show wide variations and low minimum levels of oxygen.

During the past few years, the Institute of Marine Research has focused on abnormalities that occur in the aquaculture production process. There are a large number of such conditions, and they are capable of having important consequences both for the fish themselves and for the individual fish farmer. Many of these abnormalities are related to faulty development or deformations of the skeleton in farmed fish. Scientists have recently made new findings regarding the role played by smoltification in the development of the spinal column in salmon, and the effects of excessive temperatures at critical stages. These results also show that vertebral growth is not regulated by exogenous factors but probably by endogenous factors within the growth zones of the vertebrae. The answers to many important questions in this area remain to be found.

The choice of a vaccination strategy is more than simply a matter of selecting a vaccine. Temperature, fish size, light conditions and timing all have powerful effects on the development of side-effects and degree of protection afforded. In the production of year-old smolt, the vaccination "window" is long. This means that it is possible to vaccinate large fish at low temperatures. In the autumn smolt production there is less flexibility, and many smolts are thus vaccinated at too high a temperature, when they are still too small or too close in time to release into the sea.

Regions with a high level of aquaculture activity have high populations of salmon lice, which are regarded as a danger to sea trout and wild salmon. Trials involving releases of smolt treated for salmon lice have confirmed that lice result in higher mortality rates, but also, for the first time, that they cause the salmon to grow much more slowly during their first year of life in the sea.

*Rigor mortis* is an important aspect of the quality of the fish as an end-product and for the profits of the fish farmer. In cold-blooded animals such as salmonids and other fish, the time to onset of *rigor* depends on sea temperature and on how the fish are treated after slaughter. Water binding capacity, drip loss, weight and quality all depend on how the fish pass through the stage of *rigor mortis*, and the financial consequences may be serious. For this reason, it is important to understand this process.

In Norway, Arctic charr have been cultivated in the sea for several years, but the capture and production of charr from freshwater is a very recent development. For the past few years, the Norwegian Institute of Fisheries and Aquaculture

Research has been collaborating closely with VillmarksFisk AS on the development of a new production concept for Arctic charr in Bardu municipality. On the research front, new findings regarding charr are still being made, but in recent years charr have been widely utilised as a model for studies of general phenomena rather than studies that focus on the species as such. A Scottish charr farmer has launched, and now coordinates, an Internet-based European network called Charnet for people interested in Arctic charr: [www.charnnet.org](http://www.charnnet.org).

### MARINE FISH

Production of cod fry continues to rise rapidly, and a growing proportion of these fry derive from intensive production. In 2003, some five million fry were produced, although a proportion of the intensively-produced fish had deformations that made them unsuitable for on-growing. Producers who utilise enclosed bays and bags have had a relatively good year, with a total production of more than one million fry. Exports of farmed cod, including on-grown wild cod, rose from 257 tonnes in 2002 to 605 tonnes in 2003, and the average export price of gutted cod without heads was NOK 36 per kilo. Initial market studies suggest that farmed cod enjoy a good reputation. In 2003, four or five large on-growing farms came into operation, each of them with an annual production capacity of more than 500 tonnes. On the basis of releases of fry in 2002, we can look forward to a significant increase in production in 2004.

In 2002, the Norwegian Institute of Fisheries and Aquaculture Research started to plan a breeding programme for cod, and in 2003 the first cod family groups were produced at the Aquaculture Station in Tromsø. It is expected that the breeding programme will result in a cod with better production potential than wild cod, which will help to ensure the profitability of cod farming in the future.

Live organisms are still needed as start feed in the production of marine fry. The availability of natural prey species in the sea varies widely, and these do not add up to a reliable source of feed for this industry. For this reason, the marine aquaculture industry is based on cultures such as rotifers (*Brachionus* spp.) and brine shrimp (*Artemia salina*). Cultivated live feed is independent of season, and can also relatively simply be enriched to improve its nutritional value. More knowledge of how species for feeds can be mass-produced and enriched in order to meet the nutritional requirements of particular species of fish is needed.

The production of live feeds is extremely resource-intensive, and the industry would greatly benefit by the development of a formulated feed, which could partially or completely replace live plankton. Marine fish larvae are extremely small and possess incompletely developed digestive systems, a situation that makes heavy demands on the composition of feeds. Better understanding of the nutritional requirements and digestive processes of larvae has contributed to the development of improved feeds and shortened the time during which live feed has to be provided, but there is still some way to go before live feeds can be completely replaced.

Production of halibut fry increased to about half a million fry in 2003. The number of producers fell from 14 to eight, and all the actors who remain on the scene have gone in for intensive production. A further increase in the production of fry is expected in the immediate future. The production of fish for consumption grew slightly in 2003, passing 500 tonnes. Large-scale releases of fry during the past few years, however, lead us to expect that production will approach 700 - 800 tonnes in 2004 and pass 1000 tonnes in 2005. Only 12 on-growing fish farms were in operation in 2003. In the course of the year positive results were obtained from the use of recirculated water and temperature control aimed at raising growth rates during the first winter in the farm, and from the use of deep sea-cages with hanging shelves and automatic appetite-triggered feeding systems during the final stages of on-growing. These results permit us to hope that we will soon achieve an efficient production line and acceptable production time for halibut.

Of other fish species, 100,000 fry and 100 tonnes of ongrown spotted ocean catfish (*Anarchicas minor*), and 250,000 fry and about 300 tonnes of ongrown turbot were produced. Although we have mastered the principles of turbot farming in Norway, poorer general conditions than in other producing counties in the EU mean that we are not competitive. The spotted ocean catfish, on the other hand, is a cold-water species which is particularly suitable for conditions in the counties of Troms and Finnmark, and this species could become a niche product for Norway.

Deformities in cod and the disease known as atypical furunculosis in halibut are regarded by many people as the most important health problems facing the marine aquaculture industry. Nor is the disease known as vibriosis under control, although new vaccines hold out the prospect of improvement. In some groups of cod fry as many as 80% of the fish present an abnormal angle between the cranium and the top of the spinal column. In order to understand how such "bends in the neck" develop, and the mechanisms that underlie them, scientists have been following development from hatching to the fry stage, and a debate about the possible causes of this deformity is currently under way.

Knowledge of the sensory capacities of larvae offers useful information when we wish to create a good aquaculture environment and formulated feeds for fish larvae. This is the subject of an ongoing research programme at the Institute of Marine Research, where we employ advanced physical and physiological measurement methods and studies of behaviour, supported by advanced image-analysis techniques.

### SHELLFISH

The Crustacean and Echinoderm Sea Ranching Act was passed in December 2000. The supplementary regulations to the Act were published in 2003, and the first licences for scallop and lobster ranching are expected to be issued early in 2004. The purpose of the Act is to support the development of sea ranching as a balanced, sustainable and profitable industry for coastal districts. The new law may turn out to be of the greatest importance for the development of this industry, but only if we are able to invest sufficient research and suitable incentives aimed at participants in the industry.

A large mussel industry in the future will offer a number of challenges both to the authorities and to the industry itself. Among other things, the environmental impact of shellfish farming is still uncertain, as is whether this industry will need to be regulated. The Institute of Marine Research has begun the task of gaining a better understanding of the ecological consequences of mussel cultivation, which it is hoped will lay the foundations for the development of a standard procedure for monitoring mussel farms.

Oyster cultivation is a niche activity within the Norwegian aquaculture industry; this industry is run by a handful of companies that operate at the very limits of the oyster's natural distribution range. Variations in both the rate of growth and quality of Norwegian oysters, factors which have been placed in the context of differences in temperature and access to food. Oyster cultivation has long been limited to particularly suitable locations, and even today there are great benefits to be gained from identifying optimal sites. There is quite a difference between taking three or six years to produce a batch of oyster of suitable quality.

Norwegian shellfish farming needs to concentrate on quality, and this requires a system that can be used to grade shellfish for quality. Such a system is now being developed for oysters. Some parts of the shellfish industry are in a phase of positive development, but it is essential for everyone to follow this route if Norwegian shellfish are to gain a better reputation in the market.

The development of a scallop (*Pecten maximus*) ranching industry has suffered serious problems of high mortality as a result of predation by the edible crab (*Cancer pagurus*). Scallops defend themselves against predators in a number of different ways. Starfish trigger active flight mechanisms in scallops, in that it either swims or jumps away when a starfish comes into contact with the edge of its mantle, while the presence of a crab causes a scallop to close and lie where it is. In the case of a crab attack, therefore, the shell is the scallop's most important line of defence, and its properties will play a decisive role in determining whether the crab is able to crush it and eat the scallop.

A user-controlled research project has tested and evaluated solutions for intensive land-based production of 300g lobsters in recirculated water. The results are promising, and they confirm that it is possible to produce high-quality "portion" lobsters in the course of 24 - 30 months. On the basis of these results, a company in the County of Rogaland is currently testing a patented automated lobster farming system, with a view to full-scale production. A number of other companies are also planning to start lobster farming and ranching.

### MARINE BIOTECHNOLOGY

Biotechnology can be understood in terms of a series of biological and biochemical disciplines in which we "utilise technology in order to exploit organisms, cells, cell components and/or molecules for the production of products or services". This technology is currently moving in on the marine sector at full power, and the concept of "marine biotechnology" has gained a position of its own, taking its point

of departure in biotechnology applied to marine biological material. A central area for this industry is the utilisation of by-products from fisheries and aquaculture, and future developments will evidently move in the direction of a range of products based on biotechnological methods of production. Biotechnology will also find applications in a number of areas of aquaculture, including functional genome research, which can be exploited in genetic mapping, breeding and vaccine development.

In salmon and rainbow trout farming, salmon lice are currently a major problem in both environmental and financial terms. One way of controlling levels of infection may be to reduce the vulnerability of the fish to infections of salmon lice via a process of selective breeding. A recent article has discussed the potential for such a solution, and presents some of the biotechnology that might be employed in a breeding programme of this sort.

Experiments that show quite clearly that it is possible to vaccinate against salmon lice have recently been carried out at the Institute of Marine Research. The hunt for the correct components of a salmon louse vaccine makes use of a number of different molecular biological angles of attack. Used in combination, these should enable us to identify a small number of genes (of the salmon louse's total of 15 000 - 20 000 genes) that code for proteins involved in biological processes in this louse, and which can be blocked by vaccination.

Functional genome research may provide answers to questions of how complex biological functions such as larval development, sexual maturation, growth and resistance to disease function are regulated. Knowledge of these functions may prove to have a decisive influence on our ability to develop the cultivation of new species into financially profitable and competitive industries.

### FUTURE VIEWS

The major environmental advances made by the aquaculture industry have been paid less attention than the negative headlines of the 1980s. We can now claim that aquaculture is one of the most environmentally friendly industries, with certain important exceptions. Problems of escapes and genetic influences on wild stocks have not been solved, and the salmon louse situation is a cause of anxiety. There also remain a number of unresolved questions related to the cultivation of the new marine species.

Fish farms have gradually been moved from sheltered and enclosed bays to new areas with better water quality and production conditions, but which also involve greater physical stresses on fish, personnel and equipment. Area limitations in the coastal zone mean that in the future, fish farms will have to be moved out to even more exposed locations. SINTEF Fisheries and Aquaculture has presented a discussion of the current status and challenges involved in developing fish farming technology that will be capable of being utilised outside of sheltered waters.

A committee appointed by the Norwegian Directorate of Fisheries has evaluated an alternative form of limiting the

---

size of smolt production facilities, based on water requirements and the division of such facilities into three categories. These categories are; open one-way systems with addition of oxygen, semi-enclosed systems with aeration, oxygenation and particle removal, and enclosed systems with biofilters in addition to the above. For each type of system, requirements regarding registrations and measurement have been discussed.

Fish, like many other animals, display a remarkable degree of “nutritional wisdom” in their ability to choose their own well-balanced diet, which will comprise a set of food components none of which alone can provide sufficient nutritional

benefits. The analysis of food preferences is a promising new concept in animal nutrition. The principle of being able to select food items according to one’s own preferences looks particularly interesting as an aspect of our efforts to develop diets for fish at different physiological stages, particularly where new cultivated species are concerned.

In other parts of the world, other species than ours are currently being farmed. Breeding experiments involving Tilapia species have demonstrated that it is possible to achieve advances in breeding as great as in salmon, and that there is a potential for major improvements in the efficiency of farming this tropical species

# Dyrevelferd – velferd for hvem?

Ole J. Torrissen, Havforskningsinstituttet

Vi har de siste årene sett at det er blitt satt en stadig større oppmerksomhet på dyrs velferd. Denne fokuseringen har i mange tilfeller tatt utgangspunkt i hva vi mennesker oppfatter som god velferd, basert på erfaringer med å ha dyr i fangenskap og våre egne følelser. Urbaniseringen i den vestlige verden har fremmedgjort dyreproduksjon, og i hovedsak begrenset den vanlige borgers relasjon til dyr til hold av kjæledyr – som i stadig sterkere grad menneskeliggjøres og behandles som ordinære og fullverdige familiemedlemmer.

Fokus på dyrevern har i stor grad vært rettet mot pelsdyr og burhøns, men også småfodring på rovdyrutsatte utmarksbeiter har fått økt oppmerksomhet. Innen fiskeoppdrett er det stilt spørsmål om tetthet i merdene, deformiteter og sykdom, og om det overhodet er etisk forsvarlig å holde “ville” dyr innesperret. I sportsfiskesammenheng er velferdsaspektet trukket inn i debatten om “catch and release”. Tendensene er klare, vi vil møte økt bekymring for velferden til både villfisk og oppdrettsfisk, og vi må være forberedt på at opinionen i langt større grad stiller kritiske spørsmål til våre metoder innen både fiskeri og havbruk. Dessuten er det realistisk å forutse negative markedsmessige konsekvenser dersom vi ikke tilfredsstiller konsumentenes oppfatning av hva som er en akseptabel behandling av fisk og skalldyr.

Det er en selvsagt forutsetning for all næringsvirksomhet at en følger de gjeldende lover, og da også lov om dyrs velferd. De nasjonale dyrevernlover er på mange måter det minimumsrammeverk folk flest setter for behandling av dyr, og de danner grunnlaget for hva forbrukerne definerer som et minstenivå for akseptable produksjonsmetoder. Grensene for hva som regnes som god dyrevelferd er relative. De forandres selvsagt på grunnlag av ny kunnskap, men også i stor grad som følge av endringer i opinionens oppfatning av hva som er etisk korrekt behandling av dyr. Uten tvil spiller dyrevernorganisasjonene her en sentral rolle.

I Norge reguleres behandling av dyr av “lov om dyrevelferd”, og omfatter “levende pattedyr, fugler, padder, frosk, salamander, krypdyr, fisk og krepsdyr”. Lovens formål er å hindre at dyr kommer i fare for å lide unødig, og den nedfeller en plikt for alle til å behandle dyr på en god måte.

I prinsippet skiller ikke loven mellom dyrenes anvendelse (kjæledyr, husdyr, fangst eller jakt). Likevel er det innlysende at toleransegrensene for hva som aksepteres av lidelse er vesensforskjellige, avhengig av hvilke dyr det dreier seg om. Denne ulikheten er helt nødvendig dersom for eksempel

jakt eller fangst i det hele tatt skal kunne finne sted. Det vil være umulig å holde samme standard for avlaving i felt som i slakterier. I marin sammenheng vil det for eksempel være urealistisk å stille de samme kravene til rask og smertefri avlaving under garnfiske i små båter på sjøen, som ved slaktning av oppdrettsfisk i spesialiserte slakterier.

Loven skiller ikke mellom dyregrupper ut over at det skal tas hensyn til instinkt og naturlige behov, og at de som står lavere i hierarkiet enn krepsdyr (tifotskreps) ikke omfattes av loven. Det er et problem at loven i utgangspunktet ble skrevet for å ivareta pattedyrs og fugls velferd i en terrestrisk husdyrsituasjon. Dette fordi de marine dyrene vi har i oppdrett eller fangster på utviklingsmessig er svært forskjellige, slik at de trolig også har mye større variasjon i evnen til å føle smerte eller ubehag enn de relativt ensartede dyrene som nyttes i terrestrisk husdyrhold eller jakt. I tillegg er dagens generelle kunnskapsnivå når det gjelder marine organismers evne til å føle smerte eller ubehag langt lavere. Vi ser derfor at måten man ukritisk sammenligner fisk og krepsdyr med høyerestående dyr på kan gjøre vondt verre for fisken, og i tillegg påføre industrien unødvendige byrder.

Det er imidlertid lett å slå fast at utfordringene for fiskeri- og oppdrettsnæringen er store når det gjelder fiskevelferd. I første rekke vil de være knyttet til fangstprosessen, men også menneskelig aktivitet som påvirker villfiskens helse og utvikling vil være problemstillinger som i større grad må tas alvorlig.

Innen havbruk møter vi de samme problemstillinger som en ser i konvensjonelt husdyrhold. Vi kan generelt sett gruppere disse i følgende kategorier:

- **BEHANDLING OG HÅNDTERING SOM PÅFØRER STRESS OG UBEHAG.** Her inngår behandling og håndtering knyttet opp mot prosesser som blant annet slaktning, sortering, vaksinerings, rengjøring av merder, føring og levende transport.
- **SYKDOMMER OG PARASITTER.** Et av de aller største velferdsproblemer vi ser i dagens norske havbruk er lakselus, der lus påfører fisken sår og ved tunge angrep tydelig påvirker fiskens allmenntilstand. Vanskene med å gi syk fisk som ikke spiser en adekvat behandling, forsterker velferdsproblemene knyttet til sykdom i oppdrett sammenlignet med sykdom hos landlevende dyr.

- **SUBOPTIMALE MILJØBETINGELSER** er et langt større problem enn det næringen er klar over. En indikasjon på problemet er en dødelighet i sjøfasen på nær 30 millioner av et totalt utsett på ca. 140 millioner. Dette utgjør et tap på over 20 %. Etter fallende størrelse er tapene gruppert slik: udefinerte, sykdom, normal dødelighet, sår, alger og maneter, predatorer, kjønnsmodning, rømming, misdannelser og dødelighet etter utsett. I tillegg til de velferdsmessige aspekter ved en dødelighet på over 20 %, ligger det her store produktivitetstap, både direkte og som redusert tilvekst og kvalitet.
- **DEFORMITETER OG MISDANNELSER.** Problemet med deformiteter i norsk havbruk er stort. Vi ser deformitetene som effekter av suboptimale miljøbetingelser, ernæring, bieffekter av vaksiner, aggresjon mellom individer og genetiske forhold. De vanligst forekommende deformiteter er katarakt, deformiteter i ryggstøtten, misdannelser i kjeve og gjellelokk, ufullstendig metamorfose og øyevandring hos flatfisk, mangelfull skinnpigmentering, sammenvoksninger i bukhulen som resultat av vaksiner samt øyennapping og sårskader som følge av aggresjon.

Havforskningsinstituttet har over de siste årene systematisk bygd opp kompetanse og utstyr for å kunne sette et forskningsmessig fokus på fiskevelferd. Her vil jeg spesielt peke på oppbyggingen av et merdlaboratorium i Matre, der vi er i stand til å kartlegge fiskens atferd i tilnærmet fullskala oppdrettsmerder og samtidig ha detaljert og kontinuerlig kontroll med det fysiske og kjemiske miljøet i merden. Undersøkelser så langt har vist at en også med normal tetthet i merden og god vanngjennomstrømming periodisk kan få svært lave oksygennivåer der fisken står tettest.

Havforskningsinstituttet har også satt et meget sterkt søkelys på deformiteter. Blant satsingsområdene her kan nevnes

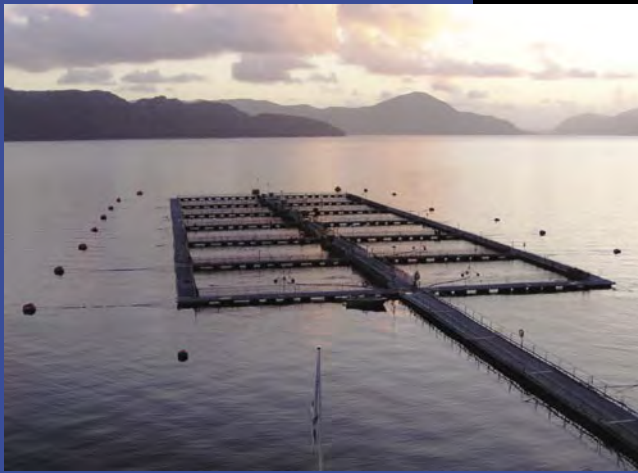
ufullstendig metamorfose hos kveite, med påfølgende ufullstendig øyevandring og skinnpigmentering. Vi har også hatt en solid innsats rettet mot produksjonslidelser i lakseoppdrett, inklusiv sammenvoksninger i bukhulen som resultat av vaksiner. Fokuset er nå også rettet mot torsk, der andel med deformiteter i intensiv torskøyngelproduksjon ofte er langt over 50 %.

I løpet av 2003 gjennomgikk Havforskningsinstituttet en omorganisering som resulterte i opprettelsen av 19 forskningsgrupper. En av dem er "Fiskevelferd og oppdrettsmiljø". Denne forskningsgruppens mål kan skisseres som følger: a) Utvikle spisskompetanse på miljøkrav for god dyrevelferd i akvatisk produksjon, b) Skape grunnleggende kunnskap om sammenhenger mellom miljøet og artens evner til å mestre oppdrettsituasjonen, c) Utvikle metoder og indikatorer som kan dokumentere velferdstatus, d) Utvikle produksjonsstrategier og teknologi som sikrer god dyrevelferd og effektiv akvatisk produksjon og e) Være en internasjonalt anerkjent forskningspartner og en sentral rådgiver for oppdrettsnæring og forvaltning.

Det er viktig å holde fokus på velferd til våre husdyr, inklusiv oppdrettsorganismer. Vanligvis er det økonomisk lønnsomt å gi dyrene en god behandling, fordi det gir bedre produktivitet, høyere produktkvalitet og lavere tap på grunn av dødelighet og sykdom. Oppdrettsorganismenes velferd er imidlertid også et ansvar vi påtar oss i det øyeblikket vi fratar dyrene friheten og setter dem inn i vår tjeneste. Måten vi behandler husdyrene våre på er på mange måter en indikator på vår etiske og moralske standard. For vår egen del er det derfor nødvendig at vi skaffer oss tilstrekkelig kunnskap om fiskevelferd, slik at vi både overfor opinionen, våre kunder og oss selv kan rettferdiggjøre havbrukets rolle i matvareforsyningen.

# Kapittel 1

Laksefisk



2003 ble et rekordår for norsk laksenæring med tanke på slaktekvantum – for første gang passerte vi 500 000 tonn slaktet laks i Norge. Men prismessig var utviklingen i 2003 ikke like oppløftende. Det begynte bra de første månedene, men til slutt endte gjennomsnittsprisen (sløyd, FCA Oslo\*, se definisjon bak i artikkelen) ca. en krone under 2002-nivå. Som i 2002 ble det en varm sensommer med høye sjøtemperaturer, og selv om forholdene ikke var så ekstreme som i 2002, var det en betydelig stressfaktor for både laks og oppdretter.

I løpet av 2003 ble det slaktet ca. 508 000 tonn rund bløgget vekt (wfe\*) atlantisk laks og ca. 75 000 tonn (wfe) regnbueørret i Norge, til sammen 583 000 tonn (wfe). Dette tilsvarer en økning på ca. 14 % for laksen og en reduksjon på ca. 2 % for ørreten. Totalt gir det en økning fra 2002 på ca. 61 000 tonn (wfe), eller 12 %.

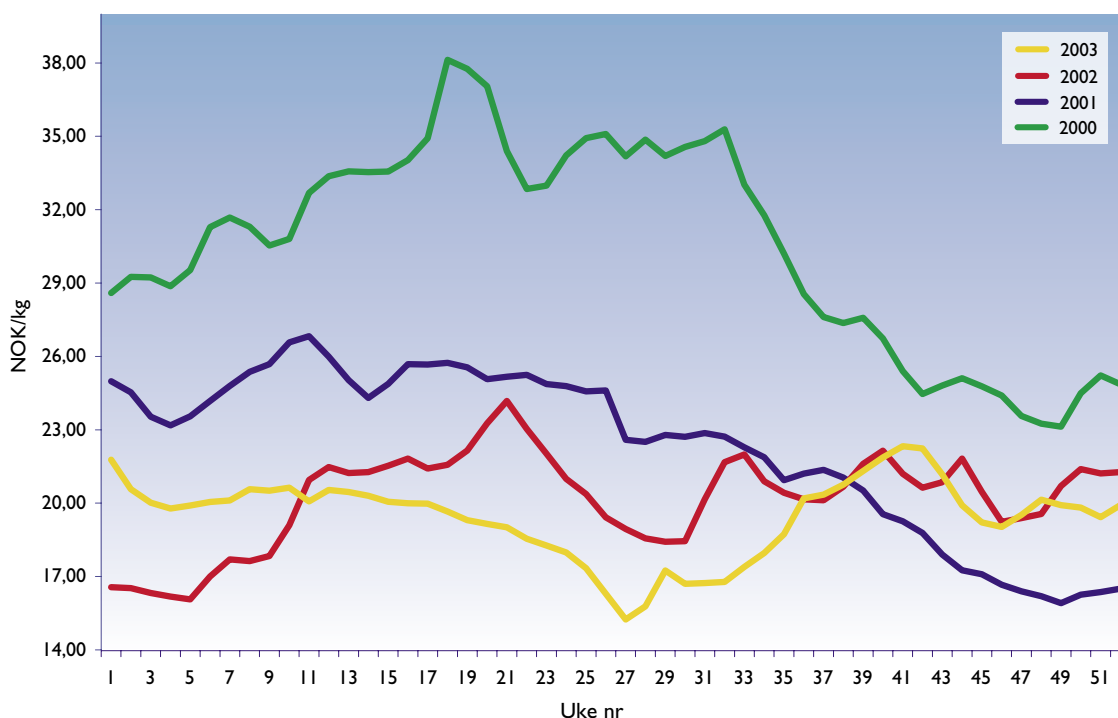
#### FLERE FAKTORER PÅVIRKET PRISENE

Prismessig begynte året bedre enn i 2002. De ti første ukene av 2003 var gjennomsnittspris (superior laks, sløyd, FCA Oslo) i gjennomsnitt ca. 3,30 NOK høyere enn i 2002 (Figur 1). Men i uke 11 gikk prisen under 2002-nivå, og var med få unntak lavere ut året. Gjennomsnittsprisen for 2003 ble ca.

19,40 NOK, en nedgang på ca. en krone fra 2002. Det største prisfallet kom i mai/juni. Da var prisene i gjennomsnitt 17 % lavere enn året før, og det var på dette tidspunktet 0-åringene fra 2001-generasjonen som utgjorde det største slaktepresset. Et mindre 0-åringsutsett i 2001 kunne kanskje ha gitt et løft i lakseprisen på våren? En annen viktig faktor som kan ha virket inn på prisene var at minsteprisavtalen for salg av laks til EU opphørte i slutten av mai. Også Storbritannia og Færøyene økte sin produksjon i 2003, og utgjorde i så måte økt prispress i EU-markedet.

Gjennomsnittsprisen (superior laks, sløyd, FCA Oslo) for 2003 endte på ca. 19,40 kr/kg, en nedgang fra 20,40 kr/kg året før. Men selv om prisene var lave, opplevde vi en økning i slaktekvantumet for hver måned som gikk, og vi endte altså til slutt opp med et rekordhøyt volum av slaktet laks og ørret.

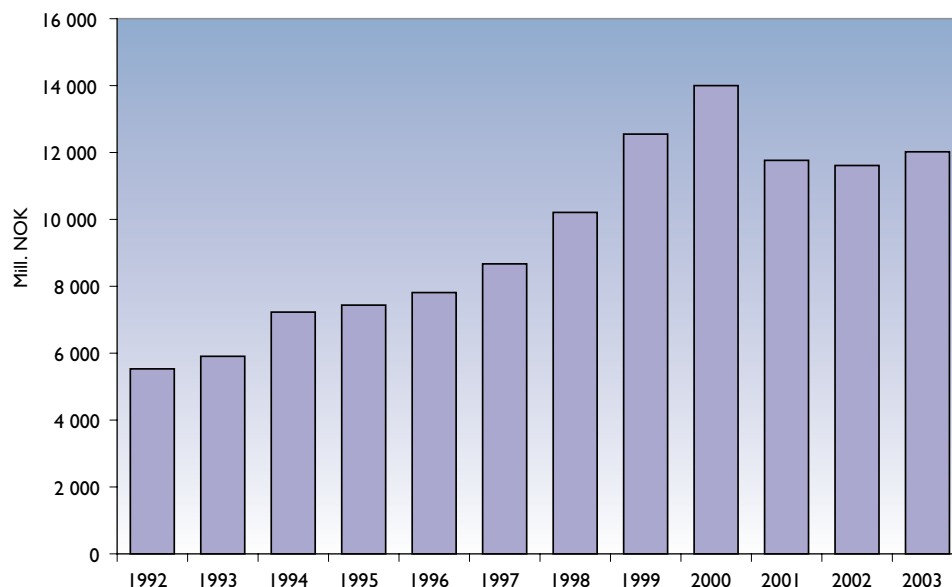
Verdien av eksport og innenlandsforbruk av laks og ørret steg fra ca. 11,6 mrd. i 2002 til ca. 12,0 mrd. i 2003, dette tilsvarer en økning på ca. 3,5 % (Figur 2). Eksportverdien av ørret eksporten sank med ca. 9 %, mens verdien av eksportert laks steg med ca. 6 %. Den totale verdien av lakseprodukter utgjør størstedelen av verdien, og nedgangen i verdien av ørreten gir derfor mindre utslag på totalverdien.



**Figur 1**  
Utvikling i ukentlig gjennomsnittspris for norsk atlantisk laks 2000-2003 (NOK/kg sløyd, superior kvalitet FCA Oslo).  
Development in the weekly average price of Norwegian Atlantic salmon (NOK/kg gutted, superior quality FCA Oslo).



**Figur 2**  
Verdien av eksportert og innenlands forbruk av norsk laks og regnbueørret 1993–2003.  
The value of sales (export and domestic) of Norwegian salmon and rainbow trout 1993–2003.



### MARKEDSTENDENSER

EU er hovedmarkedet for norsk laks, hele 64 % av den norske laksen går hit. EU-markedet har i flere år hatt en jevn økning i importen av laks, og i 2003 var veksten på ca. 8 % fra 2002. Den største veksten var i andre halvår med ca. 10 %, mens den i første halvår kom opp i ca. 6 %. Den norske eksporten til EU økte med ca. 17 % i 2003 og eksporten til USA økte med ca. 14 %, mens det var en nedgang på ca. 15 % i eksporten til Japan. Den største endringen i eksporten kom på andre markeder, som fortsatte veksten fra 2002 og økte med ca. 23 % i 2003. Det var særlig i andre halvår at denne økningen kom.

Totalkvantumet av solgt atlantisk laks på verdensbasis var i 2003 på ca. 1 135 000 tonn (wfe), en økning på ca. 66 000 tonn (wfe) fra 2002. Norges andel av totalsalget var på ca. 45 % i 2003. På grunn av at Norge hadde en økning i solgt kvantum har andelen av totalsalget økt fra ca. 42 % i 2002, men det er ennå et stykke igjen til de 49 % vi hadde i 2000.

### BIOLOGISKE UTFORDRINGER I 2003

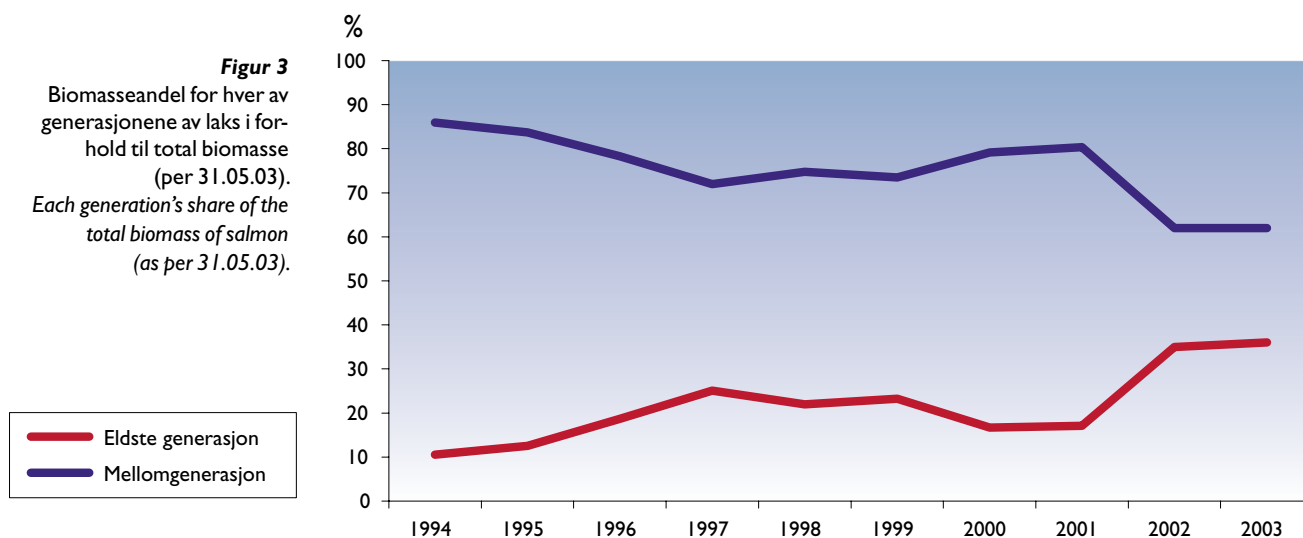
Ved inngangen til 2003 sto det en rekordstor biomasse av laks i norske merder. Sammenlignet med 2002 stod det ca.

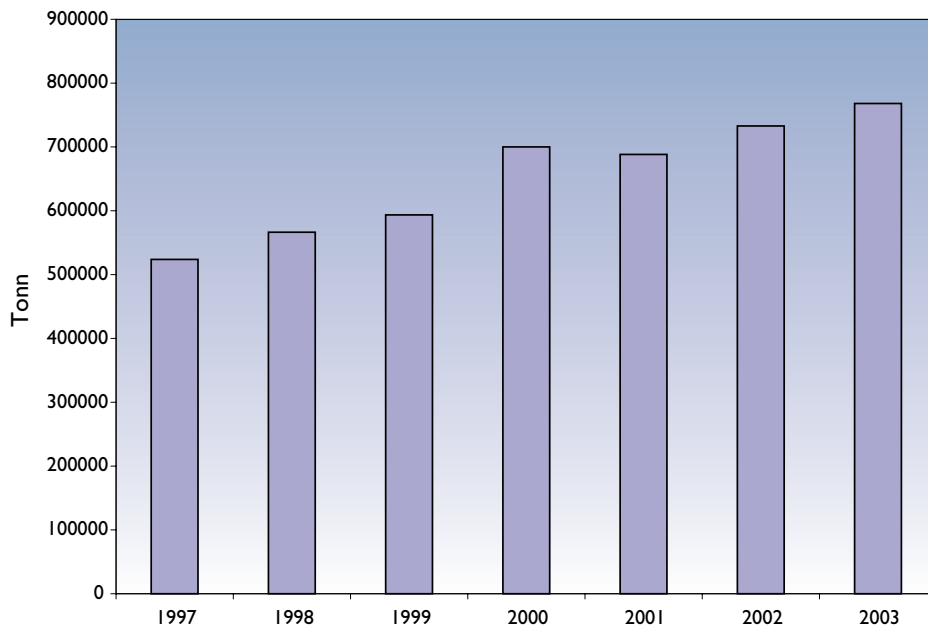
8 millioner flere laks fra eldste generasjon og 6 millioner 1-åringer fra mellomgenerasjon, som også utgjorde den største delen av slaktekvantumet i 2003 (Figur 3). På tross av negativ utvikling i lakseprisen ble det altså for første gang slaktet over 500 000 tonn (wfe) laks i Norge.

En skulle tro at et så stort slaktepress ville føre til at biomassen ved slutten av året ville bli kraftig redusert, men på grunn av det høye inngående antallet med laks fra 01- og 02-generasjonen endte biomassen ved årsslutt bare 2 % under 2002-nivå. Smoltutsettet i 2003 ble noe lavere enn i 2002, men det skal legges til at utsettet i 2002 er det største vi har hatt.

En annen faktor som er med på å forklare den relativt høye biomassen gjennom året er fôrforbruket. Det totale fôrforbruket var i 2003 på ca. 768 000 tonn, noe som er en økning på ca. 35 000 tonn fra 2002 (Figur 4). Forbruket var generelt høyere gjennom hele året, men det var månedene januar, februar og september som skilte seg spesielt ut. På grunn av høye sjøtemperaturer på sensommeren i 2002 var det mye restriktiv føring i september, oktober og november. Men i januar og februar opplevde vi at laksen kompenserte for tapt tilvekst, og fôrforbruket gikk derfor kraftig opp.

**Figur 3**  
Biomasseandel for hver av generasjonene av laks i forhold til total biomasse (per 31.05.03).  
Each generation's share of the total biomass of salmon (as per 31.05.03).





**Figur 4**  
Totalt førsalg Norge 1997–2003  
(Kilde FPF).  
Total feed sale in Norway  
1997–2003 (Source FPF).

Også i 2003 ble sjøtemperaturene høye på sensommeren, men situasjonen var ikke like ille som i 2002, og i september var fôrforbruket faktisk hele 28 % høyere enn i september 2002.

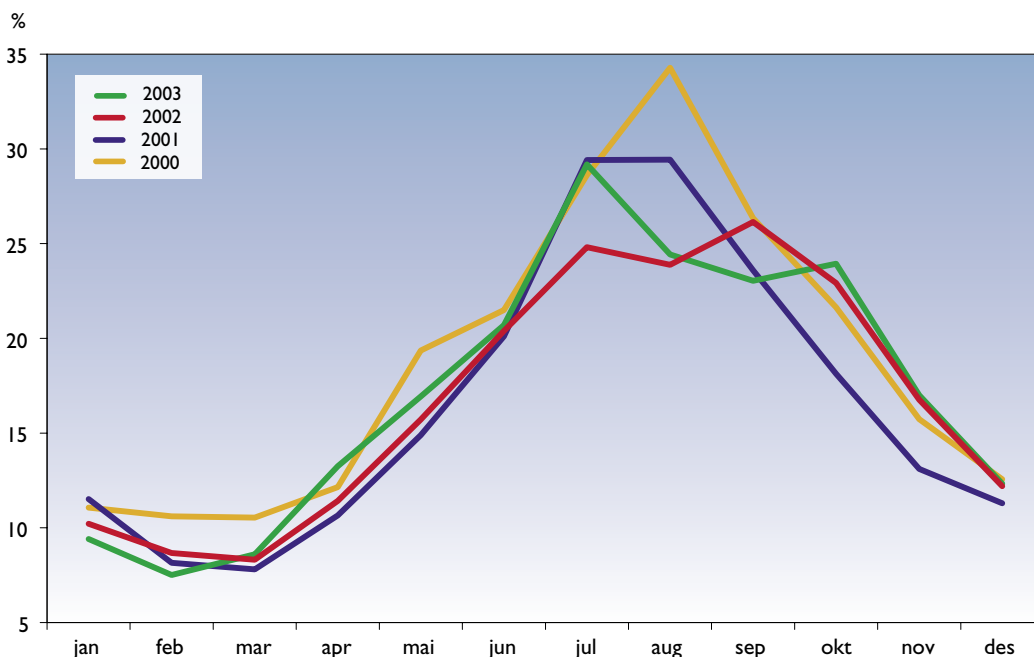
Dersom vi betrakter den relative utføringen til atlantisk laks (mengde utføret/stående biomasse), ser vi at det var en topp i september (Figur 5). Toppen er vanligvis i juli/august, men de to siste årene har det vært en noe uvanlig profil på utføringen. Bakgrunnen for dette er de høye sjøtemperaturene på sensommeren de to siste årene. De høye temperaturene har gitt ugunstige forhold for laksen i Sør- og Midt-Norge og resultert i redusert føring, og den relative utføringen juli/august 2003 var rekordlav. I stedet kom det en god tilvekst periode senere på høsten og vinteren, og den milde vinteren har ført til en vedvarende økning i tilveksten hele vinteren.

Biologisk sett var 2003 et år uten de store krisene. På sykdomssiden var det noen "nye" lidelser som fikk mest fokus.

I Hordaland fikk en utbrudd av Pankreas disease (PD) på en del anlegg med varierende dødelighet. Piscirickettsiose, som er en vanlig sykdom på coho i Chile, ble funnet i noen anlegg i Midt-Norge, og gjellesykdommen *Epiletiocystis* er rapportert langs hele vestlandskysten. Sistnevnte er nok den som har vært størst i omfang og skade, hvor 1-åringene i 2003-generasjonen ble mest utsatt for denne. Fisken får nedsatt respirasjon på grunn av betennelse i gjellene, noe som fører til nedsatt tilvekst og økt dødelighet. Den relativt gode tilveksten og få problemer på sykdomssiden er bakgrunnen for at fôrfaktoren forbedret seg i 2003. Den biologiske fôrfaktoren er gått ned fra 1,17 i 2002 til 1,14 i 2003, mens den økonomiske fôrfaktoren gikk ned fra 1,39 til 1,36 (Figur 6). Men det er fortsatt en del å gå på sammenlignet med resultatet i 2000.

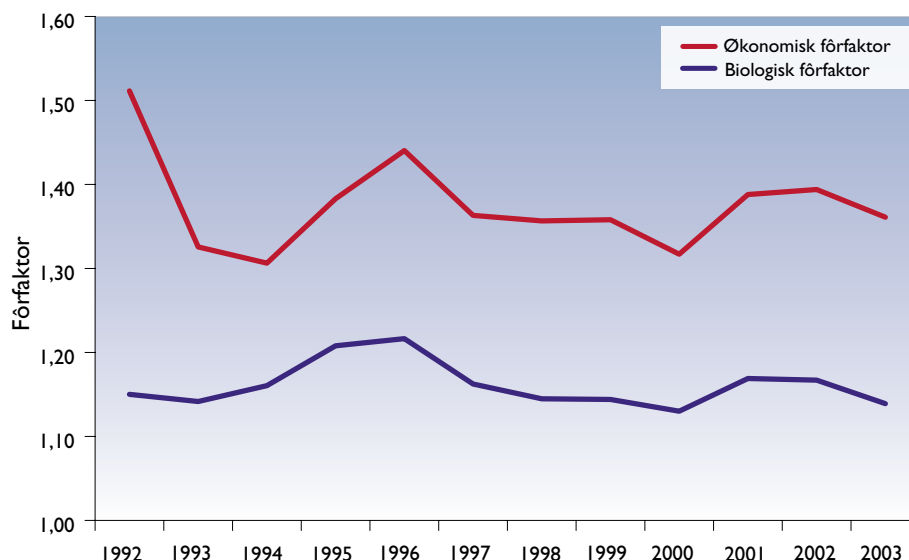
#### ANDRE LAKSEPRODUSERENDE NASJONER

For Færøyene var 2003 et forferdelig år. Utallige ILA-utbrudd sammen med vedvarende dårlige laksepriser har ført færøysk



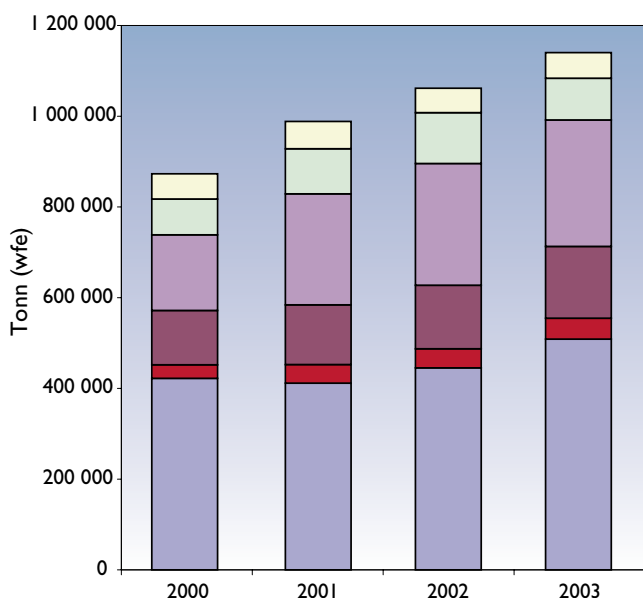
**Figur 5**  
Relativ utføring til atlantisk laks per måned 2000–2003 (tonn utføret per tonn stående biomasse).  
Relative feed rate of Atlantic salmon per month 2000–2003 (tonnes of feed per tonnes of standing biomass).

**Figur 6**  
Årlig økonomisk (kg fôr/kg laks, rund bløgget vekt) og biologisk (kg fôr/kg laks, levende vekt) fôrfaktor 1992–2003.  
Annual economic (kg feed/kg salmon, whole fish equivalent) and biologic (kg feed/kg salmon, live weight) feed conversion ratio 1992–2003.

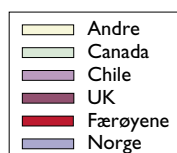


laksenæring inn i krise. Det ble slaktet rekordhøye ca. 46 000 tonn (wfe) laks på Færøyene i 2003, men estimatene for de kommende årene viser kraftige reduksjoner i smoltutsett og slaktekvantum. De færøyske oppdretterne håper nå på å få ta i bruk ILA-vaksine, men dette må først godkjennes av EU.

Også i Storbritannia ble det slaktet et stort kvantum i 2003, ca. 158 000 tonn (wfe). Men som i Norge og på Færøyene har også oppdretterne her slitt med dårlige priser for laksen, og flere oppdrettere sliter økonomisk. I tillegg var 2003 et år med mye IPN, særlig på vårutsett. Alt i alt vil 2003 ikke bli husket som et godt år for den europeiske lakse- og ørretnæringen. Riktignok gikk salgskvantumet opp, men økonomisk var 2003 i likhet med året før, et dårlig år.



**Figur 7**  
Slaktet kvantum (tonn wfe) av atlantisk laks på verdensbasis.  
Harvest quantity (tonnes wfe) of Atlantic salmon world wide.



I Nord-Amerika startet 2003 med “superchill” (ekstremt lave sjøtemperaturer) på østkysten, og i løpet av året kom rapportene om utbrudd av ILA (infeksiøs lakseanemi) og IHN (infeksiøs hematopoetisk nekrose), sykdommer som begge fører til utslakting og brakklegging av anlegg. Det er nå kommet en godkjent ILA-vaksine på markedet, men effekten av denne er ennå ikke klarlagt. I USA ble det i 2003 innført nye regler om at avlsmaterialet skulle være rent amerikansk, laks med påviste europeiske gener kan ikke lenger settes i sjøen. Dette førte til at antallet tilgjengelig smolt for utsett gikk dramatisk ned i 2003. Totalt ble det slaktet ca. 110 000 tonn (wfe) laks i Nord-Amerika i 2003, en nedgang på ca. 15 000 tonn (wfe) fra 2002.

I Chile ble det slaktet ca. 280 000 tonn laks i 2003, noe som er en liten økning fra året før. Chilenerne har ikke møtt de samme problemene som sine europeiske og amerikanske kolleger. De har oppnådd gode priser og markedsadgang, og 2003 har stort sett vært et positivt år for dem. Det har riktignok vært noen tilfeller med rester av malakittgrønt og antibiotika i eksportert laks til Japan og EU, noe som har medført betydelige utfordringer for den chilenske næringen. Nye kontrollrutiner er imidlertid iverksatt for å forhindre at dette skal kunne skje igjen.

\* Betegnelsen FCA Oslo står for “Free Carrier levert Oslo” og er en standard salgs- og leveringsbetingelse i henhold til Incoterms. Den benyttes som sammenligningsgrunnlag ved innrapportering av oppnådde priser til Fiskeri- og Havbruksnæringens Landsforening (FHL). WFE (Whole fish equivalent) er en standard vektbenevnelse for rund bløgget vekt (vekt etter bløgging og sulting), og tilsvarer en omregningsfaktor på ca. 6–8 % fra levende vekt.

## 1.2

## Markedssituasjonen for laks og ørret 2003

Paul T. Aandahl og Merete N. Kristiansen, Eksportutvalget for fisk (EFF)

Lakseeksporten fra Norge har aldri vært større enn i 2003, med 485 000 tonn laks solgt fra Norge. Dette er en økning på 63 000 tonn eller 14,8 % fra 2002. Verdien av lakseeksporten økte med 5,5 % til 10,1 milliarder sammenlignet med året før. Eksportveksten har først og fremst skjedd til EU og Øst-Europa, mens vi ser en nedgang til Japan. Russland er det markedet som har økt mest.

Ørreteksporten oppnådde i 2003 en verdi på 1,3 milliarder kroner, en nedgang på 17 % fra 2002. Eksportvolumet gikk ned med 11 000 tonn til 66 000 tonn. Japan er fortsatt det viktigste markedet, men Russland pekte seg ut som det nye, viktige markedet for norsk ørret.

Oppdrettet fisk har aldri stått for en større andel av den totale eksportverdien av fiskeprodukter enn i 2003, da det utgjorde hele 43 % av verdien. For ti år siden sto oppdrett for 35 % av verdien.

På markedsadgangssiden skjedde det betydelige endringer i 2003. Lakseavtalen med EU ble opphevet 31. mai 2003. Senere samme høst (19. september) innførte EU-kommisjonen en midlertidig straffetoll på norsk ørret på 21,4 %.

Mattrygghet og miljø har økende oppmerksomhet blant forbrukere og media i alle land. I 2003 har vi sett en økning i saker omkring akvakultur og oppdrett. Laksenæringen har gjennom systematisk beredskapsarbeid evnet å kommunisere til markedene og omgivelsene at Norge tilfredsstiller kravene på disse viktige områdene.

#### REGIONALISERING AV LAKSEMARKEDET

Med Norge og Chile som de ledende produsenter av atlantisk laks, har vi i løpet av 2003 sett en økt grad av regionalisering av markedene. EU og Øst-Europa er Norges "hjemmemarked". Her har vi klare fortrinn i forhold til å kunne levere fersk laks. Den økte produksjonen av norsk laks i 2003 har i hovedsak gått til disse markedene.

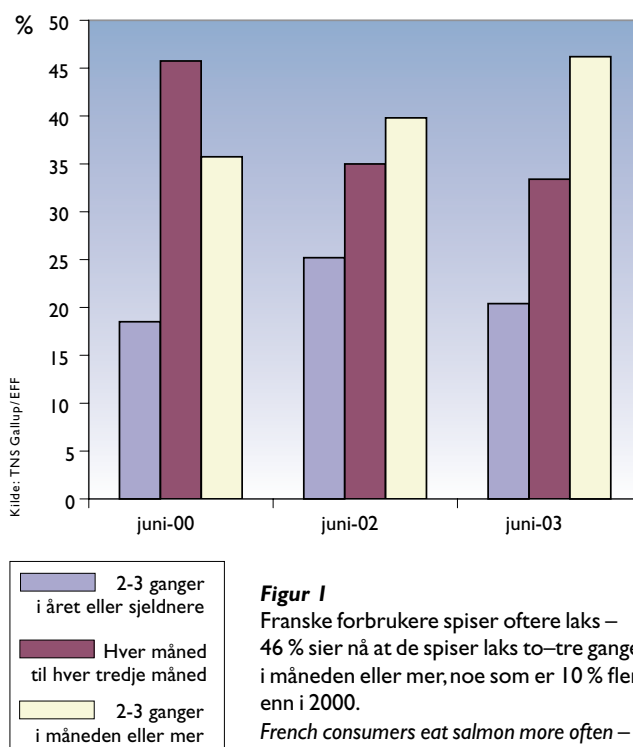
Chile har konsentrert stadig større andel av sin eksport til USA. Dette, sammen med redusert tilførsel fra Canada, har ført til økt chilensk markedsandel i USA. Eksporten fra Chile til nabolandene i Latin-Amerika, EU og Asia er samtidig redusert. På grunn av antidumpingtiltak fra USA er Norge delvis utestengt fra dette markedet.

I Asia dominerer Norge markedet for fersk laks, mens konkurransen mellom norsk og chilensk fross laks er stor.

#### NORGES VIKTIGSTE FORTRINN ER FERSKE PRODUKTER

Norges viktigste konkurransefortrinn globalt er evnen til å levere fersk laks i markedene, ettersom vi har en god basisproduksjon og god infrastruktur. I flere marked foretrekkes ferske produkter, blant annet i Japan hvor laks brukes til sushi eller sashimi.

Et annet viktig konkurransefortrinn er at Norsk Laks har en sterk posisjon internasjonalt, skapt gjennom bevisst innsats fra norsk fiskeri- og havbruksnæring gjennom mange år. Undersøkelser viser at Norsk Laks i de viktigste markedene har et kjennskap på 70–90 %, noe som er på linje med kjente internasjonale merkevarer. (f.eks. Volkswagen, med 79 % kjennskap i USA i 1998). Forbrukere i viktige markeder sier også at de foretrekker Norsk Laks, og det er helt vesentlig for at forbrukerne faktisk velger å kjøpe Norsk Laks når de er i butikk eller på restaurant. To eksempler på det er Frankrike og Polen, hvor Norsk Laks foretrekkes av henholdsvis 56 og 68 % av forbrukerne (Kilde: TNS Gallup/EFF).



**Figur 1**

Franske forbrukere spiser oftere laks – 46 % sier nå at de spiser laks to–tre ganger i måneden eller mer, noe som er 10 % flere enn i 2000.

*French consumers eat salmon more often – 46 % say they eat salmon two–three times a month or more, which is 10 % more than in 2000.*

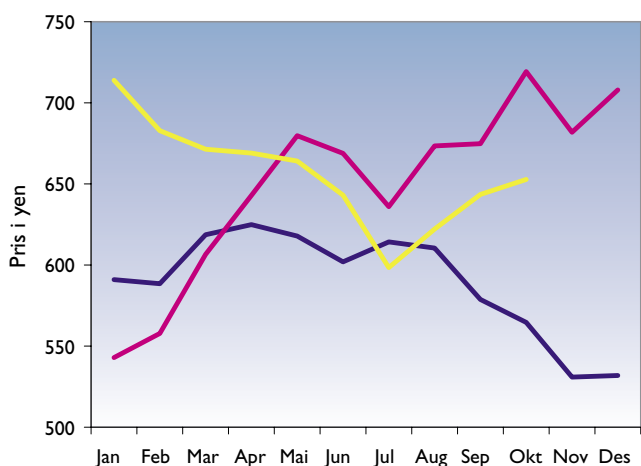
### FOLK I EU SPISER MER LAKS

Økning i den norske lakseproduksjonen førte til kraftig press mot minsteprisen til EU i store deler av perioden fram til avtalen ble opphevet i slutten av mai 2003. Opphevelse av avtalen førte til stor turbulens i markedet, med en økning i antall tilbydere på 20 % i juni måned. Denne måneden falt prisene kraftig, samtidig som volumet fra Norge til EU økte med 16 % til 26 900 tonn, målt i rund vekt. Prisene falt ytterligere i juli til 17,32 kr/kg for fersk laks med hode. Dette er det laveste som noen gang er registrert. Fra august måned økte prisene jevnt og trutt til en snittpris på 22,07 kr/kg i oktober, før vi på ny fikk en negativ korreksjon i prisen. I denne perioden økte altså prisene med 27 %. Samtidig økte volumet med 23 % sammenlignet med fjoråret. Andre leverandører, som Færøyene og Storbritannia, øker også sine leveranser av laks til EU. Den totale tilførselen av laks til EU i perioden januar–september økte med ca. 7 %.

Det at vi opplever økning i både pris og volum samtidig kan forklares med økt etterspørsel. Frankrike er et godt eksempel på dette. En forbrukerundersøkelse som Norsk Gallup har gjennomført på vegne av EFF i Frankrike bekrefter at forbrukerne spiser mer laks. Figur 1 viser at andelen forbrukere som sier at de spiser laks to–tre ganger i måneden eller oftere, har økt fra 36 % i 2000 til 46 % i 2003. Det betyr konkret at personer som tidligere spiste laks mer sjeldent nå spiser det oftere og dermed har økt sitt konsum.

### MARKEDET I JAPAN FLATER UT

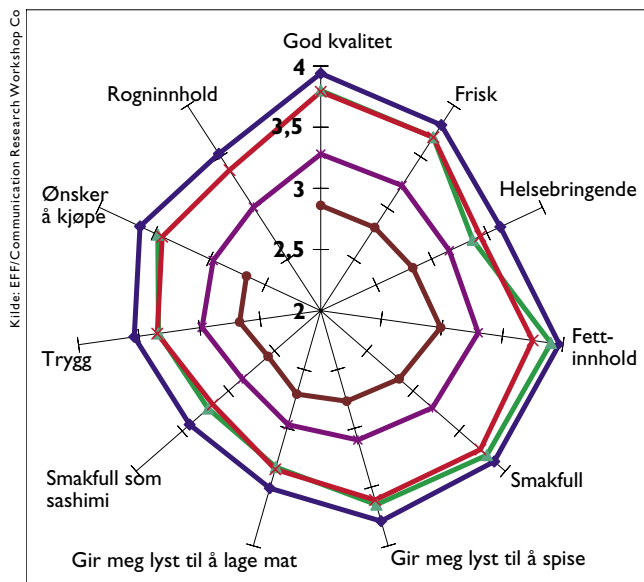
Japan er verdens største laksemarked med en samlet tilførsel på ca. 500 000 tonn rund vekt, av dette utgjør atlantisk laks ca. 35 000 tonn. Hver japaner spiser i gjennomsnitt ca. 4 kg laksefisk i året. Totalkonsumet av atlantisk laks har vært jevnt økende over de siste årene, men i januar–oktober 2003 ble tilførselen av atlantisk laks til Japan redusert med 14 %. Til tross for at tilførselen fra Norge er redusert, har Norge økt sin markedsandel fra 77 til 80 % (hel fisk). Reduksjonen i totalmarkedet kan blant annet forklares med at Chile har eksportert



**Figur 2**

Importprisen på fersk laks til Japan har økt, målt i japanske yen.

The import price for fresh salmon to Japan has increased, measured in Japanese yen.



**Figur 3**

Japanske forbrukere vurderer Norge som den beste opprinnelsesnasjonen på sjømat – “Salmon is Norwegian Salmon”.

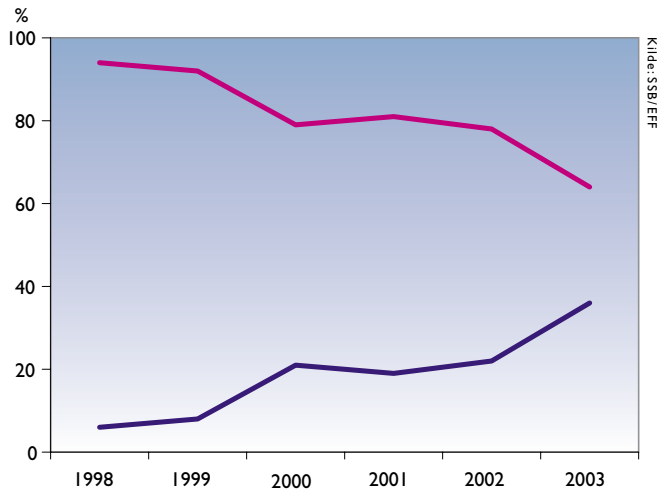
Japanese consumers consider Norway as the best country of origin for seafood – “Salmon is Norwegian Salmon”.

tert mer av sin laks til et sterkt USA-marked samt at Australia har redusert sin tilførsel kraftig. Et annet vesentlig poeng er at importprisen for fersk laks har økt de siste to årene. Dette har ført til en økt grad av konkurranse fra fryste alternativer, spesielt fryst ørret fra Chile, i segmenter som tidligere hadde klare preferanser for fersk laks.

Norsk Laks har en dominerende posisjon innen “sushi- og sashimisegmentet” for laks, og er dermed posisjonert i toppen av markedet for fersk laks i Japan. Denne posisjonen er sterkt knyttet til at Norge oppleves som en trygg leverandør av sjømat. Nye undersøkelser som Eksportutvalget for fisk har gjennomført, viser at japanerne rangerer Norge foran alle andre importnasjoner på åtte forskjellige kvalitetskriterier, som ferskhets, smak, trygghet osv. Japanske forbrukere er svært opptatt av matvaretrygghet, og spesielt for mat som skal spises rå er kvalitet og sikkerhet veldig viktig. I de siste årene er dette fokuset blitt sterkere etter flere matvareskandaler innen landbrukssektoren. Dette betyr at forbrukerne er opptatt av opprinnelsen på produktene, og at informasjonen om matvarene skal bygge opp under deres egen trygghetsfølelse. Norsk opphav på laks gir forbrukerne en ekstra verdi i denne sammenheng.

### ØST-EUROPA – VÅRT NYE HJEMMEMARKED

Denne regionen har hatt en økning i laksekonsumet i 2003 på hele 43 % i perioden januar–september. Norge har en markedsandel til Øst-Europa på ca. 92 %. Polen er det nest største markedet etter Russland, og norsk eksport dit har vokst med 66 % til 22 000 tonn rundvekt, mens Russland har vokst med 30 % til 28 000 tonn. I tillegg til den kraftige veksten i laksekonsumet generelt, ser vi en dreining i konsumet i det russiske markedet fra fryst til fersk laks. Dette har blant annet sammenheng med at russerne har fått økt kjøpekraft og



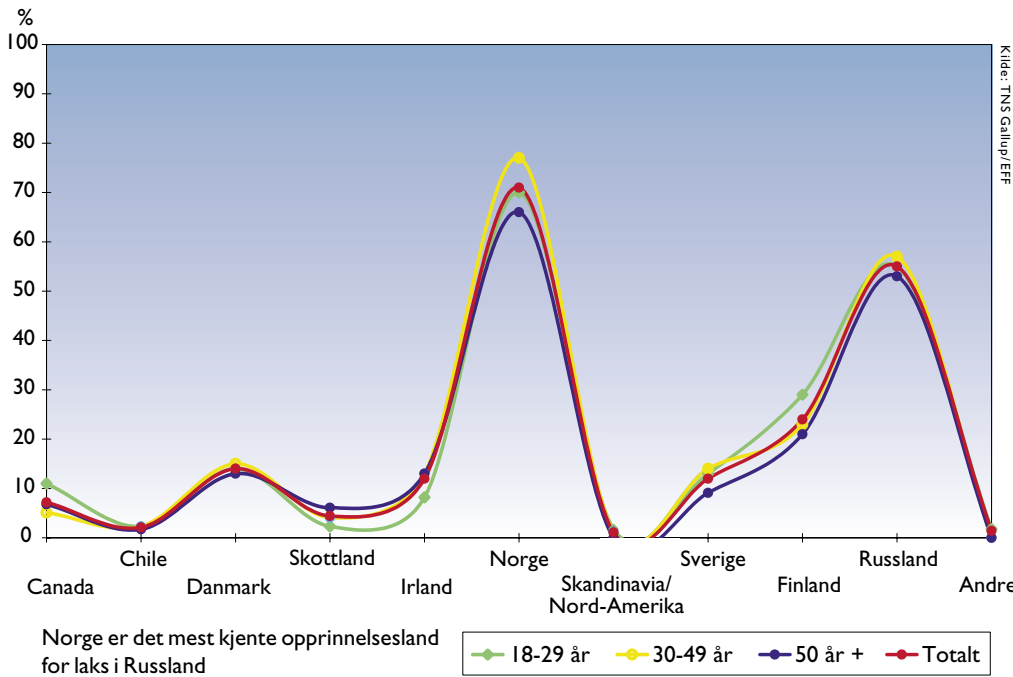
**Figur 4**  
 Av den totale lakseeksporten fra Norge til Russland utgjør fersk laks nå nesten 40 % (volum). I 1998 var tilsvarende andel kun 6 %.  
 40 % of the total salmon export to Russia from Norway is fresh salmon.  
 In 1998 the share of fresh salmon was only 6 % (volume).

at distribusjonssektoren i Russland bygges ut. Både russiske og internasjonale supermarkedskjeder bygger ut super- og hypermarkeder i høy hastighet, og det satses blant annet på store ferskvaredisker. At Norsk Laks og ørret er en naturlig del av tilbudet i disse ferskvarediskene, kommer som et resultat av systematisk og langsiktig markedsbearbeiding fra norsk laksenæring helt siden 1997. Undersøkelser gjennomført av TNS Norsk Gallup for EFF, viser at Norge nå foretrekkes som leverandørland av laks (se figur 5 og 6).

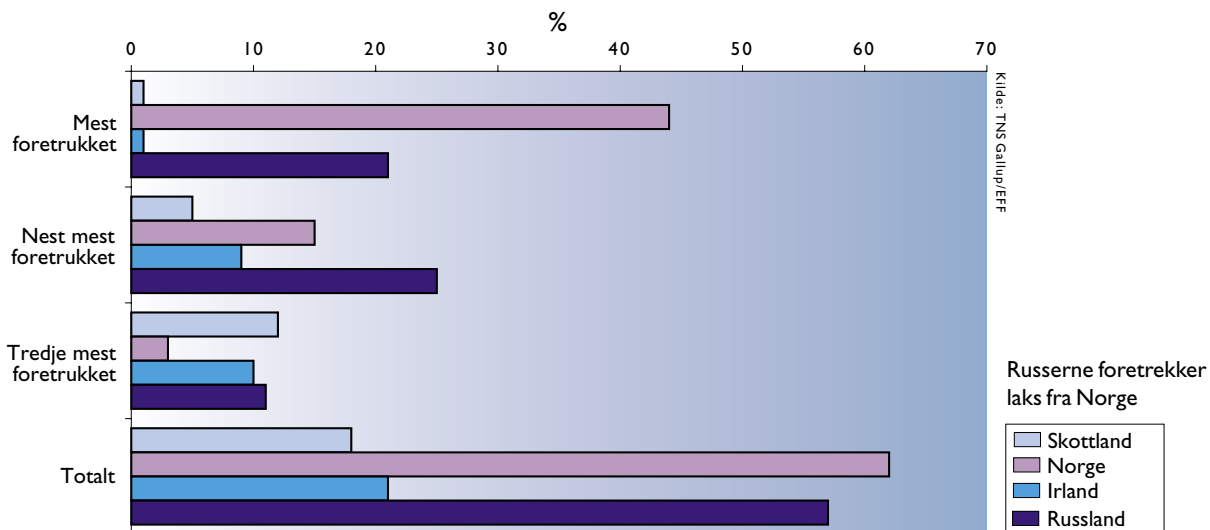
Dreiningen fra frysst til fersk er viktig for det fremtidige potensialet for Norsk Laks, blant annet fordi det er på ferske produkter Norge har sitt største konkurransefortrinn i forhold til for eksempel Chile. Det er også innen ferskvaremarkedet vi ser det største potensialet for videre utvikling av konsumet i Russland.

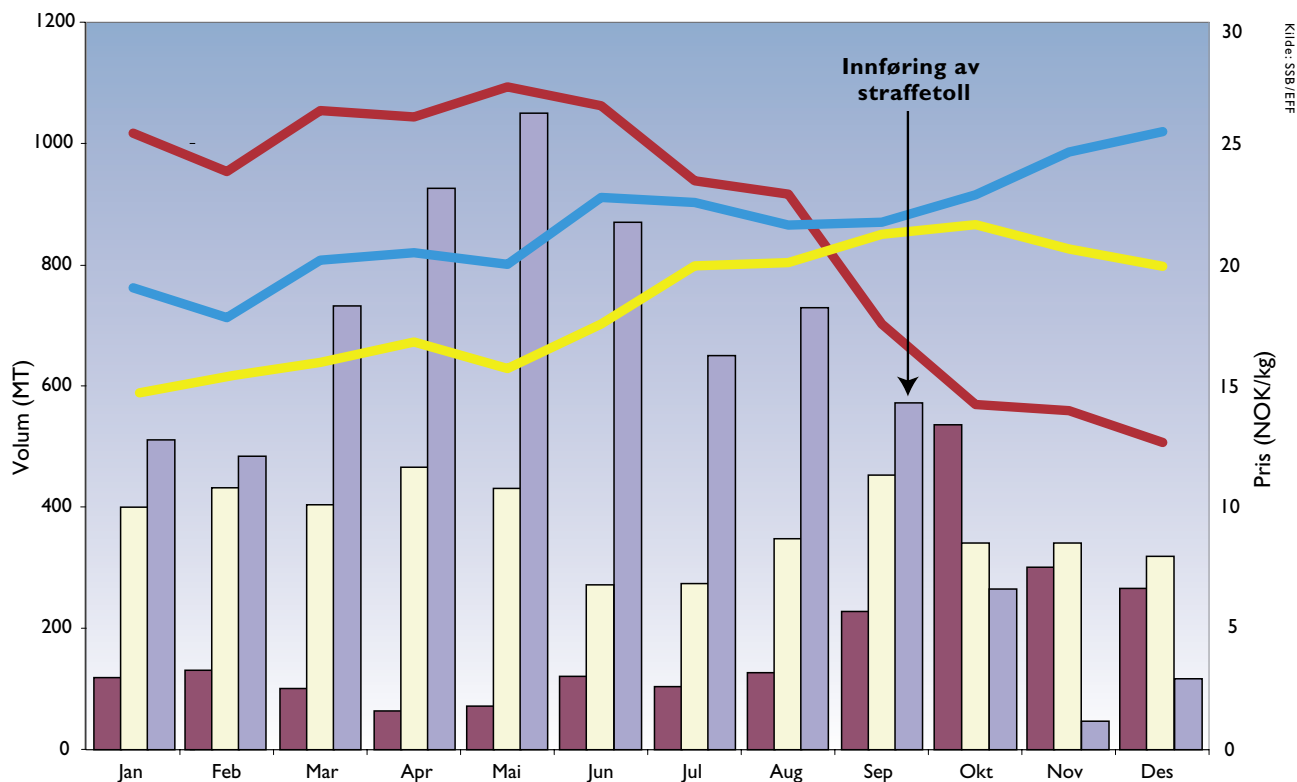
**ØKT EKSPORT FRA NORGETIL USA**

Som marked for atlantisk laks er dette verdens nest største etter EU. Markedet domineres av laks fra Chile og Canada.



**Figur 5 og 6**  
 Norge er det landet som er best kjent som produsent av laks blant russiske forbrukere, til og med bedre kjent enn Russland – 70 % nevner Norge, mens 55 % nevner Russland som produsentland for laks. Norge er også den mest foretrukne leverandør av laks.  
 Norway is the best known salmon producing country among Russian consumers, even better known than Russia – 70 % mention Norway while only 55 % mention Russia as a supplier of salmon. Norway is also the most preferred country of origin for salmon.

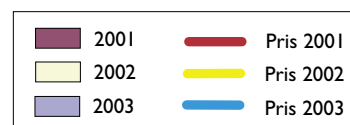




**Figur 7**

Norsk eksport av fersk ørret til EU viste fin økning i begynnelsen av året 2003, men falt kraftig etter innføringen av straffetoll i september. Prisen på den norske ørreten økte jevnt hele året.

*After a steady increase in the Norwegian export of fresh trout to the EU, the export decreased suddenly after the introduction of a punitive duty in September. Throughout the year the price for Norwegian trout has increased.*



Total tilførsel av laks de ni første månedene i 2003 var på ca. 234 000 tonn. Dette er 3 % høyere enn året før. Prisen for det viktigste importproduktet, fersk laksefilet, økte med 14 % til 4,99 USD/kg. Norges markedsandel er kun på 4 %. På grunn av antidumpingtiltak som ble satt i verk mot Norge i 1991 har dette vært et mindre interessant marked for norske eksportører. Mens USA i 1990 var Norges 5. største marked for laks, er det i 2003 falt ned til en 12. plass, målt i volum. I 2003 har vi imidlertid sett en positiv utvikling i eksporten fra Norge, med en økning på 14 % til totalt 16 300 tonn målt i rund vekt. De viktigste produktene er fersk filet, fryst filet og røkt laks. Dette er alle produkter som ikke berøres av antidumpingtiltak.

#### NYE MARKED OG HØYERE PRIS FOR NORSK ØRRET

I 2003 hadde vi store forventninger til ørret. Norsk Ørret var offisielt produkt til verdensmesterskapet i kokkekunst i Frankrike i januar, og gjennom dette fikk vi en unik mulighet til å presentere kvalitetene ved den norske ørreten overfor toppsegmentet innen hotell og restaurant. Mange aktører var involvert i arbeidet, og resultatene gav seg også utslag i eksportvolumene utover året. Fra januar til august hadde vi en økning i eksporten til EU på til sammen 65 % (3 600 tonn) i forhold til året før. Dessverre ble det satt i verk antidumpingtiltak fra EU mot norsk ørret i september, noe som har rammet eksporten hardt (se figur 7).

Tilbudet av stor regnbueørret både fra Norge og Chile ble redusert i 2003. Dette, sammen med en halvering av cohoproduksjonen i Chile, har gitt seg utslag i økte priser i alle markeder. I gjennomsnitt var importprisen for fryst ørret til Japan 20 % høyere i 2003 enn de to foregående år. Av total eksport av ørret fra Norge, utgjorde eksporten til Japan 41 % i 2003 mot 59 % i 2002. Vi ser med andre ord at Japans betydning som marked for Norsk Ørret er blitt redusert det siste året.

Russland viste seg som det nye, viktige markedet også for norsk ørret i 2003. Totalt eksporterte vi 14 000 tonn ørret i 2003, noe som var en økning på 69 % i forhold til året før. Et viktig moment er at vi har sett en positiv utvikling i eksporten av fersk ørret til Russland. På samme måte som for Norsk Laks, er det innen fersk ørret Norge har fortrinn i forhold til våre konkurrenter.

#### MARKEDSBEREDSKAP

Å sikre et positivt omdømme for norsk fiskerinæring og norsk sjømat er meget viktig. EFF har siden 1999 arbeidet systematisk med markedsberedskap og krisekommunikasjon på vegne av norsk fiskeri- og havbruksnæring.

Forbrukere verden over er opptatt av mattrygghet, bærekraftighet og etikk. Som en av verdens største eksportnasjoner for fiskeprodukter, får Norge spørsmål fra forbrukere og handelsaktører om hva vi gjør for å ivareta trygg sjømat.

Akvakultur og oppdrett er ett av områdene som er gjenstand for heftig diskusjon fra tid til annen. Det siste året har EFF arbeidet med flere saker knyttet til oppdrett. Under følger noen eksempler:

- I Norge har organisasjoner (FHL, EFF) og bedrifter (Skretting, Biomar, EWOS) gått sammen i prosjektet Krafttaket som ønsker å endre norske forbrukeres holdninger til oppdrett. Undersøkelser har vist at det eksisterer en del feiloppfatninger i det norske folk, for eksempel tror mange at det brukes mye antibiotika i oppdrett. Prosjektet har en egen internettside, [www.laksefakta.no](http://www.laksefakta.no), der forbrukerne kan finne informasjon om oppdrett.
- I høst ble det oppdaget ILA i Norsk Laks eksportert til Polen. Norske og polske myndigheter ble raskt koblet i saken med assistanse fra Fiskeridirektoratet og EFF. Sertifikatplikt ble først innført på all laks fra Norge for å dokumentere at den ikke kom fra ILA-området. Etter hvert ble plikten omgjort til utelukkende å gjelde de aktuelle anleggene med ILA.
- I Kina har det i løpet av året vært noen tilfeller av listeria i norsk røkt laks. En utfordring ved at dette oppstod akkurat i Kina, er at EU (og Norge) tidligere i år stoppet importen av blant annet reker fra Kina. I saken med listeria ønsket kinesiske myndigheter å kontrollere alle partier av laks, men dette ble etter hvert unngått gjennom sterkt samspill med Fiskeridirektoratet, EFF og myndighetene i Kina.
- “Farmed and Dangerous” er en kampanje satt i gang av Coastal Alliance for Aquaculture Reform (CAAR), som i første omgang ønsker å endre hvordan oppdrett drives i Britisk Columbia. I november satte de imidlertid i gang en annonsekampanje i New York Times for å få forbrukere til å slutte å kjøpe oppdrettslaks. Forbrukerne oppfordres til å slutte å spise oppdrettslaks fordi “den blir føret på antibiotika, fargestoffer og insektsmidler”, heter det i annon-

sen. CAAR sto også bak en enkel måling med utvalg av fisk fra butikker i New York som viste at oppdrettslaks inneholdt mer PCB enn den utvalgte villaksen. Nyhetene fikk meget stor spredning verden over i sommermånedene. Norge har aldri vært direkte nevnt av CAAR, men deres kampanjer får konsekvenser for tilbydere av laks uavhengig av land. Dette krever av aktørene og EFF at vi kan stille med dokumentasjon overfor våre kunder.

- Selv om lakselus er naturlig forekommende i naturen og ikke representerer noen fare for forbrukerne, er det et tema som, når det dukker opp, kan bidra til skepsis overfor laksen som produkt dersom ikke kommunikasjonen håndteres godt. Da det ble oppdaget lus på laks til Australia tidligere i høst hevdet australske myndigheter at dette var innføring av fremmed art til landet, men saken ble etter hvert løst etter arbeid fra Fiskeridirektoratet og EFF.

Både fiskeri- og havbruksnæringen er kritisk omtalt i media fra tid til annen. I saker og situasjoner som kan true eller skade omdømmet til Norsk Sjømat er god kommunikasjon og enhetlig budskap viktig. Norsk Sjømat har i dag en god beredskap, og næringsaktørene kjenner etter hvert godt til beredskapssystemet. Det medfører at EFF blir varslet om potensielle problemsaker på et tidlig tidspunkt. Lytteposter rundt omkring i verden, som ambassader, EFFs utekontorer og næringens handelsforbindelser, er de viktigste bidragsyterne. EFF samarbeider også med aktuelle faginstanser, forskningsinstitusjoner og myndigheter i beredskapsarbeidet. Gode kontaktnettverk bidrar også til at korrekt informasjon raskere formidles til markedene.

Alt dette er med på å sikre at forbrukerne og handelen fortsatt har tillit til at laks og annen sjømat fra Norge er trygg mat, og at mange derfor foretrekker å kjøpe norsk.



Forbrukere verden over er opptatt av mattrygghet, bærekraftighet og etikk. Norsk Sjømat oppfattes som trygg mat, og mange foretrekker derfor å kjøpe norsk.

*Food safety, sustainability and ethics are increasingly important to consumers all over the world. As consumers consider Norwegian Seafood to be safe, salmon and other seafood from Norway is preferred.*



## 1.3

## Helsesituasjonen hos laksefisk

**Kjell I. Flesjå, Veterinærinstituttet Sandnes**  
**Brit Hjeltnes, Avdeling for fiske- og skjellhelse, Regionale laboratorier, Veterinærinstituttet**  
**Renate Johansen, Seksjon for fiskehelse, Veterinærinstituttet Oslo**  
**Kari Norheim, Veterinærinstituttet Harstad**  
**Anne Berit Olsen, Veterinærinstituttet Bergen**  
**Hanne Ringkjøb Skjelstad, Veterinærinstituttet Trondheim**

Forekomsten av infeksøs lakseanemi (ILA) var lavere i 2003 enn året før. Tidligere hardt rammede områder på Vestlandet hadde ingen påvisninger, noe som antas å ha sammenheng med de bekjempelsestiltak som er gjennomført. Dessverre ble det registrert nye tilfeller i Midt- og Nord-Norge. Dette understreker betydningen av helseovervåkning og et lett tilgjengelig og kvalifisert diagnoseapparat. For en del andre smittsomme og tapsbringende sykdommer, bl.a. pankreas sykdom (PD) og proliferativ gjellebetennelse, er situasjonen mer uoversiktlig. Det er grunn til å følge utviklingen nøye, og i den sammenheng hadde det vært ønskelig med et forbedret rapporteringssystem.

Gamle kjenninger som vintersår, proliferativ gjellebetennelse, deformiteter, vaksine- og andre mer eller mindre produksjonsrelaterte skader, er fortsatt et problem i norsk lakseoppdrett. Når det gjelder smittsomme sykdommer, er landet fremdeles fritt for de mest fryktede som viral hemoragisk septikemi (VHS) og infeksøs hematopoetisk nekrose (IHN). Klassiske bakteriesykdommer som furunkulose og ulike vibriosevarianter ser ut til å være under god kontroll, takket være vaksiner og hygieniske og driftsmessige tiltak. Det synes også som om luseproblemene har vært mindre enn de senere år, mens det mange steder er registrert mye bendelmark. Parasitten *Parvicapula pseudobranchicola*, som for første gang ble påvist i Nord-Norge i 2002, ble i 2003 funnet i mange anlegg i Trøndelag samt i to anlegg i Møre og Romsdal. Den helsemessige betydningen av denne parasitten er fremdeles relativt uklar.

Av andre sykdommer har man sett en ubehagelig økning i forekomsten av hjerte- og skjelettmuskelbetennelse (HSMB) og pankreas sykdom (PD) med betydelige tap som følge. I mange områder er dessuten proliferativ gjellebetennelse oppfattet som et av de største tapsbringende helseproblemer første år etter utsett i sjø. Årsaken til denne sykdommen er ikke klarlagt, men infeksjon av en klamydialignende bakterie som danner små kolonier i gjellepitelet (epiteliocystis) oppfattes av mange som en sentral faktor.

Når det gjelder bruk av antibiotika og kjemoterapeutika, finnes det i skrivende stund ikke offentlige statistikker, men rapporter fra fiskehelsetjenestene landet rundt tyder på et lavt forbruk. Fortsatt foretas en god del medikamentell bekjempelse av lakselus og bendelmark. Soppvekst i stamfiskgrupper, på rogn og yngel krever og ofte kjemisk/medikamentell behandling.

Også i 2003 fikk en bekreftet at sykdomsbildet i norsk lakseoppdrett er ustabil, og at nye problemer stadig dukker opp og utvikler seg videre. Dette viser klart behovet for et landsdekkende og lett tilgjengelig diagnoseapparat, som også kan være i stand til å avsløre nye sykdomstilstander før de får for stor og u håndterbar utbredelse.

#### VIRUSSYKDOMMER

##### Infeksøs lakseanemi – ILA

Det ble i 2003 registrert fem nye påvisninger i Troms og Finnmark og tre i Trøndelag. Etter flere år med store problemer på Vestlandet, var det ingen nye registreringer i denne regionen. Dette tilskrives en systematisk strategi som omfatter utslakting, sanering og hygieniske tiltak. Likevel råder det en viss usikkerhet. I perioden oktober 2002–januar 2003 ble det utført en PCR-basert masseundersøkelse for ILA-virus på 56 vestlandslokaliteter. (PCR står for Polymerase Chain Reaction, og er en effektiv diagnose- og analysemetode som bygger på masseproduksjon av små fragmenter av arvestoff.) I 15 tilfeller ble det funnet positive utslag for virus. Påvisningen av viruset har ikke ført til tiltak fra det offentlige veterinærvesen, men dette viser tydelig behovet for streng årvåkenhet og ryddige forhold når det gjelder avgrensninger av lokaliteter, populasjoner og brønnbåttransporter.

Veterinærinstituttet Oslo har lenge arbeidet med immunohistokjemi som et nytt hjelpemiddel i diagnostiseringen av ILA. Denne metoden tas nå i bruk ved alle Veterinærinstituttets regionale laboratorier. Metoden har den fordelen at man på innsendt fiksert organmateriale i tillegg til organskader (levernekroser) også kan påvise ILA-virus. Dette kan bety at man lettere kan komme fram til en sikker diagnose, også i tilfeller hvor de kliniske og patologiske funn er uklare.

Observasjonen av ILA-virus uten påvisning av klinisk sykdom har reist spørsmålet om det kan finnes ulike stammer av viruset med varierende evne til å framkalle sykdom (virulens). I tillegg til de smittehygieniske bekjempelsestiltakene, har det vært stor interesse for å utvikle vaksiner. Det finnes i dag testvaksiner (pilotvaksiner), men det ble ikke gitt utprøvingstillatelser for feltforsøk i 2003.

##### Pancreas Disease – PD

Pankreassykdom er blitt påvist i Norge siden siste halvdel av 1980-tallet. Den er senere jevnlig rapportert fra Hordaland og sørlige deler av Sogn og Fjordane, hvor den ser ut til å

være endemisk. Imidlertid har den til nå stort sett holdt seg innenfor mer avgrensede områder og fjordsystemer. I 2003 ble det registrert en markert økning i påviste tilfeller av PD, og sykdommen ble for første gang påvist på to lokaliteter i Finnmark og en i Troms. Vi vet i dag ikke om smittestoffet har eksistert i lengre tid i Nord-Norge, eller om det her er snakk om nysmitte fra andre områder. Epidemiologiske forhold, bl.a. en mulig kontakt til Hordaland og Sogn og Fjordane, er under utredning.

PD er en sykdom som først og fremst angriper bukspyttkjertelen, hjerte- og skjelettmuskulaturen (Figur 1). Sykdommen er bare påvist etter utsett i sjø, vanligst på fisk som har gått mer enn fem–sju måneder i sjø. Den begynner gjerne med akutt appetittsvikt, som så går over i avmagring og økt dødelighet. Tapet kan bli svært høyt, både som følge av dødeligheten og ikke minst på grunn av nedsatt tilvekst og redusert kvalitet på fiskekjøttet.

Det var lenge vanskelig å diagnostisere PD. Årsaken til dette var at sykdommen kan være snikende, og at den gjerne opptrer sammen med andre lidelser. Gjennom et europeisk forskningsarbeid er det utviklet bedre diagnostiske metoder, bl.a. PCR. Denne metoden er nå tatt i bruk i den offentlige

diagnosetjenesten. Immunohistokjemi er også etablert, men metoden har visse begrensinger da den bare avslører virus i den helt akutte fasen av sykdommen.

Det er foruroligende at denne tapsbringende sykdommen nå synes å være i en ekspansjonsfase, og at det trolig ikke er uvanlig med friske smittebærere. Ved en PCR-basert undersøkelse på Vestlandet høsten 2003, ble virus påvist på smolt i 30 % av tilfeldig valgte lokaliteter et halvt år etter utsett i sjø. Tre av disse lokalitetene fikk senere konstatert sykdom.

Det eksisterer ingen behandling av virus sykdommer hos fisk, men det finnes eksempler på områder der man etter å ha gjennomført en del driftshygieneiske tiltak ikke har sett sykdommen på flere år. Det er nå utviklet en vaksine, og høsten 2003 ble det gitt tillatelse til vaksinerings i et avgrenset antall anlegg. PD er klassifisert som en C-sykdom (dvs. at den blir registrert, men påvisning medfører ikke offentlig bekjempelse).

### Infeksiøs pankreasnekrose – IPN

IPN har i lang tid vært en plagsom sykdom hos laksefisk i oppdrett og kultiveringsarbeid. Tradisjonelt ble den beskrevet som en yngelsykdom hos regnbueørret. Her i landet har den imidlertid helst opptrådt hos laks noen uker etter utsett

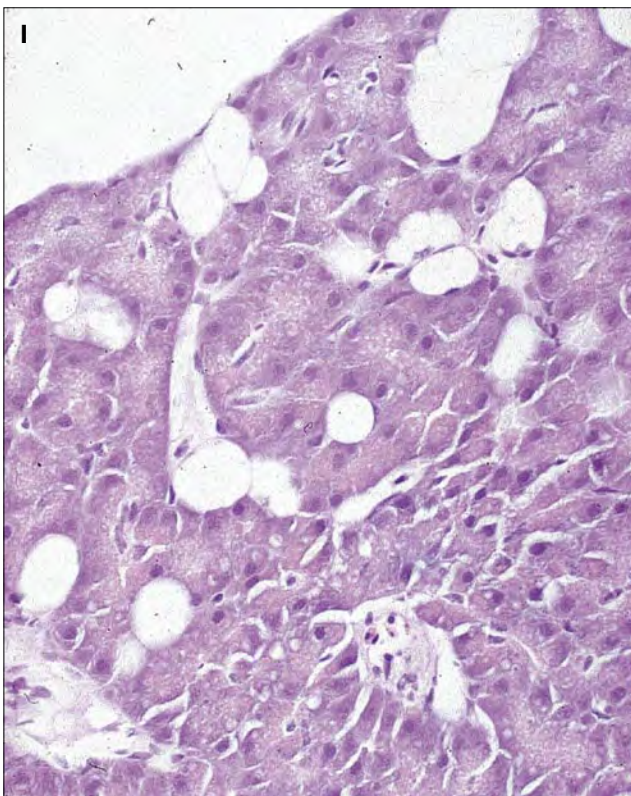


Foto: T. Takedal

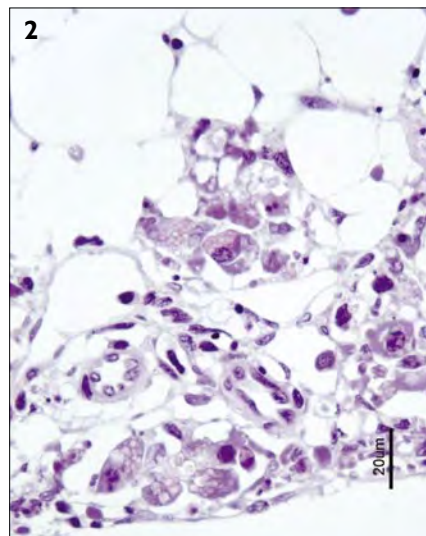


Foto: T. Takedal

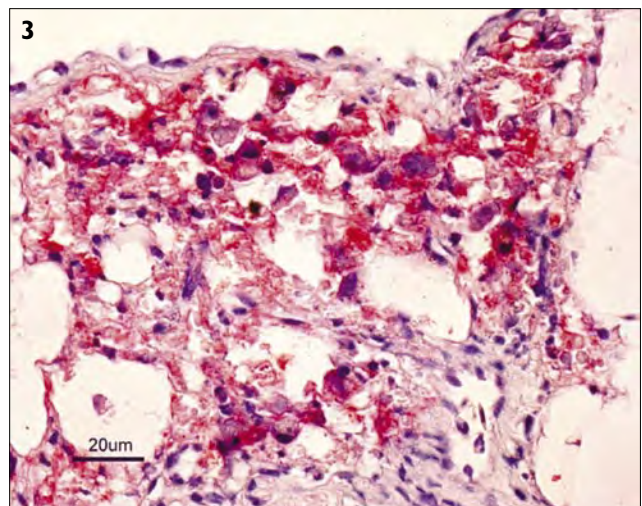


Foto: T. Takedal

**Figur 1**

Snitt av bukspyttkjertel (pankreas) fra laks sett i lysmikroskop.

- 1) Normal kjertel. 2) Akutt vevsdød (nekrose) ved PD.  
3) Akutt vevsdød, snittet er merket med antistoff mot PD-virus slik at sterk rødfarge indikerer virus i skadet vev.

Sections of exocrine pancreatic tissue in Atlantic salmon, as seen by light microscopy. 1) Normal tissue. 2) Acute necrosis caused by Salmon Pancreas Disease Virus (SPDV). 3) Acute necrosis treated with antibody against SPDV. Strong red colour indicates the presence of the virus.

i sjø, selv om man også har sett yngeldød hos både laks og regnbueørret. Sykdomsutbruddene har svingt betydelig fra år til år. For foregående år synes situasjonen å ha vært bedre enn på mange år. Antall anlegg med sykdom synes ikke å være vesentlig forskjellig fra tidligere, men tapene har generelt vært til dels betydelig lavere enn de siste årene. Om dette skyldes naturlige variasjoner, en epidemi med et svakt virus eller bruken av vaksiner, gjenstår å se.

## BAKTERIESYKDOMMER

### Piscirickettsiose

Denne sykdommen har opptrådt periodevis siden slutten av 1980-tallet. De første årene gikk den under betegnelsen "leverbetennelse hos laks" på grunn av de karakteristiske organforandringene. Den er oppført som gruppe B-sykdom i det offentlige lovverket og er derfor grunnlag for restriksjoner når den påvises. I 2002 ble det rapportert sykdom i 18 anlegg fra Hordaland til Trøndelag, med et tyngdepunkt i Møre og Romsdal og Sogn og Fjordane. I 2003 ble det registrert fire utbrudd på Nord-Vestlandet. Dødeligheten synes å ha vært relativt lav (< 2 %).

### Infeksjon med *Moritella viscosa* (tidl. *Vibrio viscosus*)

Mange mener at denne bakterien – om ikke som primærårsak – spiller en vesentlig rolle i utviklingen av vintersår. Sykdommen er velkjent hos de fleste fiskeoppdrettere og har til tider vært en betydelig tapsfaktor i norsk oppdrett. Dødeligheten er som regel moderat, men sykdommen får gjerne et kronisk forløp med lite tilheling før temperaturen begynner å stige utpå vårparten (7–8 °C). De store tapene skyldes nedklassing av den slaktede fisken. Dyrevernaspektet er ytterligere et moment for raskt å få kontroll med denne lidelsen. Fjoråret synes å representere et middels år når det gjelder vintersår, men tapene var likevel betydelige i en rekke anlegg, spesielt fra Midt-Norge og nordover. Det er tilgang på en kommersiell vaksine mot *Moritella viscosa*. Denne benyttes i en viss utstrekning, men effekten i felt er noe usikker. I noen av de hardest rammede anleggene har man vært nødt til å behandle med antibiotika.

### *Rhodococcus erythropolis*-infeksjon

I november 2000, ca. 1 måned etter utsett i sjø, ble det konstatert dødelighet i et lakseanlegg i Hordaland. I februar var den samlede dødeligheten, med noen innslag av vintersår, på 23 %. Typiske sykdomsfunn var blødninger og bukhinnebetennelse. Ved dyrking ble det funnet renkultur av *Rhodococcus erythropolis*. Fisken ble behandlet med antibakterielle midler, og dødeligheten falt dramatisk. Bakterien er etter hvert blitt isolert ved fem sykdomsutbrudd både i ferskvann og sjø, alle på laks – ett i Rogaland, ett i Hordaland, to i Sogn og Fjordane og ett i Trøndelag. Den er også beskrevet fra lakseoppdrett i Skottland. Utredninger er underveis for å kartlegge sykdomspotensial og infeksjonsutvikling.

## ANDRE BAKTERIESYKDOMMER

Klassiske bakteriesykdommer som furunkulose, vibriose og kaldtvannsvibriose synes å være under meget god kontroll, takket være effektive vaksiner. Det er således bare registrert ett utbrudd av klassisk furunkulose. Dette gjaldt et sjøanlegg i Hordaland med høstutsatte 0-åringer 2002. Fisken var vaksinert. Vibriose ble registrert hos regnbueørret i et settefiskanlegg med sjøvannsinntak. Bakteriell nyresyke (BKD) er funnet hos voksen laks i Sogn og Fjordane, og *Yersinia ruckeri*-infeksjon i to anlegg i Nord-Norge og ett i Trøndelag. Det er også en påvisning på Vestlandet. Det er ikke registrert sykdomsutbrudd forårsaket av atypisk *Aeromonas salmonicida* eller *Vibrio salmonicida*.

Tabell 1 gir en oversikt over registrerte tilfeller av de viktigste bakterie- og virussykdommene de siste årene.

## PARASITTSYKDOMMER

### Lakselus – *Lepeotheirus salmonis*

Denne parasitten skaper fortsatt store problemer for lakse-næringen her til lands, men 2003 sett under ett synes ikke å være av de verste. Imidlertid varierer dette sterkt fra område til område – f.eks. oppgis det at Agder har hatt betydelige plager, mens situasjonen i Møre og Romsdal har vært bedre tidligere år. Denne parasitten er stadig en utfordring både for oppdrett og ville bestander, men det synes klart at man

### Tabell 1

Oversikt over registrerte tilfeller av furunkulose, bakteriell nyresyke (BKD), infeksøs pankreasnekrose (IPN) og infeksøs lakseanemi (ILA) hos laksefisk i perioden 1997–2003. Overview of diagnosed new cases (farms with salmonids) with furunculosis, bacterial kidney disease (BKD), infectious pancreas necrosis (IPN) and infectious salmon anemia (ISA) in the period 1997–2003.

	1997	1998	1999	2000	2001	2002	2003
Furunkulose	4	1	2	6	3	0	2
BKD	15	0	3	3	3	1	1
IPN*						174	178
ILA	6	13	14	23	21	12	8

\*Tall for årene 1997–2001 er utelatt pga. usikkerhet i innrapporteringen. No certain registrations for the years 1997–2001.

har mulighet til å kontrollere problemet ved hjelp av jevnlig overvåking og telling, bruk av leppefisk og antiparasittære midler.

#### Bendelmark – *Eubothrium crassum*

Fra Vestlandet og Trøndelag rapporteres det om dels store mengder av denne parasitten. Mange steder er det gjennomført medikamentell behandling, uten at effekten alltid har vært som forventet. Som forklaring har man sett på flere ting som dosering og utføringsrutiner, men det er også spekulert på om dette kan tyde på utvikling av en viss resistens.

#### Parvicapsula pseudobranchicola

Denne parasitten – en myxosporidie – som ble viet stor oppmerksomhet i fjorårets Havbruksrapport etter fem påvisninger i Troms og Finnmark, er nå observert i flere nye anlegg i disse fylkene, men også i mange anlegg i Trøndelag og to i Møre og Romsdal. Totalt er tallet kommet opp i 30 lokaliteter. Parasitten er funnet både på vår- og høstutsatt smolt, men så langt er det bare rapportert om sykdomsproblemer for høstutsatt smolt. Det er fortsatt store huller i våre kunnskaper om denne nykomlingen, men forskning er i gang for klargjøring av parasittens livssyklus og sykdomspotensial.

#### Andre parasitter

Det er ikke rapportert nye tilfeller av *Gyrodactylus salaris* eller *Spiroplasma birkbeckii* i oppdrett i 2003.

#### ØVRIGE HELSEPROBLEMER

##### Proliferativ gjellebetennelse

Dette er en beskrivelse av sykelige forandringer som kan ha ulike årsaker. Proliferativ gjellebetennelse kan observeres i ferskvannfasen f.eks. i forbindelse med langvarig påvirkning av sur nedbør og aluminium, og i sjøfasen i forbindelse med

parasitter (f.eks. *Costia*-invasjoner). I mange områder av kysten finnes det imidlertid en spesiell form som fortrinnsvis opptrer noen måneder etter utsett i sjø – i august hos vårutsatt smolt – og det er denne varianten som for tiden hyppig oppfattes som et av de store problemene i lakseoppdrett. Sykdommen drar gjerne i langdrag. Ofte blir den påvist i august, for så utvikle seg med toppdødelighet i september–oktober, etterfulgt av reduksjon mot jul. Tap opp mot 60 % er angitt, 15–20 % er ikke uvanlig.

Syk fisk blir gjerne gående motstrøms i overflaten med kraftige gjellelokkbevegelser. Gjellene blir etter hvert grålige og slimete. Ved histologi finner man en uttalt, nesten svulstaktig vekst av gjelleepitelceller, slik at sekundærlamellene blir borte i store felt. I tillegg ser man karskader som sprenge kar, blødninger og tromber, vevsdød og innvandring av betennelsesceller. Man kjenner hittil ikke til noen klar og enhetlig årsak, men i et overveldende antall av disse tilfellene finnes noen små cyster/inklusionslegemer i gjelleepitelet med klamydia- eller rickettsialignende bakterier. Mengden av disse cystene varierer. I begynnelsen av et sykdomsutbrudd, når vevsreaksjonene er relativt små, kan man ofte finne dem i rikelig antall. I kroniske, langt fremskredne stadier kan de derimot være fåtallige og vanskeligere å observere. Betydningen av disse mikrobene i sykdomsutviklingen er uklar. Lignende cyster i gjelleepitelet er nemlig påvist hos mange fiskearter, uten at de er satt i forbindelse med sykdom. I 1995 ble det påvist et virus (Atlantic salmon paramyxovirus) fra syk fisk, og dette er senere også funnet i et fåtall anlegg med gjelleproblemer. Mye tyder på at lidelsen kan ha en komplisert, sammensatt årsak.

Sykdomsforekomsten varierer fra år til år. Over tid synes det som Sør-Vestlandet har hatt de største problemene, men

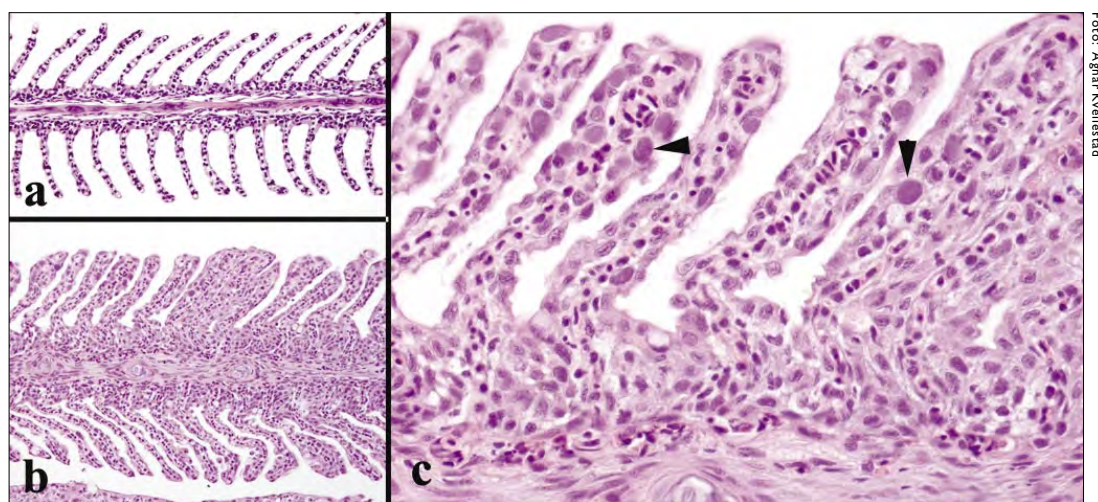


Foto: Agnar Kvallstad

**Figur 2**

Proliferativ gjellebetennelse og epitheliocystis hos sjøutsatt laks. Gjelle fra fisk uten (a) og med (b) påviste sykdomsforandringer. c) Detalj fra b med uttalte sykdomsforandringer: blødninger, fortykkelse og dels sammenvoksning av sekundærlamellene. I dekkcellelaget finnes mange epitheliocyster, dvs. ansamlinger av klamydia- eller rickettsialignende bakterier (pilhoder).

*Proliferative gill inflammation and epitheliocystis in seawater-reared Atlantic salmon. Gill from fish without (a) and with (b) detected pathological changes. A detailed view of b is shown in c, demonstrating extensive changes: Haemorrhages and lamellar thickening resulting partly in the reduction of interlamellar spaces. In the outermost cell layer many epitheliocysts, i.e. colonies of chlamydia- or rickettsia-like bacteria (arrowheads) may be seen.*

i 2003 rapportertes det om store, tapsbringende problemer langs hele kysten fra Agder til Finnmark. Det har vært gjort noen forsøk med å iverksette medikamentell behandling, men resultatene har ikke vært overbevisende.

### Hjerte- og skjelettmuskelbetennelse – HSMB

HSMB ble utførlig omtalt og beskrevet i fjorårets Havbruksrapport, og det foreligger intet spesielt nytt når det gjelder klinisk og patologisk bilde eller årsak. Men det ser ut til at sykdommen hadde et kraftig tilslag og økt utbredelse over det meste av landet i 2003. En del fiskehelsetjenester oppgir denne lidelsen som det største helseproblemet i året som gikk. Tap opp mot 25 % er angitt.

### Cardiomyopatisyndrom – CMS

CMS opptrer først og fremst hos stor fisk, inkludert stamfisk, og blir diagnostisert i anlegg langs hele kysten, men det foreligger ingen offisielle statistikker. Noen fiskehelsetjenester oppgir økt forekomst i forhold til året før – opptil 8 % dødelighet – andre mindre (Sørlandet).

### Katarakt

Katarakt var i mange år et stort problem i norsk fiskeoppdrett. Som i 2002 rapporteres det lite katarakt i 2003, noe som tilskrives bedre førsammensetning. Det er nylig vist at man ved å øke mengden av histidin i fôret, reduserer kataraktproblemene hos laks i sjøfasen.

### Vaksineskader

I flere områder, bl.a. i Agder, Rogaland, deler av Møre og Romsdal og deler av Trøndelag, oppfattes dette som et stort problem. Noen fiskehelsetjenester mener at enkelte vaksiner er verre enn andre, men generelt synes det å være en påtrengende oppgave å få vaksiner med mindre bivirkninger, ikke minst av dyrevelferdshensyn.

### Algeskader

Det er registrert dødelighet på Sørlandet, der det i ett anlegg i mars 2003 gikk ut 180 tonn laks grunnet invasjon av kiselalger av slekten *Chaetoceros*. Det ble også rapportert om betydelige tap i Nordland, Troms og Finnmark.

### Dyreverv og/eller velferd

Både massemediene og allmennheten viser i stigende grad interesse for velferden til de skapninger vi har i vår varetekt. Det gjelder også for oppdrettsfisk, som i dag er våre viktigste husdyr. Det foregår bl.a. en diskusjon om fiskens evne til å oppleve smerte. At den kan stresses er derimot vel dokumentert. Både fiskehelsetjenestene og oppdretterne er opptatt av problemene, og det blir gitt uttrykk for bekymring med hensyn til kroniske sykdommer som vintersår, PD og proliferativ gjellebetennelse. Disse er det påtrengende å finne gode botemidler mot. Også vaksineskader nevnes ofte. Misdannelser både i skjelett, hode og indre organer (hjerte) trekkes fram, og det samme gjør konsekvensene av lange transporter.

### Forbruket av antibiotika og antiparasittmidler

Foreløpige beregninger for 2003 tyder på at forbruket av antibiotika ligger på et lavt nivå. Av antibiotika benyttet i oppdrett av laksefisk, gikk en betydelig del til behandling av vintersår.

## HELSESITUASJONEN FOR VILL LAKSEFISK

### Lakselus

Generelt synes det å være mindre lakselus hos vill laksefisk enn i 2002. Dette er tilfellet for hele strekningen fra Finnmark til Rogaland. Noen steder er det imidlertid ennå mye lus i sjøen, og det blir fortsatt registrert for tidlig tilbakevandring av sjøørret. Hardangerfjorden er i så måte fremdeles et problemområde.

For utvandrende laksesmolt synes situasjonen å være spesielt god, sammenlignet med tidligere år. I enkelte områder, for eksempel i Altafjorden, ble det knapt funnet luselarver på smolten, mens det andre steder i landet, som f.eks. i Trondheimsfjorden, varierte mellom 1 og 15 larver per smolt. Det var generelt vanskeligere å fange smolt med trål i 2003 enn tidligere år. Dette kan skyldes en sen smoltutvandring på grunn av kaldt vann i elvene.

I de senere årene er det lagt ned betydelige midler i å utvikle en vaksine mot lakselus. Arbeidet er inspirert av en nyutviklet, kommersiell flåttvaksine som angriper den blodsugende parasittens fordøyelsessystem. Dette arbeidet må likevel betraktes som sterkt grunnforskningspreget, og de anvendbare resultatene kan ligge langt frem i tid.

### Gyrodactylus salaris

Det ble ikke gjort nye funn av parasitten i elver og oppdrettsanlegg i 2003.

Høsten 2003 ble det gjennomført et forskningsprosjekt i Batnfjordselva (Gjemnes kommune i Møre og Romsdal), der aluminium ble brukt for å fjerne *G. salaris* på ville lakseunger. Prosjektet viste seg å være vellykket. Alle parasitter forsvant fra lakseungene på en fem km lang elvestrekning, uten at det kunne registreres noen merkbar negativ effekt på verken lakseungene eller annet dyreliv i elva. Disse forsøkene vil bli fulgt opp i 2004.

### Andre sykdommer

I noen regioner er det meldt om til dels store problemer med soppinfeksjoner (saprolegniose). I Nidelva, Trondheim, førte dette til stor dødelighet hos stamfisk som ble tatt opp for stryking. I kultiveringsanleggene har de vanligste problemene også i 2003 vært soppinfeksjoner, nefrokalsinose (karakterisert ved osteaktige, kalkholdige avleiringer i nyrene) og finneslitasje.

### TAKK

Rapporten baserer seg på resultater av diagnostisk arbeid utført ved Veterinærinstituttets laboratorier og samtaler med ansatte ved fiskehelsetjenestene utover hele landet. Takk for alle verdifulle innspill og bidrag!

## 1.4

## Moderne lakseproduksjon i merd: Fokus på fiskevelferd og merdmiljø

Gunn Helen Henne og Aud Asheim, Havbruksveterinærtenesta i Gulen/AkvaVet Gulen AS

**Optimalisering av merdmiljøet kan vere ein av dei viktigaste føresetnadene for auka lønsemd i produksjon av laksefisk i sjø. Fokus på dyrevelferd vil stille større krav til dokumentasjon av fisken sitt livsmiljø. Det er hittil gjort lite av systematiske målingar av velferdsindikatorar som oksygennivå i fullskala merdanlegg i sjø. Havbruksveterinærtenesta i Gulen/AkvaVet Gulen AS har sidan 2001 gjennomført profil- og tidsseriemålingar av merdmiljøparametrar på ei rekkje oppdrettslokalitetar. Målingane viser stor variasjon og låge minimumsverdiar for oksygen.**

Merdmiljøet er ein av dei viktigaste variablane i oppdrettsnæringa, og representerer såleis ein stor innverknadsfaktor på fiskehelse, velferd, tilvekst og fôrutnytting. Rasjonalisering i oppdrettsnæringa dei siste åra har medført færre og større einingar, og merdmiljøet har heller blitt dårlegare enn betre pga. slik konsentrasjon. Det minkar etter kvart på tilgjengelege lokalitetar som kan gi gode nok forhold for fisken under slike skjerpa vilkår. Marginane kryp nedover, og ein må optimalisere i alle ledd.

### LØNSAMT Å SATSE MEIR PÅ BIOLOGI OG LOKALITET

Alle innsatsfaktorar i produksjonen av oppdrettsfisk har gjennomgått store forbetringar ettersom kunnskap og forskning har kome lenger: ein har fått betre avlsmateriale, betre fôr, betre vaksinar og betre utstyr. Likevel har kurvane som for nokre år sidan viste ein stadig nedgang i fôrfaktor, auke i tilvekst og betring av helsetilstand, “flata ut” før fullt biologisk produksjonspotensiale er utnytta. Kvifor? Det ligg eit stort uutnytta vekstpotensial i forhold til biologisk optimalisering, men slik situasjonen er i dag er det for lite fokus på biologisk kunnskap ute blant økonomane som styrer næringa.

Settefiskanlegga har i lengre tid jobba målmedvite med vasskvalitet og vassmiljø, og har opparbeidd seg mykje kunnskap om kva dette har å seie for suksess i produksjonen. Matfiskanlegga har derimot i mindre grad fokusert nok på at produksjonen på eit oppdrettsanlegg er avhengig av den generelle miljøkvaliteten på lokaliteten, og spesielt miljøet der fisken faktisk oppheld seg – i merden. Generell vasskvalitet på ein lokalitet er bestemt av området han ligg i og av naturgitte tilhøve som ikkje er så lett å få gjort noko med, så som temperatur, saltinnhald, oppvelling, straumtilhøve, botntopografi, området si resipientevne, skjermingsgrad frå vind og bølger, o.a. Dersom driftsgrunnlaget ikkje er godt nok, bør det kanskje ikkje ligge eit anlegg der i det heile.

Miljøet i merden er i tillegg bestemt av faktorar som påverkar vassutskiftinga gjennom merden: anlegget si plassering i høve til hovudstraumretning og skjerming på lokaliteten, anleggstype (kompakte bur eller spreidde ringar), fisketettleik i merden, begroing på nøter, m.m. Alt dette er faktorar som ein kan endre på – men etter at anlegget er fortøydd, skal det i praksis mykje til før ein vel å endre på anleggstype, plassering og/eller orientering. Altså må ein bli flinkare til å ta omsyn til dette før anlegget er på plass. I dag er mange anlegg ikkje godt nok tilpassa forholda på lokaliteten, og har stort rom for optimalisering. Forbetringstiltak vil raskt vise seg lønsame gjennom forbetra produksjonstal.

### FISKEVELFERD I FOKUS

Både nasjonalt og internasjonalt har det blitt sett stadig meir fokus på dyrevelferd. Nytt regelverk er også i emning. Oppdrettsfisk er det mest talrike husdyret vi har i Noreg, men veit vi eigentleg om fisken har det bra? Dersom oppdrettsmiljøet over tid ikkje er tilfredsstillande og stettar fisken sine behov, vert fisken utsett for eit kronisk stress som får innverknad på tilvekst og motstandsevne mot sjukdom. Difor er det også i oppdretteren si eiga interesse å syte for at fisken har det godt.

Oksygen er ein av fleire indikatorar på merdmiljøet sin kvalitet. Fisken må til ei kvar tid ha eit tilstrekkeleg oksygennivå i vatnet for å “puste”. Oksygenforbruket til fisken er størst i meir aktive periodar (fôring, stress), og når fôret vert fordøydd (nokre timar etter fôring). Dersom slike periodar fell saman med periodar med låg vassutskifting gjennom merden, kan oksygentilgangen bli for liten. Kva skjer då med fordøyinga av fôret? Fôrutnyttinga? Fôrfaktoren? Fiskehelsa? Og ikkje minst fiskevelferda?

### OKSYGENMINIMUM SOM PRODUKSJONSAVGRENSING

I forslag til nytt regelverk om dyrevelferd for oppdrettsfisk er oksygennivå diskutert som ein velferdsindikator. Det er foreslått endring i regelverket for produksjonsavgrensing, der tettleiksavgrensingar kanskje skal erstattast av blant anna ein minimum oksygen grenseverdi (mengde oppløyst oksygen i vatnet, eller mettingsgrad). Endeleg grenseverdi er ikkje fastsett, men ein kan tenkje seg at forskriftene vil harmoniserast mot Europarådets forslag om 6 mg/l. Det er ikkje klart om dette skal vere ei absolutt minimumsgrense, eller om ein skal operere med noko form for gjennomsnittsverdi, kva djupn ein skal måle på, eller kor ofte og kor omfattande det skal målast. Det vert hevda at det finst god dokumenta-

sjon som legg grunnlag for fastsetjing av nivået til ein slik grenseverdi.

Etter vår erfaring er det så store variasjonar i oksygenivå i eit oppdrettsanlegg at vi ikkje kan sjå at det skal kunne vere mulig å sette fornuftige grenseverdiar ut frå dei målingar som finst i dag. Ein stor del av eksisterande data for oksygenivå i oppdrett i sjøvattn er framskaffa under kontrollerte forhold i kar, og desse vil ikkje vere direkte samanliknbare med dei sterkt varierende forholda i felt.

### FAKTISKE MILJØFORHOLD I MERDANE

Havbruksveterinærtenesta i Gulen/AkvaVet Gulen AS har dei siste åra gjennomført profil- og tidsseriemålingar av merdmiljøparametrane straum, oksygen, temperatur og saltinnhald på ei rekkje oppdrettslokalitetar spreidde i vårt virkeområde (hovudsakeleg i kommunane Gulen, Solund og Masfjorden i Sogn og Fjordane/Hordaland). Ut frå våre resultat kan vi slå fast at oksygeninnhaldet kan variere sterkt frå lokalitet til

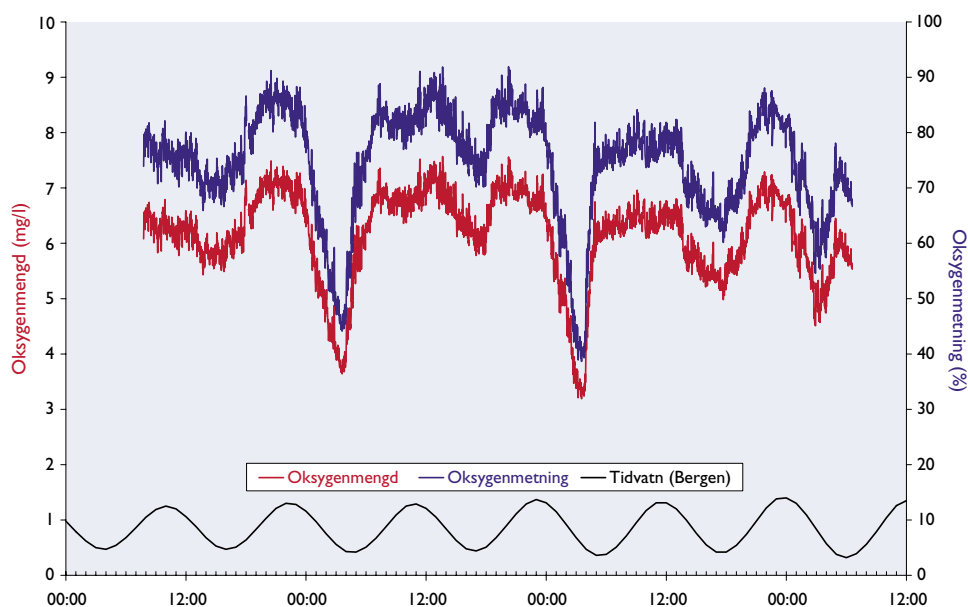
lokalitet, men også mykje mellom merdar i same anlegg, frå dag til dag, gjennom døgnet og med djupet.

### KORTSIKTIG LAVE OKSYGENVERDIAR

Oksygenmengda i merdane kan forbrukast raskt i periodar med lite straum (straumsnu) og lite primærproduksjon (nattestid). Oksygendropp skjer stadig i merden (Figur 1), men oksygenmengda minkar også i meir upåverka vatn utanfor anlegget som følgje av andre organismar sitt oksygenbehov – det “friske, oksygenrike” vatnet som vert tilført anlegget har tidvis lågare oksygeninnhald. I periodar med høg vassstemperatur om hausten kan dette bli kritisk for fisken, ettersom oksygenet også vert mindre løyeseleg i vatnet når temperaturen aukar, og den tilgjengelege oksygenmengda i vatnet dermed minkar. Vi har ved fleire høve målt oksygenivå under 4 mg/l og/eller under 50 % metting i merdar ved 7-10 m djupn, og heile to tredjedelar av måleseriane våre for 2002 hadde minimumsregistreringar under 6 mg/l (Figur 2).

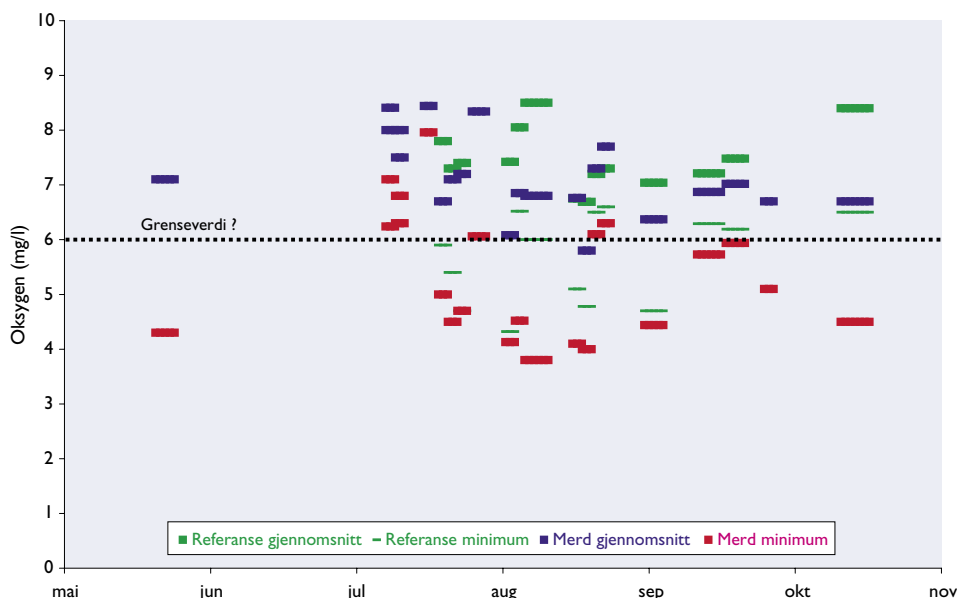
**Figur 1**

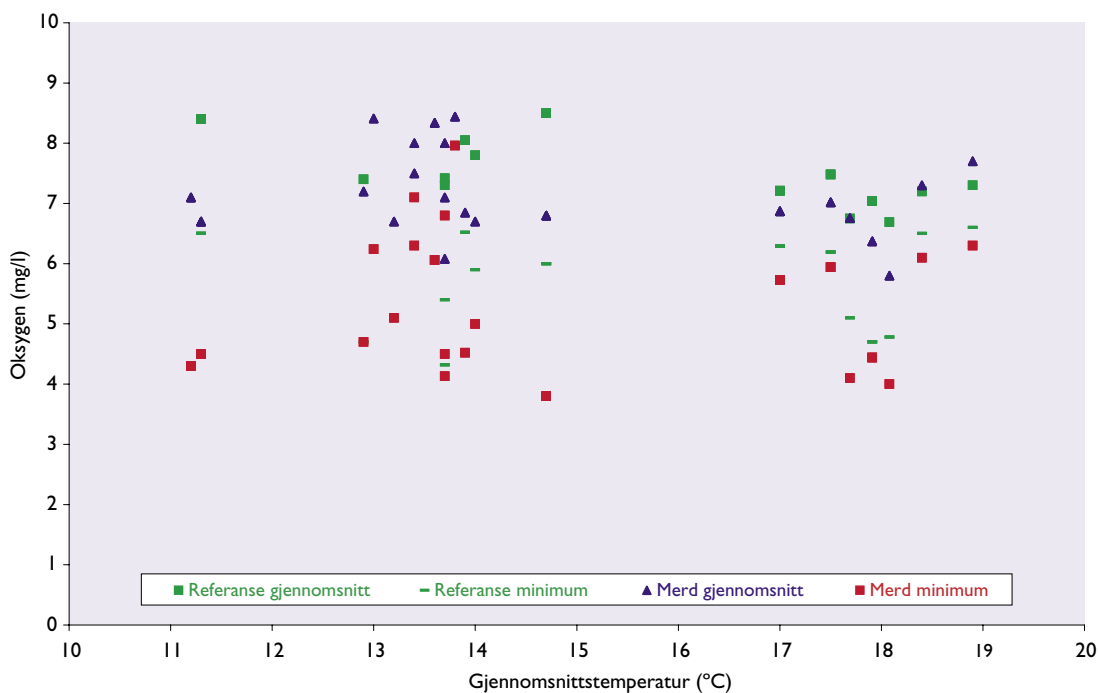
Døgnvariasjon i oksygenivå på 6 m djupn i ein merd. Temperaturen var ca. 15 °C og saltgehalten ca. 31 i måleperioden på tre dagar (august 2001). Oksygenivå under 3,5 mg/l er potensielt dødeleg for laksefisk. Tidvatnsyklus for Bergen er vist nedst. *Daily oxygen fluctuations in a fish cage at 6 m depth. The temperature was 15 °C and the salinity was 31 during the 3-day measurement (August 2001). Oxygen levels below 3.5 mg/l are potentially lethal to salmonids. Tidal cycle for Bergen is shown at bottom.*



**Figur 2**

Minimum og gjennomsnittleg oksygenmengde i merdar og ved referansepunkt i nærleiken av anlegget på sju oppdrettslokalitetar i kommunane Gulen, Solund og Masfjorden sommar og haust 2002, i forhold til foreslått grenseverdi på 6 mg/l. Det er fleire tidsseriar frå kvar lokalitet, totalt 22 måleseriar. Referansemålingane er tatt i kort avstand til anlegget, og er difor ikkje heilt upåverka av anlegget. *Minimum and average oxygen levels in fish cages and at reference point nearby the fish farm at seven farm sites in Gulen, Solund and Masfjorden municipalities during summer and autumn 2002, compared to a proposed limit value of 6 mg/l. There are several time series from each site, constituting a total of 22 series. The reference measurements are close to cages and are not completely unaffected by the cages.*





**Figur 3**  
Minimum og gjennomsnittleg oksygenivå som funksjon av gjennomsnittleg temperatur i kvar måleperiode på sju oppdrettslokalitetar sommar og haust 2002. Det er fleire tidsseriar frå kvar lokalitet.  
*Minimum and average oxygen levels as a function of average temperature at seven fish farm sites during summer and autumn 2002. There are several time series from each site.*

Sjølv om det normalt er ein negativ samanheng mellom aukande temperatur og oksygenmengd, er det ikkje berre ved høg temperatur at ein finn låge oksygenivå i vatnet. Vi har registrert dårlege tilhøve i enkeltmerdar gjennom heile sommar-/haustsesongen 2002, og då ved sjøtemperaturar mellom 11-19 °C (Figur 3) kor ein ikkje kunne sjå ein klar samanheng mellom oksygenmengd og temperatur. Målet med registreringane var å dokumentere dei dårlegaste forholda i anlegget. Vi har difor bevisst gått inn for å måle på dei truleg verste stadene i anlegga (størst oksygenforbruk/høgast biomasse, minst gunstig plass med omsyn til hovudstraumretning/vassutskifting).

#### VARIERANDE MILJØFORHOLD I DJUPN OG TID

Oksygenmengda i vatnet kan også variere mykje ned gjennom vassøyla (Figur 4 a-d). Spesielt i området rundt sprangsjiktet (kraftig gradient for saltinnhald og temperatur) kan det vere stor endring i oksygenivå. Profilmålingar i og utanfor merdar i sommar- og haustmånadane kan vise høgare oksygeninnhald over sprangsjiktet enn under, lågare over enn under, eller om lag same verdiar over og under, men lågare oksygenivå i sjølve sprangsjiktet. Sprangsjiktet kan vere tjukt eller tynt, og kan ligge på ulike djupner i ulike område. "Sjiktgrensene" kan også flytte seg litt opp og ned over tid (gjennom døgnnet, men også ei meir gradvis endring mot grunnare delar av vassøyla utover sommaren).

#### KVA KOSTAR DET NÆRINGA?

Oppdrettsnæringa treng meir kunnskap om kva det har å seie for fisken dersom ikkje merdmiljøet er optimalt, for å kunne vurdere økonomisk gevinst (kost/nytte) av å gje fisken best mogelege forhold. Kor mykje vil ein til dømes tape i tilvekt og førfaktor på gjentekne, men kortvarige, oksygendropp kvar natt over ein kortare eller lengre periode? Eller fleire gonger per døgn? Nok til at det kan løne seg å tilsette oksygen?

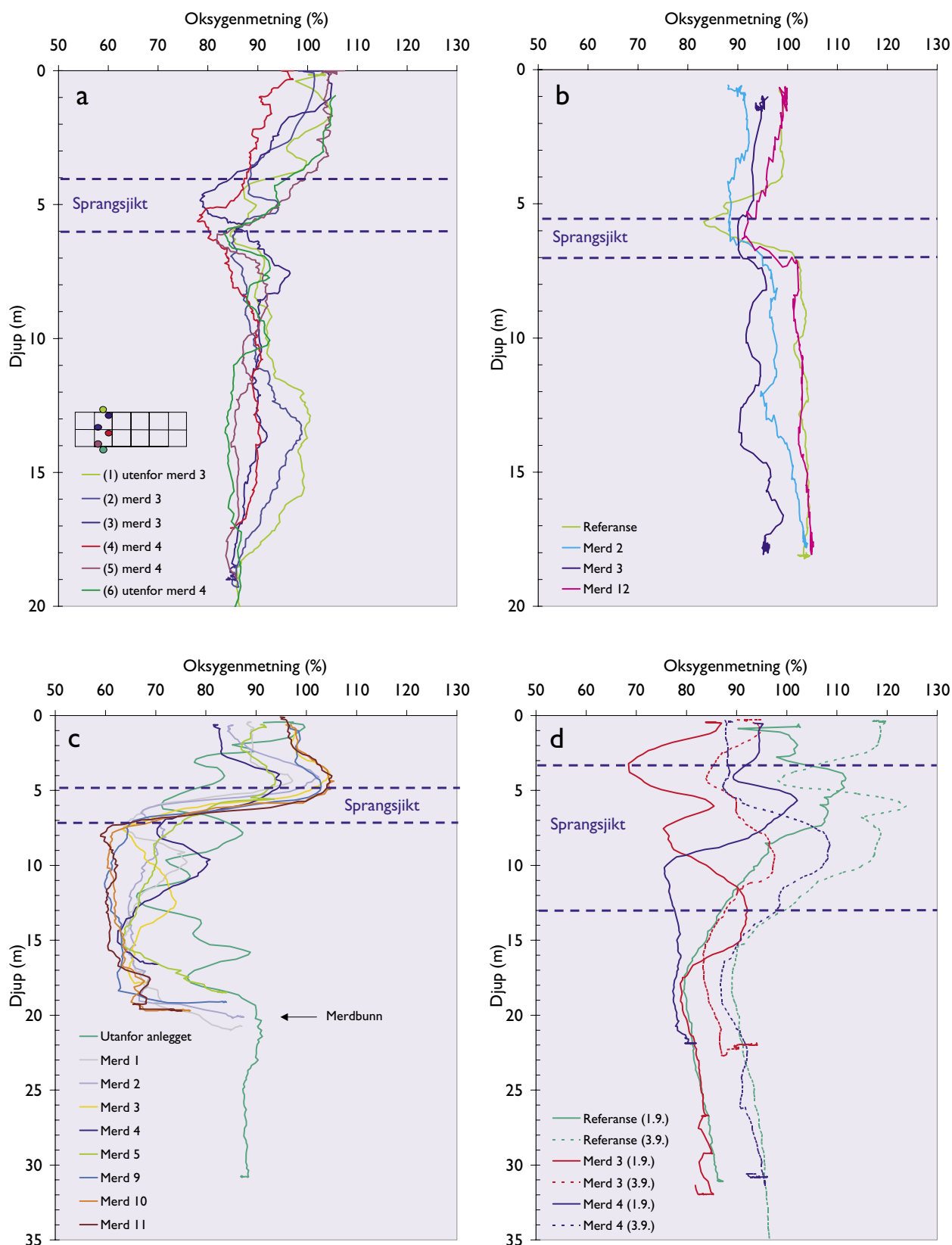
Vil forbrukarane tolerere ein produksjon som ikkje kan garantere at fisken ikkje har levd på kvelingsgrensa? Kva har eit ikkje-optimalt merdmiljø å seie for helsetilstanden til fisken og korleis ein sjukdom utviklar seg? Kan enkelte sjukdomstilstandar knytast til for dårleg merdmiljø? Og korleis ser eigentleg den "normale" variasjonen i oksygenivå gjennom året i kyst- og fjordområda våre ut? Rekkja av spørsmål som så langt ikkje har gode svar, er lang.

#### STORPROSJEKT UNDER PLANLEGGING

Havbruksveterinærtenesta i Gulen/AkvaVet Gulen AS vil vere med på å gjere noko med dette. Prosjektet "Miljø i merd 2004–2006" er planlagt som eit samarbeid mellom Havbruksveterinærtenesta i Gulen/AkvaVet Gulen AS og ei rekkje andre aktørar. Vi ønskjer å følgje opp parametarar for helse og dyrevelferd, samstundes som vi registrerer ulike merdmiljøparametar. Miljømålingane vil bli utført i mange anlegg etter ein standardisert mal i sommar-/haustsesongen, og eventuelt i eit stort kommersielt anlegg gjennom eit heilt år. Prosjektet vil vonleg auke medvitet rundt optimal drift ut frå føresetnadene til kvar enkelt lokalitet. Vi håpar og trur at det både vil ha god innverknad på miljøet rundt oppdrettslokalitetane og ein positiv helsegevinst, med mindre behov for medisinerings.

Vi meiner at det er i heile næringa si interesse å få framskaffa ny kunnskap på dette området, slik at ein får bygd opp kompetanse og kan leggje til rette for aktiv rådgjeving overfor oppdrettarane. Det er òg viktig å utvikle standardiserte metodar for å dokumentere merdmiljøet, og innhente referanseverdiar som kan tene som grunnlag for å gje råd om optimaliserings-tiltak – til beste for både fisken og oppdrettsnæringa sjølv.





**Figur 4 a–d**

Eksempel på profilmålingar: a) viser forskjellar i oksygenivå for seks målepunkt på tvers gjennom eit kompaktanlegg (gjennom to merdar), b) og c) viser forskjellar i oksygenivå gjennom sprangsjiktet, d) viser målingar frå same anlegg med to dagars mellomrom. Måleseriene er tatt i: a - juli, b - juli, c - august og d - september. Målingane er ikkje nødvendigvis tatt til same tid i tidvatnsyklusen.

Examples of profile measurements: a) shows differences in oxygen levels for six profiles through two fish cages at a compact fish farm, b) and c) show differences in oxygen levels through the thermocline/halocline, d) shows measurements at the same fish farm spaced by two days. The measurements in figs. a–d are from July, July, August and September, respectively. The measurements are not necessarily taken during the same part of the tidal cycle.

## 1.5

## Røye – liten fisk kan bli “stor” mat

Bjørn-Steinar Sæther, Sten I. Siikavuopio og Arne Mikal Arnesen, Fiskeriforskning

En vill og vakker fisk, men for liten til å kunne spises, kan vokse seg til god og eksklusiv mat. I et vann i den nordnorske fjellheimen lokkes tusenvis av røye inn i rusler. I løpet av få måneder vil de vokse seg store i Norges første oppdrettsanlegg for villfanget røye. Resultatet blir attraktiv mat i fiskedisker og på restauranter. Dette er grunnlaget for etableringen av VillmarksFisk AS, et oppdrettsanlegg langt inne i landet, omgitt av landbruk, skog og fjell.

I Norge har oppdrett av røye i sjø pågått i flere år, men innfangning og produksjon av røye fra ferskvann er noe helt nytt. Fiskeriforskning har gjennom de siste år samarbeidet tett med VillmarksFisk AS (Figur 1) om utviklingen av et nytt produksjonskonsept for røye i Bardu kommune.

#### INNFANGING OG OPPFØRING

Konseptet går i korthet ut på å fange inn små røye fra “overbefolkede” røyevann, og føre disse opp i et kommersielt oppdrettsanlegg. Dette synes å være en gunstig måte å utnytte en ressurs på som ellers kan være et problem. Beliggenheten til anlegget gjør at det stilles strenge krav til rensing av avløpsvannet. VillmarksFisk har derfor bygget opp et moderne anlegg basert på resirkulering av vannet. Dette reduserer vannforbruket, samtidig som kostnader til oppvarming holdes nede.

Oppdrett av innlandsfisk kan bli en ny, norsk næringsvei, og Fiskeriforskning arbeider her på flere fronter. Flere arter er aktuelle, det arbeides med både sik og abbor, men røye synes



Foto: Bjørn-Steinar Sæther

**Figur 1**

VillmarksFisk AS i Bardu. Villfanget fisk fra Altevann endres her fra å være liten og mager, med vekt på 20–100 g, til et verdifullt kvalitetsprodukt på 450–700 g i løpet av få måneder.

VillmarksFisk AS in Bardu, northern Norway. Wild caught Arctic charr from the lake Altevann is grown from a tiny, slim fish of 20–100 g to a valuable quality product of 450–750 g in a few months.

å ha det største potensialet per i dag. Oppdrett i innlandet stiller andre krav til utstyr og teknologi, en viktig utfordring ligger i å begrense utslippene. Resirkulering av vannet er derfor en aktuell driftsform, og erfaringer fra inn- og utland viser at røye synes spesielt godt egnet for produksjon i slike anlegg. Røye spiser og vokser godt ved høye tettheter, og god utnyttelse av produksjonsfasilitetene er viktig siden investeringene kan bli betydelige.

#### OPPDRETT AV RØYE – STABIL, MEN LAV PRODUKSJON

Produksjonen av røye i Norge har vært stabil like i overkant av 300 tonn per år de senere årene. Markedet svinger noe med produksjonen i andre land, men prisen har i vesentlig grad ligget stabil og betydelig høyere enn for laks og ørret. Produksjonskostnadene gjør det nødvendig med høyere pris. Til forskjell fra land med større produksjon (Finland, Sverige og Island), har det i Norge vokst frem en produksjonsstrategi med mange og små produsenter. En slik strategi kan være gunstig for produsenter som ønsker et ekstra økonomisk bein å stå på, eksempelvis bønder som har et “røyefjøs” med en produksjon på 5–20 tonn i året. Disse er godt egnet til produksjon for lokale markeder, eller spesielle produkter (f.eks. rakfisk). For å levere til større internasjonale markeder er det imidlertid nødvendig med større volum og stabile leveranser gjennom året. Bare en produsent her til lands kan sies å ha en slik posisjon. Til gjengjeld har de rimelig stabil avkastning på produksjonen, til priser som i 2003 lå på kr. 45,- og over per kilo (avhengig av størrelse).

Island har valgt en annen strategi. De har noen få store produsenter, hvorav den største enkeltprodusenten forventes å passere 1 200 tonn i 2003, mens landets totale produksjon er rundt ti ganger den norske (ca. 3 000 tonn). Island satses på produksjon av større fisk, over 900 g, og selger mye på det amerikanske markedet, som hovedsakelig er sentrert i Boston-området. Større volum og større fisk gjør det mulig å produsere røye billigere enn hva man gjør her til lands.

De største røyeprodusentene finner man i Europa, men også Canada har røye i oppdrett og var forventet å passere 1 000 tonn i 2003. Det er vanskelig å finne sikre tall på verdensproduksjonen av røye, men det synes klart at den er økende. Et estimat gjort i 2002, basert bl.a. på antall konsesjoner, tilsa en produksjon på 12 000 tonn i 2005. Dette innebar en vekst i produksjonen som da syntes realistisk, men som så langt bare Island ligger an til å nå.

## SATSING PÅ AVL OG MARKEDSARBEID

Både Island og Sverige har satsset på avlsprogrammer for røye. På Island har dette foregått de ti siste årene. De rapporterer om en generell høy arvbarhet på egenskaper som vekst, kjønnsmodning og fettinnhold. Ved avl kan de oppnå en økning i vekstrate på 4,5 % per år uten at fettinnholdet økes, samtidig som andelen kjønnsmoden fisk ved slaktning reduseres. Tall fra Sverige tyder også på en betydelig gevinst ved avl på røye for oppdrett.

Her i landet har Eksportutvalget for fisk relativt nylig gjennomført et toårig prosjekt hvor de engasjerte seg i markedsarbeidet for røye. Dette har gitt økt kunnskap om markedet; konsumenten, potensialet og markedsføringsstrategier. Utfordringen ligger nå i å bevare røyas posisjon som eksklusiv vare i et godt betalende marked. "Arktisk meny", som er et nettverk av serveringsbedrifter med mål å benytte nordnorske råvarer og produkter, benytter røye i flere av sine matretter. Dette er et flott utstillingsvindu for røye som produkt, og mange får her muligheten til å stifte kulinarisk bekjentskap med røye i en setting denne fortreffelige fisken fortjener.

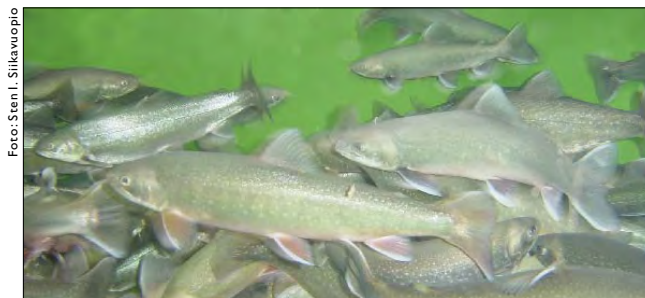
## FORSKNING – OGSÅ INTERESSANT SOM MODELLFISK

På forskningsfronten skjer det fortsatt en del nytt med hensyn til røye, men de senere år er røye mye brukt som en modell for studier av generelle fenomener fremfor studier med spesiell fokus på arten. Marianne Frantzen ved Norges fiskerihøgskole, Universitetet i Tromsø, tok i sin doktorgradsavhandling for seg kontroll av reproduksjon hos laksefisk basert på studier av sjørøye. Hun har kartlagt hvilke kjønnsormoner det er som styrer utviklingen av egg og sperm hos røye, og tatt for seg når på året de ulike fasene av utviklingen finner sted. Videre har hun studert hvordan indre og ytre faktorer, som energistatus og endring i daglengde, påvirker reproduksjonsutviklingen. Resultatene viser at røya er særdeles godt tilpasset de store svingningene i klima, lys og mattilgang som er karakteristisk for det arktiske miljøet, blant annet ved at den kan gå i opptil ni måneder uten mat og likevel reproducere.

Fekunditeten kommende høst bestemmes på et seinere tidspunkt enn hos annen laksefisk. Hos laks er energetisk status i mars-mai avgjørende, mens røye synes å ta avgjørelsen først når den returnerer fra sjøvannsoppholdet, bare to-tre måneder før gyting. Daglengden er den viktigste faktoren som bestemmer når kjønnsmodningen skal starte, og tidspunktet for selve gytingen. Innen oppdrett kan kontrollert endring av daglengde benyttes til å produsere yngel hele året, uavhengig av den naturlige gytesesongen til røya.

## VIKTIG RANGORDNING

Ved Fiskeriforskning har vi studert såkalt sosiale interaksjoner hos røye. Sammenhengen mellom aggressiv adferd og dannelsen av hierarkier er undersøkt gjennom detaljerte observasjoner av individuell adferd kombinert med fysiologiske parametere (som modningsstatus, kortisol og monoaminer). Resultatene viser at sosial rang i en gruppe har stor betydning for enkeltindivider, blant annet ved at fisk høyt oppe i hierarkiet unngår skader og er langt mer aggressiv enn



**Figur 2**

Hammerfestrøye på Havbrukstasjonen i Tromsø.

*Arctic char of the Hammerfest strain at the research station in Tromsø.*

fisk med lavere rang. Tilgangen til mat er også sterkt regulert gjennom rangordningen.

Lav sosial rang utgjør med andre ord et betydelig stress for fisken, og dette medfører en energetisk kostnad ut over redusert tilgang på mat. Studiene har også vist at aggressiv adferd kan ha forskjellig årsak. Suboptimale oppdrettsbetingelser kan forklare en del av aggresjonen, og forbedring av betingelsene kan ofte redusere aggresjonen. Kjønnsmoden fisk synes imidlertid å øke aggresjonen uavhengig av oppdrettsbetingelser, og denne adferden er derfor vanskeligere å endre.

## CHARNET – NETTVERK FOR RØYE

En skotsk røyeoppdretter har initiert og koordinerer et Internett-basert europeisk nettverk for røyeinteresserte – charnet ([www.charnet.org](http://www.charnet.org)). Nettverket ønsker å favne vidt blant røyeinteresserte, og tar mål av seg til å bli den viktigste røyeportalen på Internett. Ved siden av generell informasjon om røye, vil man her få tilgang til informasjon for spesielt interesserte. Blant annet tema fra oppdrett, konservering av ville bestander, sportsfiske og matoppskrifter med røye som hovedingrediens. Tilgangen til det meste av informasjonen er begrenset til medlemmer. Imidlertid er medlemskap gratis, og krever bare at man registrerer seg på nettstedet. Nettstedet er såkalt paneuropeisk, med prosjektdeltakere fra Skottland, Norge, Island, Sverige, Østerrike, Frankrike og Finland, og med nasjonale sider for hvert deltakerland.

## 1.6

## Ryggradsutvikling og deformasjoner i ryggøylen hos oppdrettsfisk

Anna Wargelius, Per Gunnar Fjellidal, Ulla Nordgarden, Arne Berg og Tom Hansen, Havforskningsinstituttet

Inntil nylig har forskningen på norske oppdrettsarter i hovedsak dreid seg om å redusere produksjonskostnader og øke kvaliteten på sluttproduktene. I den senere tid har imidlertid dyrevelferd generelt fått økt oppmerksomhet både nasjonalt og internasjonalt, og er nå i ferd med å bli inkludert i et utvidet kvalitetsbegrep. Konsumenten skal ikke bare kunne føle seg trygg på at matvarene som tilbys er sikre, sunne og velsmakende, men også på at dyrene de stammer fra har hatt det godt. Havforskningsinstituttet har de siste årene valgt å sette fokus på produksjonslidelser i akvakultur. Det finnes mange av dem, og de kan gi store konsekvenser både for fisken selv og for økonomien til den enkelte oppdretter. Flere av lidelsene er knyttet til feilutvikling eller deformasjoner i skjelettet hos oppdrettsfisk. Nå har forskere avdekket ny viten om smoltifiseringens betydning for utviklingen av virveløylen hos laks, og om effekten av høy temperatur i kritiske stadier. Fortsatt gjenstår det imidlertid å finne svar på mange viktige spørsmål.

Kunnskapen omkring skjelettet hos fisk er meget begrenset, og mye av den kommer fra studier på zebrafisk. Havforskningsinstituttet har derfor i de senere år økt satsingen på forskning og kunnskap omkring skjelettet i våre vanligste oppdrettsarter. Arbeidet skjer i samarbeid med AKVA-FORSK, NIFES og universitetene i Bergen, Göteborg og Wageningen.

### SKJELETTDEFORMASJONER

Omfanget av deformasjoner er vanskelig å angi. Årsak til nedklassing på slaktelinjen ble i 1994 undersøkt i 100 slaktegrupper i Hordaland. Andelen fisk som ble nedklassifisert på grunn av ryggedeformasjoner lå rundt 3 %, men varierte fra 0–20 %. Hvis dette er representativt for Norge i dag, vil det si at det årlig slaktes ca. 6 millioner deformerte fisk.

De mest iøynefallende deformasjonene på stor fisk finner vi i virveløylen. Disse gir gjerne betydelige endringer i kroppsform slik som pukkel, krumninger eller forkortinger. Den mest gjenkjennelige formen for ryggedeformasjoner finner vi i “korthalene”. Dette er fisk med sammenvokste og/eller forkortede virvler i haleregionen.

Ulike typer av deformasjoner kan ha ulike årsaker, og kan påvirkes og utvikles i ulike livsfaser. Vi snakker derfor ikke om et problem med én løsning, men om ulike typer deformasjoner, med mange årsaker. Problemet er størst i lakse-næringen fordi det er her produksjonsvolumet er størst, men

deformasjoner er til stede i alle typer oppdrett. Etter hvert som volumet øker for marine arter og nye arter kommer inn i bildet, vil man trolig også få økt oppmerksomhet omkring skjelettdeformasjoner hos disse artene.

### HVA GJØR HAVFORSKNINGSINSTITUTTET?

Produksjonslidelser er et satsingsområde ved Havforskningsinstituttet. For å kunne finne løsninger som kan redusere problemene med deformasjoner, arbeides det nå på mange områder. Forskning trengs for å forstå hva som forårsaker deformasjoner, når og hvordan de oppstår og hvilke mekanismer som styrer skjelettutviklingen hos fisk.

En deformitet kan skyldes én enkeltfaktor eller en kombinasjon av flere samvirkende faktorer. Den kan også dannes ved ulike livsstadier. Det trengs derfor et bredt spekter av metoder for å kartlegge årsaksforhold, og for å kunne foreslå tiltak som vil gjøre det mulig for oppdrettsnæringen å unngå deformasjoner.

Eksperimentelt har det så langt vært arbeidet med å kartlegge følgende årsaksforhold;

- Temperatur
- Vekstrate
- Vaksinerings
- Vannkvalitet og oppdrettsmiljø

Metoder for å undersøke deformasjoner er bl.a.:

- Registrering av ulike typer synlige deformasjoner
- Genteknologi for å undersøke hvilke gener som uttrykkes
- Histologi og helpreparat for å studere forandringer i vev
- Røntgen for å studere vekst og utseende på ryggvirvler
- Kjemiske analyser for beinsammensetning og hormonanalyser
- Tekstur for å måle beinstyrke
- Vekst og kondisjon

Nedenfor er en kort gjennomgang av noen av de nyeste resultatene fra Havforskningsinstituttets forskning på området. Resultatene kommer fra det strategiske instituttprogrammet “Fast growth and welfare in Atlantic salmon and rainbow trout”. Dette er et femårig program som har finansiering fra Norges forskningsråd, og hvor AKVAFORSK er med som hovedsamarbeidspartner.

## TIDLIG RYGGGRADSUTVIKLING HOS LAKS

Kunnskapen om hva som skjer under dannelsen og senere under veksten av ryggraden hos laks er meget begrenset. Den eksisterende kunnskapen kommer fra modellstudier på zebrafisk, mus og kylling. I disse organismene har man sett at virvelsøylen dannes fra grupper av celler langs ryggstrengen (notochorden) som kalles sklerotomale (skjelettdannende) celler. Det er påvist at disse skjelettdannende cellene først dannes under ryggstrengen, for så å vokse rundt ryggstrengen hvor de sammen danner selve ryggraden hos organismen.

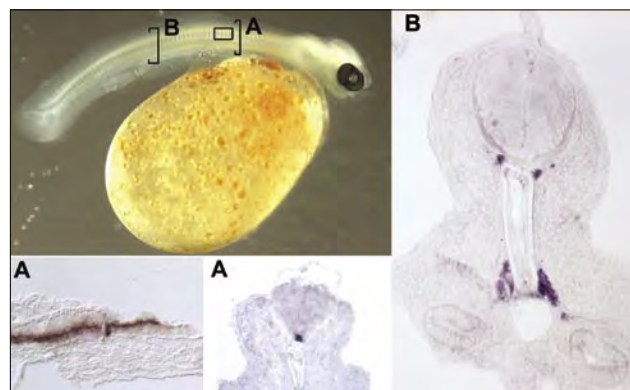
Man tror at disse skjelettdannende cellene induseres, defineres og bestemmes gjennom eksterne og interne signaler. Et av disse interne signalene kalles “*Twist*” og er en såkalt transkripsjonsfaktor, det vil si en faktor som binder seg til DNA og som initierer eller hindrer genuttrykk. Funksjonelle studier i mus har vist at *Twist* blant annet hindrer det muskelspesifikke programmet i de skjelettdannende cellene. Man tror dette gjør at cellene beholder sin evne til å svare på det skjelettspesifikke programmet. For å undersøke om laks også har skjelettdannende celler, klonet vi *Twist* hos laks. På øyerognstadiet fant vi genuttrykk av *Twist* i celler som omgir ryggstrengen (Figur 1). Dette genuttrykket stemmer bra med det som tidligere er vist i zebrafisk; med andre ord har vi påvist skjelettdannende celler hos laks.

Skjelettdannende celler påvirkes også av eksterne faktorer. Dette er stoffer som skilles ut i andre celler, og som vandrer gjennom vevet fram til de cellene de skal påvirke. En slik eksternt faktor som vi vet påvirker de skjelettdannende cellene er “Sonic hedgehog” (*Shh*). Mus som mangler *Shh* utvikler ikke skjelettdannende celler og mangler ryggrad. I Figur 1 vises genuttrykket av *Shh* på øyerognstadiet hos laks. Dette uttrykket stemmer godt overens med det som tidligere er vist i zebrafisk.

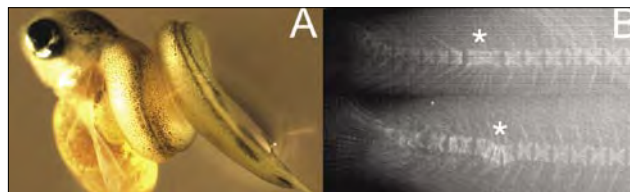
## EFFEKTER AV HØY TEMPERATUR

Høy temperatur under egginkuberingen fører til deformiteter hos fisk. Vi ville undersøke om stress på grunn av høy temperatur tidlig i utviklingen skadet ryggradsdannelsen hos laks. Man vet at de skjelettdannende cellene dannes tidlig i utviklingen. Hos laks kan disse cellene påvises allerede 50 døgngrader etter befruktning (etter dannelsen av de tre kimlagene i embryoet). På dette stadiet overførte vi lakseegg fra 6 til 12 °C, og holdt dem der i 24 timer, før de igjen ble satt tilbake på 6 °C.

Deretter tok vi prøver for å se hva som skjedde med genuttrykket til *Twist* og *Shh*. Vi fant ingen endring i uttrykket av *Twist* etter varmebehandlingen, mens det derimot var klare indikasjoner på at *Shh* reduseres. 40 % av plommesekkyngelen som kom fra egg som hadde vært varmebehandlet var deformert, og ved ni måneders alder hadde ca. 30 % sammenvokste ryggvirvler i den bakre del av ryggstøylene (Figur 2 B). Ved startfôring hadde om lag 20 % av individene som var blitt gitt varmebehandling utviklet så alvorlige deformasjoner at de ble avlivet (Figur 2 A). Disse resultatene viser at ryggradsdannelsen er en meget stressfølsom prosess. I det videre arbeidet vil vi studere hva som skjer med genuttrykket på andre kritiske stadier i laksens utvikling.



**Figur 1**  
Genuttrykk av *Twist* (B) og *Shh* (A) på øyerognstadiet hos laks. Bildet illustrerer hvor tverrsnittet (*Twist*-uttrykket) og lengdesnittet (*Shh*-uttrykket) er gjort på fisken.  
*Gene-expression of Twist (B) and Shh (A) at eye-pigmentation in salmon embryos.*



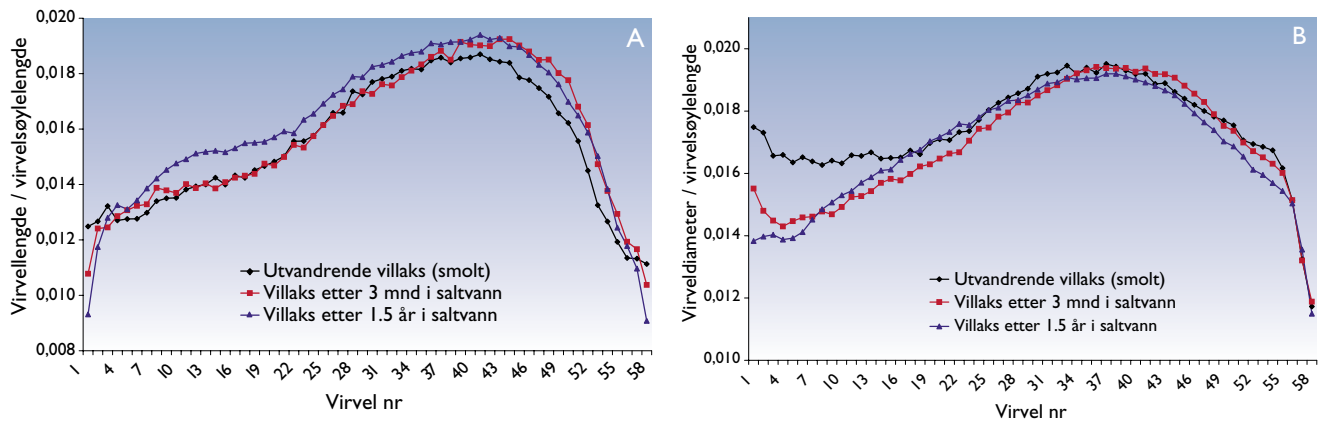
**Figur 2**  
Ved startfôring hadde om lag 20 % av individene gitt varmebehandling utviklet så alvorlige deformasjoner at de ble avlivet, mange hadde “griserumper” (A). Ved ni måneders alder hadde om lag 30 % sammenvokste ryggvirvler i den bakre del av ryggstøylene (B).  
*At first-feeding about 20 % of the heat-shocked fish had developed malformations of which the “curly tail” was the most common phenotype (A). At the age of nine months about 30 % of the fish showed fused vertebrae (B).*

## VIRVELVEKST HOS ATLANTISK LAKS

Virvelsøylen hos laks består vanligvis av 57–59 virvler. De 30 første virvlene er tilknyttet bukhulen. Laksens virvelsøyler har ikke den vekt bærende funksjonen vi finner hos landlevende dyr, grunnet svømmeblærens oppdrift og vannets tetthet. Bevegelse mellom virvlene hos beinfisk er begrenset til svingninger til siden ved svømming.

Når en lakseunge gjennomgår en prosess som kalles smoltifisering, dvs. at den blir blank og gjennomgår en rekke fysiologiske forandringer, er den klar for å overføres fra ferskvann til saltvann; eller i naturen, vandre ut fra elven den har vokst opp i til saltvann. Oppdrettet laks stammer hovedsakelig fra en av to ulike smolttyper, høstsmolt eller vårsmolt. Høstsmolten overføres til sjøvann om høsten samme år som den er klekket, mens vårsmolten overføres om våren ca. 16–17 måneder etter klekking. Lakseungene gis forskjellige lysregime for å oppnå dette. Høstsmolt vokser mye fortere enn vårsmolt i ferskvannsfasen, noe som igjen kan påvirke virvlenes vekst, struktur og sammensetting.

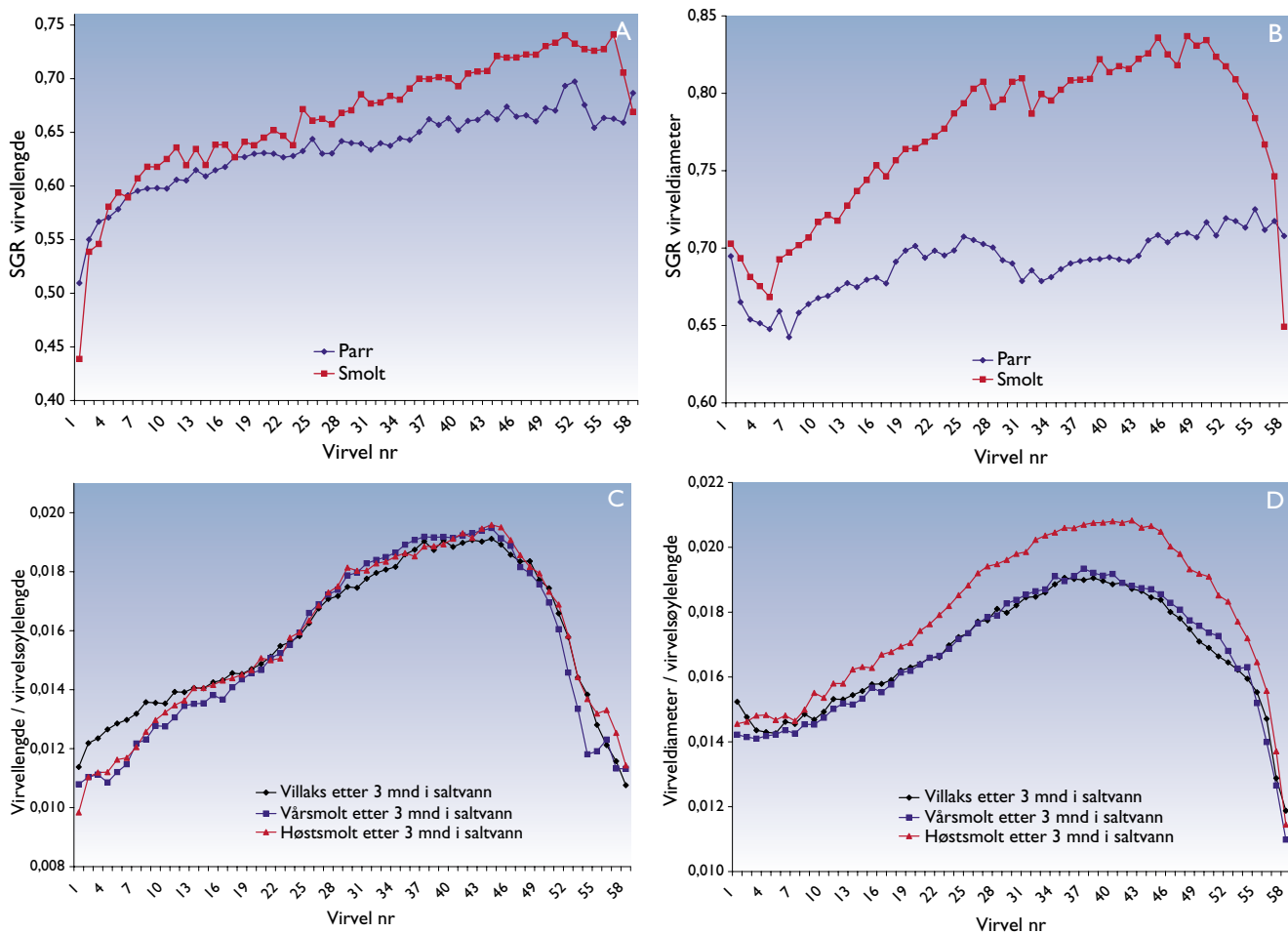
Lysmanipulering i form av kontinuerlig belysning brukes også i sjøvannsfasen. Dette gjøres for å redusere andelen av



**Figur 3**

Virvellengde/virvelsøylelengde (A) og virveldiameter/virvelsøylelengde (B) hos villaks ved utvandring til saltvann i mai, etter tre måneder i saltvann i august og etter 1,5 år i saltvann.

*Vertebrae length/ vertebral column length (A) length and vertebrae diameter/ vertebral column length (B) in wild salmon which had; migrated into sea water in May, stayed three months in sea water (August) and stayed 1,5 year in sea water.*



**Figur 4 A–D**

Vekst i virvellengde (A) og -diameter (B) hos parr holdt i ferskvann og høstsmolt overført til sjøvann ved smoltifisering. Virvellengde/ virvelsøylelengde (C) og virveldiameter/ virvelsøylelengde (D) hos vill smolt og oppdrettet høst- og vårs smolt tre måneder etter utvandring og overføring til saltvann. SGR = spesifikk vekstrate.

*Growth of vertebrae length (A) and diameter (B) in parr and smolt. Vertebrae length/ vertebral column length (C) and vertebrae diameter/ vertebral column length (D) in; wild, cultured spring and cultured autumn smolt three months after migration into salt water. SGR=specific growth rate.*

fisk som blir kjønnsmodne, noe som både innebærer dårlig økonomi og dårlig dyrevelferd. En slik strategi gir også økt vekst og større fisk ved slakting. Denne veksteffekten av lys kan også tenkes å påvirke virvlens vekst, struktur og sammensetting.

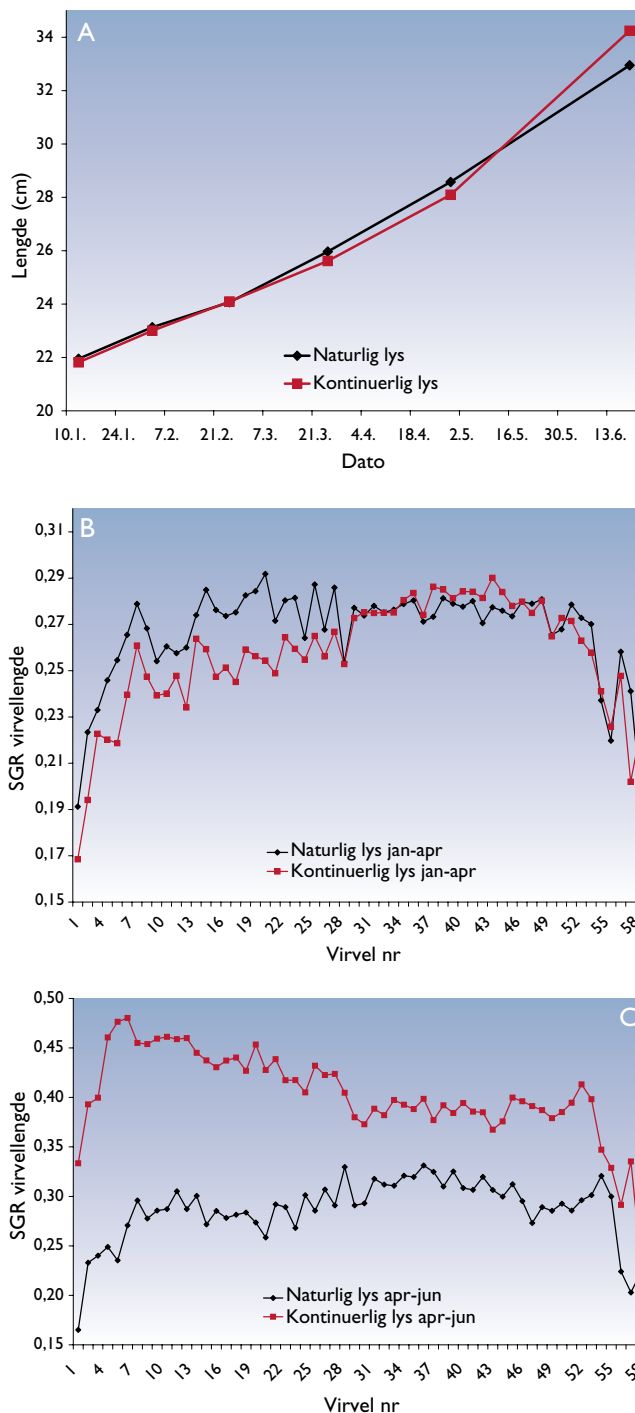
For å få kunnskap om den normale veksten og utviklingen av virvelsøylen hos laks, har vi gjort en undersøkelse av virvelsøylen hos villaks fanget på ulike livsstadier og til ulike tider av året. Dette materialet viser at forskjellige regioner i virvelsøylen vokser i ujevn grad ved ulike tidspunkter i laksens livssyklus. I den tidlige sjøvannsfasen, ved utvandring fra ferskvann til saltvann i mai til august, vokser virvlene i den bakre delen av ryggsoylen relativt mer i lengde enn i den fremre delen (Figur 3). Det motsatte er tilfellet senere i sjøvannsfasen, fra august til juli.

Det er videre gjennomført to forsøk for å kartlegge veksten til virvelsøylen hos oppdrettet laks i forbindelse med smoltifisering og tidlig sjøvannsfase. I det første forsøket ble én gruppe lakseunger (parr) oppdrettet under kontinuerlig lys, mens en annen ble gitt lysregime for produksjon av høstsmolt fra midten av juli. Parr gitt kontinuerlig belysning ble holdt i ferskvann gjennom hele forsøket, mens høstsmolt ble overført til kar med saltvann ved smoltifisering i oktober. Individmerket fisk ble fotografert med røntgen ved forsøkets start og slutt. Smoltifiseringen initierte økt vekstrate i virvellengdevekst i virvelsøylen bakre del (Figur 4 A). Høstsmolt hadde en stor økning i virveldiameter gjennom hele virvelsøylen, sammenlignet med parr (Figur 4 B). Høstsmolt ble sammenlignet med oppdrettet vårs smolt og villsmolt, som hadde vært i saltvann tilsvarende lengde. Hos disse ble det ikke funnet en tilsvarende økning i virveldiameter i tidlig sjøvannsfase (Figur 4 D). Det er foreløpig ikke klart om økningen i virveldiameter er en kompensasjon for en svak og dårlig mineralisert struktur som et resultat av hurtig vekst hos høstsmolt. Villaks hadde relativt lengre virvler i virvelsøylen fremre del, sammenlignet med oppdrettet høst- og vårs smolt tre måneder etter utvandring/sjøvannsoverføring (Figur 4 C). Hva som forårsaker nedsatt vekst i virvellengde i denne regionen hos oppdrettet laks, vites heller ikke sikkert.

I det andre forsøket ble to grupper av postsmolt fra høstutsett oppdrettet i merder i saltvann under henholdsvis naturlig lys og kontinuerlig belysning fra midten av januar til midtsommer. Laks gitt kontinuerlig lys fra januar vokste dårligere i perioden januar–april enn laks gitt naturlig lys, mens den vokste best fra april til midtsommer (Figur 5 A). I perioden med dårlig vekst var det bare virvelsøylen fremre del som vokste dårlig hos den lyssatte laksen, mens veksten i virvelsøylen bakre del var lik laksen gitt naturlig lys (Figur 5 B). I perioden med god vekst fra april til midtsommer kompenserte den lyssatte laksen ved å øke veksten i ryggsoylen fremre del (Figur 5 C). Disse resultatene viser at en reguleringsmekanisme for vekst i virvelsøylen ligger lokalt i virvlene, og at virvelsøylen fremre og bakre del har ulike reguleringsmekanismer for vekst.

Fra villfiskmaterialet og de to overnevnte forsøkene ser vi at smoltifisering initierer økt vekst i virvellengde i virvelsøylen bakre del, mens det senere i sjøvannsfasen ser ut til at

virvelsøylen fremre del er mest mottakelig for ytre påvirkninger. Dette er ny viten som kan øke forståelsen av når og hvordan deformasjoner i virvelsøylen oppstår hos laks. Hvordan disse vekstreguleringer skjer, og hva det er lokalt i virvlene som styrer dette, er spørsmål vi vil jobbe videre med og kartlegge.



**Figur 5 A–C** Økning i lengde i perioden januar til midtsommer hos laks gitt naturlig og kontinuerlig belysning (A). Vekst i virvellengde i perioden januar–april (B) og april–juni (C) hos laks gitt naturlig og kontinuerlig belysning. SGR = spesifikk vekstrate. Length of salmon grown in natural and continuous light from January until June (A). Vertebrae length January–April (B) and April–June (C) in salmon exposed to continuous and natural light. SGR = specific growth rate.

## 1.7

## Vaksinasjonsstrategi for vår- og høstsmolt

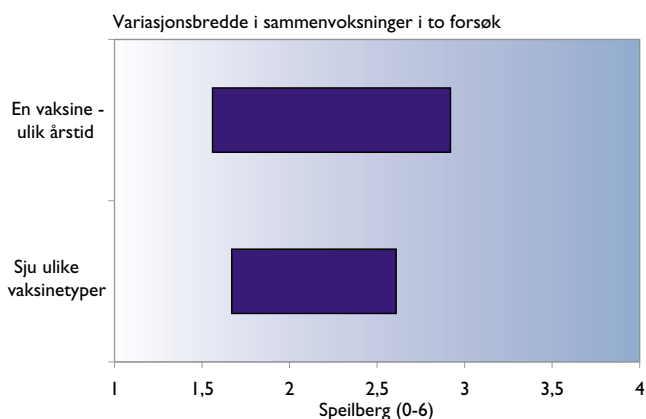
Arne Berg og Tom Hansen, Havforskningsinstituttet

Valg av vaksinasjonsstrategi er mer enn valg av vaksine. Temperatur, fiskestørrelse, lysforhold og tidspunkt bestemmer også i stor grad utvikling av bivirkninger og beskyttelse. I produksjon av ettårssmolt er tidsperioden hvor en kan vaksinere lang. Dette betyr at en kan vaksinere stor fisk ved lave temperaturer. I høstsmoltproduksjon er fleksibiliteten mye mindre, og mye smolt blir derfor vaksinert ved høy temperatur, for liten fiskestørrelse eller for tett opp mot utsett.

Arbeidet med å redusere uønskede bivirkninger etter vaksiner har pågått siden 1997. Da innledet Havforskningsinstituttet et samarbeid med Intervet Norbio AS om industriprosjektet "Optimal vaksinasjonsstrategi". Resultatene har vist at vaksinasjonsstrategi dreier seg om langt mer enn valg av vaksiner. Et forsøk med uttesting av ulike vaksiner gav en variasjon i sammenvoksninger fra 1,7 til 2,6 på Speilbergs skala. Den dårligste vaksinen gav i et annet forsøk en variasjon fra 1,6 til 2,9 når vaksinen var gitt fisken på ulike tidspunkt (Figur 1). Dette vil si at en og samme vaksine resulterte i svært ulikt resultat, avhengig av når på året fisken ble vaksinert, og at variasjonen mellom ulike vaksiner var mindre enn innen en vaksine.

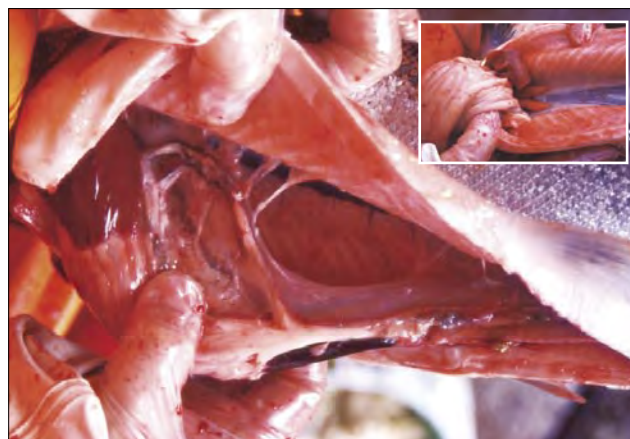
**SAMMENVOKSNINGER – KAN DET AKSEPTERES?**

I Norge blir ca. 130 millioner smolt vaksinert årlig. Dette er en av de viktigste årsakene til at sykdomssituasjonen i oppdrettsnæringen er under kontroll, og at det nesten ikke er

**Figur 1**

Testforsøk har vist at variasjon i bivirkninger kan være større innen en vaksine når den brukes under varierende forhold, enn mellom ulike vaksiner.

*The variation in side effects can be greater within one vaccine, than between different vaccines.*

**Figur 2**

Sammenvoksninger etter vaksiner, med tråder mellom organer samt deponering av melanin (svart). Klassifiseres visuelt fra 0 til 6 etter Speilbergs skala (0 = ingen sammenvoksninger og 6 = massive sammenvoksninger og melanin). Innfelt bilde viser uvaksinert fisk. *Adherences after vaccination, and deposition of black melanin. Classified visually according to Speilberg score (0 = no adherences, 6 = severe adherences). Inserted photo shows unvaccinated fish.*

brukt antibiotika de siste ti år. Bivirkninger etter vaksiner er uønsket, men nivået på bivirkninger er i gjennomsnitt så lavt at det anses som akseptabelt i forhold til den store nytteverdien av vaksiner. Det er imidlertid fortsatt eksempler på grupper av fisk med for mange tilfeller av bivirkninger, og næringen har som mål å få senket det generelle nivået på sammenvoksninger. Spesielt viktig er det å klare å unngå enkeltepisoder med avvikende og uakseptable bivirkninger.

Sammenvoksninger ses i bukhulen til fisken som tråder eller sammenvoksning mellom organer og/eller bukvegg (Figur 2). I tillegg dannes melanin, som gir svart farge i bukhulen og på organene. Som oftest kan både sammenvoksninger og melanin fjernes på slaktelinjen, men i noen tilfeller blir det også skader og melanindeponering inne i fileten, slik at vaksineskadene fører til nedklassing.

**BIVIRKNINGER**

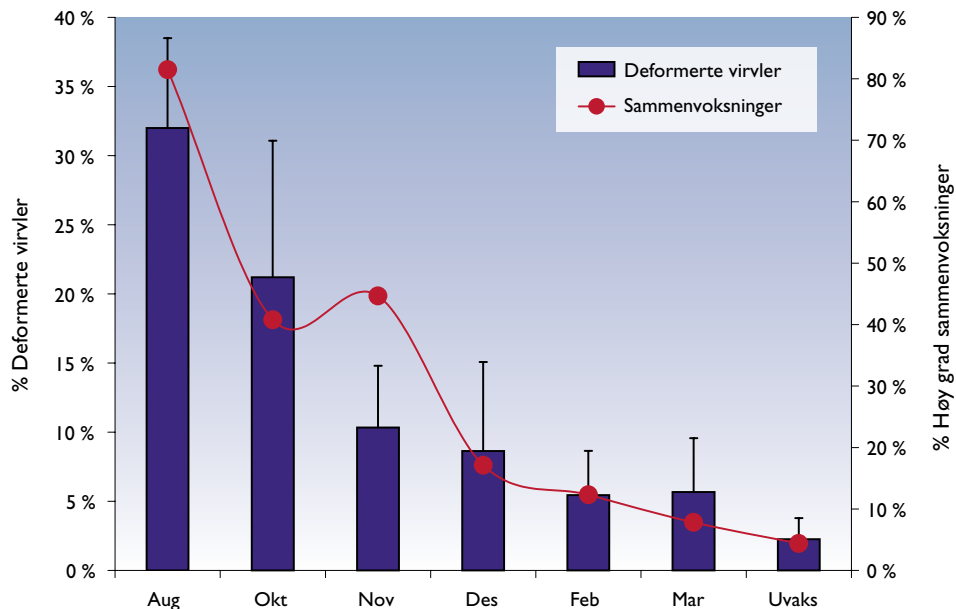
Fisk med mye sammenvoksninger vokser dårligere enn uvaksinert fisk. I flere av våre forsøk har det ikke vært vekstforskjeller mellom vaksinert og uvaksinert fisk. Under optimale vekstforhold har imidlertid også moderate sammenvoksninger gitt en liten vekstreduksjon. De vaksinerte fiskene klarer ikke å utnytte det maksimale vekstpotensialet gjennom hele livssyklusen.



**Figur 3**

Ettårssmolt vaksinert i august, på liten fiskestørrelse (45 g) og 12 °C fikk mer sammenvoksninger (3 eller mer på Speilbergs skala), dårligere vekst og mer deformasjoner enn fisk vaksinert i mars.

*One year old smolt vaccinated at small fish size (45 g) at 12 °C developed more adherences (Speilberg score 3 or more) and spinal deformations than fish vaccinated in March (157 g and 7 °C), before transfer to sea.*



I noen av våre forsøk er det påvist at ryggradsdeformasjoner kan være knyttet til vaksinasjon. Dette viser at deformasjoner også kan utvikles på relativt stor fisk. I et av disse forsøkene ble grupper av fisk vaksinert til ulik årstid, og derved ved ulik fiskestørrelse og temperatur. De tidligst vaksinerte fiskene fikk mest sammenvoksninger, vokste dårligst og fikk mest ryggradsdeformasjoner (Figur 3). Vaksinen brukt i dette forsøket er ikke lenger på markedet.

#### TEMPERATUR OG FISKESTØRRELSE – DE VIKTIGSTE FAKTORENE

Flere forsøk som Havforskningsinstituttet har gjennomført i samarbeid med Intervet Norbio AS har vist at temperatur under og etter vaksinerings, og fiskestørrelsen ved vaksinerings, er svært viktig for hvordan sammenvoksninger i bukhulen utvikler seg.

I et forsøk ble smolt vaksinert ved 6 og 13 °C. Høyest temperatur gav mest sammenvoksninger. Viktigst er temperaturen i akuttfasen, de to–fire første ukene etter vaksinerings. I et annet forsøk utviklet fisk vaksinert ved 3 °C færre sammenvoksninger enn de som ble vaksinert ved 7 eller 13 °C.

I to forsøk hvor vi vaksinerte fisk med ulik størrelse, var det en klar sammenheng mellom fiskestørrelse ved vaksinerings og utviklingen av sammenvoksninger. Selv om det er stor variasjon i gruppene, er det størst sjans for at det skal oppstå bivirkninger hos de minste fiskene, dvs. et resultat på 3 eller mer på Speilbergs skala (Figur 4).

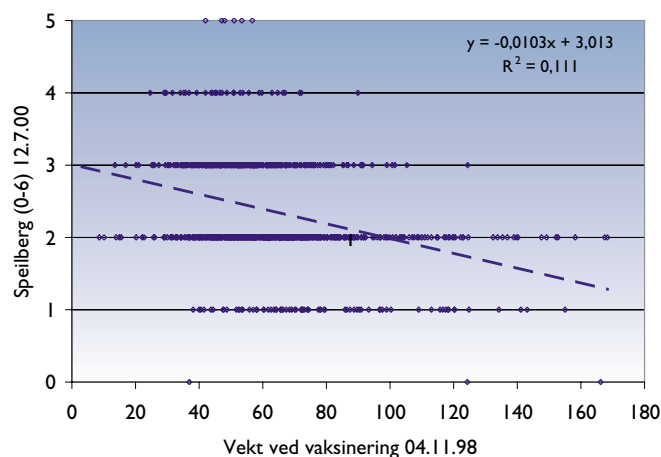
#### LA BIOLOGIEN STYRE VAKSINASJONSSTRATEGIEN

Vaksinasjonsstrategien varierer mye, både fra anlegg til anlegg og fra landsdel til landsdel. Muligheten til å få et optimalt vaksinasjonsopplegg er ikke til stede hos alle til alle årstider. Kanskje er det noen som bør velge å ikke lage høstsmolt fordi temperaturene er for høye om høsten. Enkelte må kanskje bestemme seg for å sette de biologiske kravene først, og godta at utsett av høstsmolten må utsettes med en måned i forhold til tidligere. På denne måten kan en vaksinere større fisk ved lavere temperatur.

Temperaturen i sjø etter utsett vil også kunne ha stor betydning for utviklingen av bivirkninger. Hvis fisken er blitt vaksinert like før utsett, vil også høy sjøvannstemperatur kunne være negativt.

#### VÅRSMOLT – VAKSINER OM VINTEREN

Kunnskapen om hvordan vaksinasjonsstrategien påvirker utviklingen av sammenvoksninger er etter hvert tatt i bruk av mange. I produksjon av ettårssmolt er det stort sett mulig å tilpasse tidspunktet for vaksinerings slik at temperaturen er under 9 °C og fisken over 70 g. I alle fall bør størrelsen være over 35 g. Hvis temperaturen blir for lav før fisken blir stor nok, kan alternativet være å vente til frem på våren når temperaturen begynner å stige. Fisken trenger imidlertid en periode før utsett for å opparbeide nødvendig beskyttelse. Man må også vurdere risikoen for at fisken settes ut i sjøvann med høy temperatur, og at dette kan virke negativt. Erfaringene fra Havforskningsinstituttet og Intervet Norbio AS tilsier imidlertid at fisken da er blitt såpass stor at dette er en mye mindre ulempe enn for tidlig vaksinerings om høsten.

**Figur 4**

Det er sammenheng mellom fiskestørrelse ved vaksinerings og grad av sammenvoksninger etter 1,5 år i sjø. Den minste fisken utviklet mest sammenvoksninger i bukhulen.

*Vaccination of small fish gives more adherences.*

## HØSTSMOLT – KANSKJE BØR LEVERINGEN UTSETTES?

Erfaringer fra felt tyder på at det er større problemer med hensyn til både sammenvoksninger og deformasjoner på høstuttatt smolt enn på etårssmolt. Fleksibiliteten ved produksjon av høstsmolt er mye mindre, slik at det er vanskeligere å tilpasse kunnskapen om miljøfaktorenes innvirkning på utvikling av bivirkninger til den praktiske produksjonsstrategien.

Normalt vil temperaturen både i ferskvann og sjø synke på sensommeren og høsten, og fisken vokser og blir større. Dette tilsier at vaksineringsen bør utsettes lengst mulig for de fleste. For å oppnå god beskyttelse må imidlertid fisken ha ca. fem uker etter vaksineringsen, før utsett, for å opparbeide beskyttelse mot sykdom. Tiden er avhengig av temperatur, og 350–600 døgngrader kan anbefales, men det trengs trolig flere døgngrader ved høye temperaturer enn lave. De siste årene har det vært mange eksempler på at høstsmolt er blitt vaksinert ved over 20 °C på grunn av høye høsttemperaturer. Hvis man da ikke har mulighet til å justere vanninntak, slik at man kan ta kaldere vann fra dypere lag, bør vaksineringsen og levering utsettes. Både leverandøren av settefisk og matfiskoppdretteren tar en stor risiko ved å vaksinere ved så høy temperatur.

### FLERE FAKTORER HAR BETYDNING

Ved valg av vaksinasjonstidspunkt er det flere ting som spiller inn i kommersielt oppdrett. Kapasitet i anlegget, tilgang

på vaksinasjonsteam, ønske fra matfiskoppdretter om tidlig levering etc., fremskynder gjerne vaksinasjonstidspunktet slik at temperaturen er uønsket høy og fisken er i minste laget. For matfiskoppdretteren vil også tidlig levering ofte resultere i en lengre periode med høy temperatur i sjø. Dette er ønskelig for å få god vekst i første sjøvannsfase, men kan samtidig være med på å utvikle eller forsterke problemer med bivirkninger etter vaksineringsen.

I et forsøk ved Havforskningsinstituttet Matre ble grupper av laks som gikk på fire ulike lysperioder vaksinert til ulike tidspunkt. Temperaturen var 12–14 °C i ferskvannsfasen og første periode i sjø. Noen ble vaksinert 11 uker (V11) før smoltifisering og utsetting. Gjennomsnittsvekten var da 20 g. De andre ble vaksinert 7, 5 eller 3 uker før utsett, mens en siste gruppe ble holdt uvaksinert (V0). Vekten ved vaksineringsen var henholdsvis 36, 43, 56 og 70 g. Etter et år i sjø var det stor forskjell i både vekst og sammenvoksninger mellom gruppene (Figur 5).

Fisk vaksinert tidlig vokste dårligere og hadde mer sammenvoksninger, sammenlignet med der fisken var vaksinert sent og var over 40 g. De tidligst vaksinerte gruppene hadde en litt høyere kondisjonsfaktor, noe som indikerer at smoltifiseringsprosessen og skjelettveksten ble påvirket. Det var ikke forskjell i vekst mellom uvaksinert fisk og fisk som var blitt vaksinert sent.

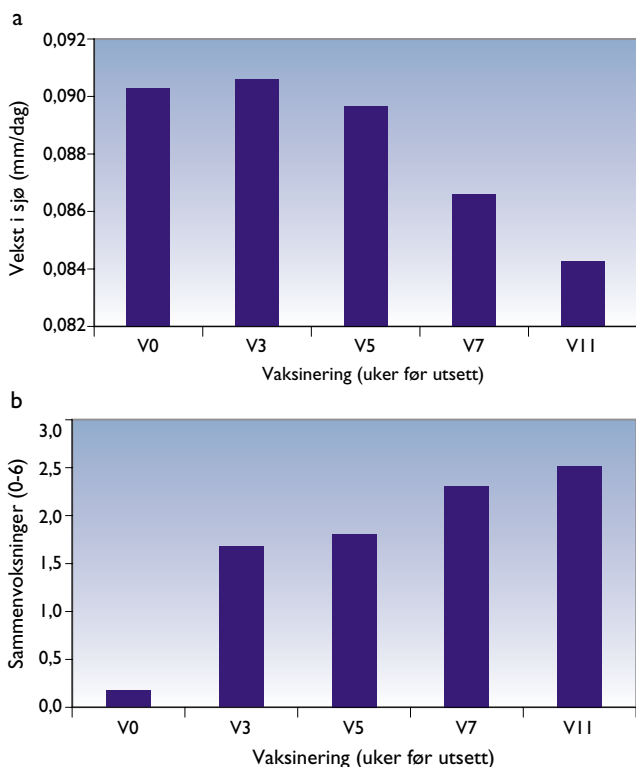
Ved utsett hadde alle grupper god beskyttelse mot furunkulose. Under høyt smittepress mot furunkulose og mot vintersår, var det noe dårligere beskyttelse i den gruppen som var vaksinert sist. Dette indikerer at full beskyttelse ikke var oppnådd tre uker etter vaksineringsen.

Vi ser også i dette forsøket en trend der vaksineringsen i perioder med redusert vekst, f.eks. i kortdagsperioden, gir noe reduserte sammenvoksninger.

### FASITEN

Det eksisterer ingen fasit for optimal vaksinasjonsstrategi. Kunnskapen om forholdene som påvirker utvikling av bivirkninger og beskyttelse har økt. Grunnlaget for å gjøre de riktige valgene er nå til stede. Det er store variasjoner, både fra anlegg til anlegg og landsdel til landsdel. Smittepresset i sjø varierer fra sted til sted og år til år. Det er variasjon mellom årsklasser, familier og mellom individer i samme familie.

Den riktige og gale løsningen finnes ikke, men vi vet at høy temperatur øker risikoen for bivirkninger. Det samme gjør vaksineringsen av liten fisk. Venter man med vaksineringsen, kan tiden frem til utsetting bli for kort til å oppnå full beskyttelse. Det kan være nok i noen områder, men ikke i andre, belastede områder. Hver enkelt oppdretter må derfor vurdere risikofaktorene, og vurdere hvor stor risiko man ønsker å ta i hvert enkelt tilfelle. Deretter må produksjon og vaksinasjonsstrategi legges opp ut fra det.



**Figur 5** Lengdevekst (mm/dag) for et år i sjøvann (a) og sammenvoksning etter et år i sjø (b) for fisk vaksinert 11, 7, 5 eller 3 uker før utsett, samt noen uvaksinerte (V0).  
*Length growth during one year at sea (a) and adherences (b) for fish vaccinated 11, 7, 5 or 3 weeks prior to sea transfer, and one unvaccinated group (V0).*

## 1.8

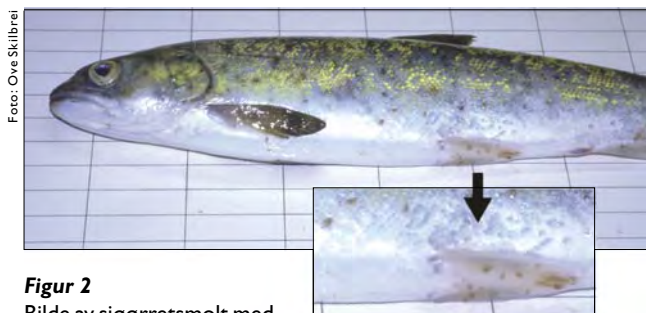
## Negative virkninger av lakselus på laks i havet

Ove Skilbrei, Havforskningsinstituttet

Stor produksjon av lakselus i regioner med høy oppdrettsaktivitet er regnet som en potensiell trussel mot sjørret og villaks, og Havforskningsinstituttets satsingsområde *Miljøvirkninger av havbruk* tar opp denne problemstillingen. I et av forsøkene har utsett av smolt som er medisinert mot lakselus gitt klare indikasjoner på at lakselus, i tillegg til å gi økt dødelighet, også kan medføre sterkt redusert vekst det første året i havet.

Økt tetthet av lakselus i fjord- og kyststrøk som følge av oppdrett har i mange år vært ansett som en trussel mot vill laksefisk, og har vært trukket fram som en av flere mulige årsaker til den vesentlige reduksjonen av fangst av villaks de siste 20 årene (Figur 1). Landsoversikten skiller for øvrig ikke mellom rømt oppdrettsfisk og villaks. Innslaget av rømt laks har over en rekke år ligget på flere titalls prosent i fjord og sjøfisket, og rundt 10 % i sportsfisket i elvene. Den reelle nedgangen for villaks er derfor større enn antydnet i Figur 1.

Denne problemstillingen fikk stor oppmerksomhet på begynnelsen av 1990-tallet, da Universitetet i Bergen observerte mye lakselus på sjørret som kom tilbake til ferskvann tidlig på sommeren i Hordaland for å avluse seg. Stort antall av

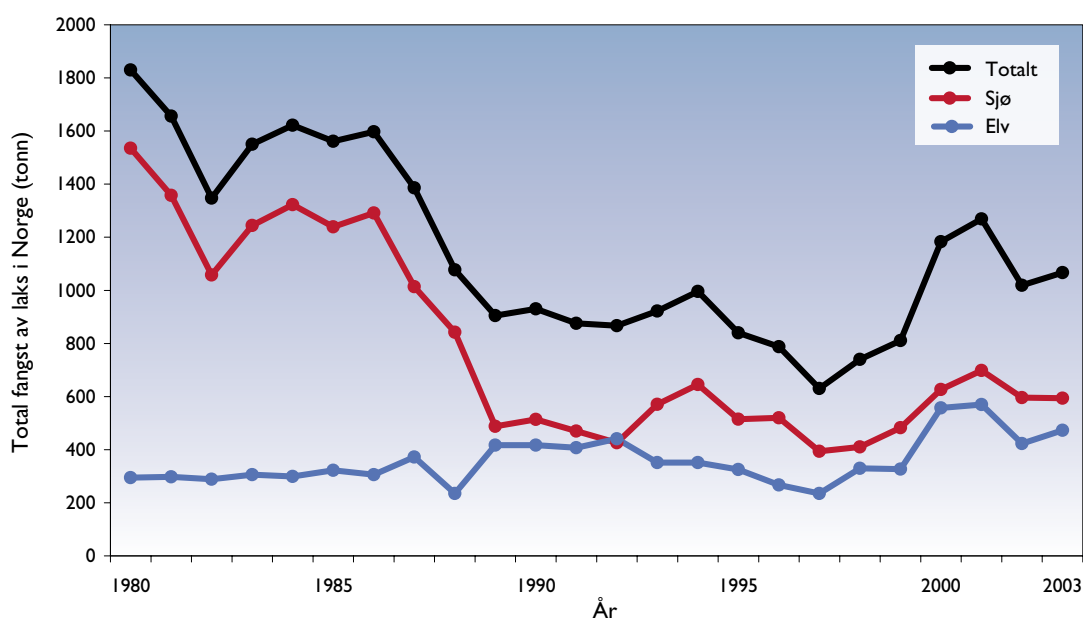


**Figur 2**  
Bilde av sjørretsmolt med unge stadier av lakselus.

Picture showing sea trout smolt infested with young stages of salmon lice.

unge bevegelige stadier av lakselus på sjørretsmolt viser at smittepresset er høyt (se Figur 2). Sjørret som er hardt angrepet er avmagret, og kan dø av problemer med salt- og væskebalansen. Undervanns videoopptak gjort av Havforskningsinstituttet i 1992 viste blant annet sjørret med alvorlige skader på hode og øyne.

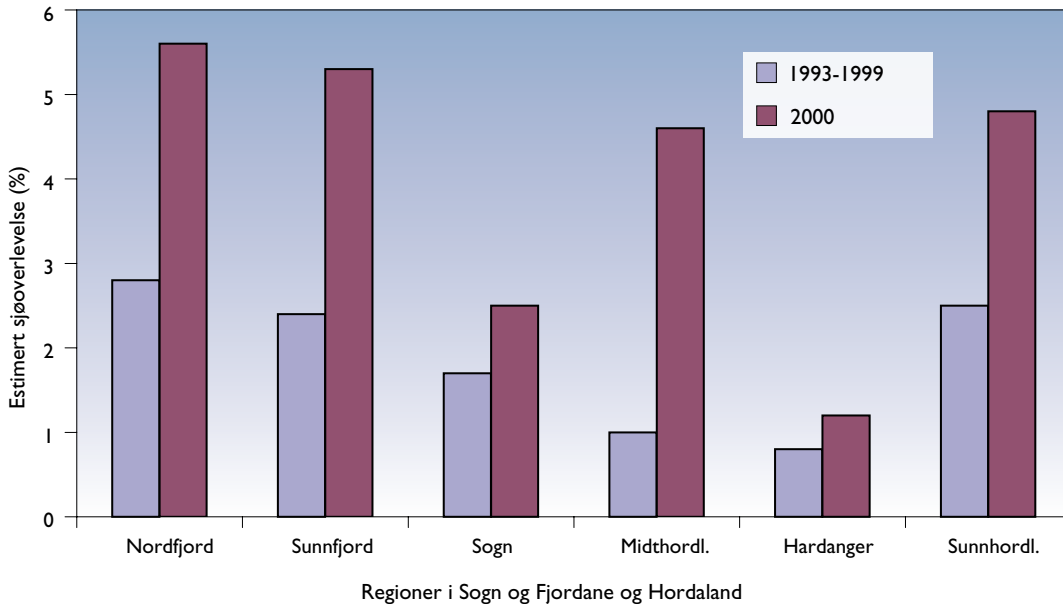
Det var et ubesvart spørsmål i hvilken grad den antatt økte tettheten av lakselus påvirket utvandrende smolt av laks.



**Figur 1**

Total fangst av laks i Norge 1980–2003, også fordelt på sjø og elv. Kilde: Direktoratet for naturforvaltning.

Total catch of Atlantic salmon in Norway 1980–2003. Sea and river catches are also shown separately. Source: Directorate for Nature Management.



**Figur 3**  
Estimert sjøoverlevelse i elver i regioner i Sogn og Fjordane og Hordaland for voksen laks som kom tilbake til elvene i perioden 1993-1999 og for 2000. Data fra Skurdal m. fl. 2001, Utredning for DN 2001-2.  
Estimated survival in the sea for rivers in different regions of the Norwegian counties Sogn og Fjordane and Hordaland for the years 1993-1999 and for 2000.

Fordi den ville laksesmolten vandrer hurtig ut i åpent hav, og ikke vokser opp i fjorder og i kystnære strøk som sjørreten, var det rimelig å anta at laksesmolten ble mindre eksponert for lakselus. På slutten av 1990-tallet ble det imidlertid utviklet ny metodikk for å tråle etter utvandrende laksesmolt (J. C. Holst, Havforskningsinstituttet), som avslørte at villsmolt i ytre fjordområder kunne ha foruroligende mange lakselus i forhold til tålegrenser for lakselus observert i karforsøk.

#### ESTIMATER AV SMOLTOVERLEVELSE

Fra siste del av 90-tallet er det gjort ulike forsøk med å behandle smolt mot lakselus for å fastslå effekter av lakselus på ville bestander (NINA, Havforskningsinstituttet og Råd-

givende Biologer). Utsettene omfatter både utvandrende villsmolt og smolt som er produsert fra stedegen stamme. Så langt vi vet er det i flere tilfeller observert at behandlet fisk har hatt høyere overlevelse i sjøen enn ubehandlet, mens andre forsøk ikke har påvist nevneverdige forskjeller mellom gruppene.

Det er gjort en sammenstilling av anslag for den naturlige smoltproduksjonen og registrert fangst av villaks i regioner i Sogn og Fjordane og Hordaland. Denne gir estimater for overlevelse i havet for årene 1993–2000 (Figur 3), og viser tilsvarende tendens som i landsoversikten (Figur 1) med svake resultater på 1990-tallet og en vesentlig bedring i 2000. I 2000 var det en vesentlig økning i laksefangstene både i Norge (Figur 1) og i andre land. Det antas at dette blant annet skyldes gunstige forhold på leveområdene i havet. Denne effekten slo imidlertid ikke til i en oppdrettstung region som Hardanger, med en total produksjon av laks og regnbueørret på nesten 30 000 tonn i Hardangerfjorden i 2000. Situasjonen for villaksen er ikke bedret i dette området siden 2000, og de ville bestandene av sjørreten i fjorden er på et historisk lavt nivå. Dersom lakselus er blitt en bestandsregulerende faktor skal man forvente slike regionale forskjeller.

#### PÅSLAG AV LAKSELUS VARIERER I TID OG ROM

En av årsakene til variasjon mellom ulike forsøk med behandling av smolt mot lakselus har blitt synliggjort i Havforskningsinstituttets kartlegging av smitterisikoen de siste årene. I regi av satsingsområdet *Miljøvirkninger av havbruk* har små merder med laksesmolt blitt satt ut i Sognefjorden i mai, slik at påslaget av lakselus på denne fisken kan registreres. Både i disse og i andre undersøkelser er det vist at påslaget av lakseluslarver kan skje plutselig over en kort periode. Risikoen for å bli smittet er ikke konstant over tid, men endrer seg sannsynligvis med forflytninger av vannmasser. Dette er i tråd med arbeid som pågår i et av de andre prosjektene som simulerer hydrografi, vindpåvirkning og partikkeltransport i fjorder.



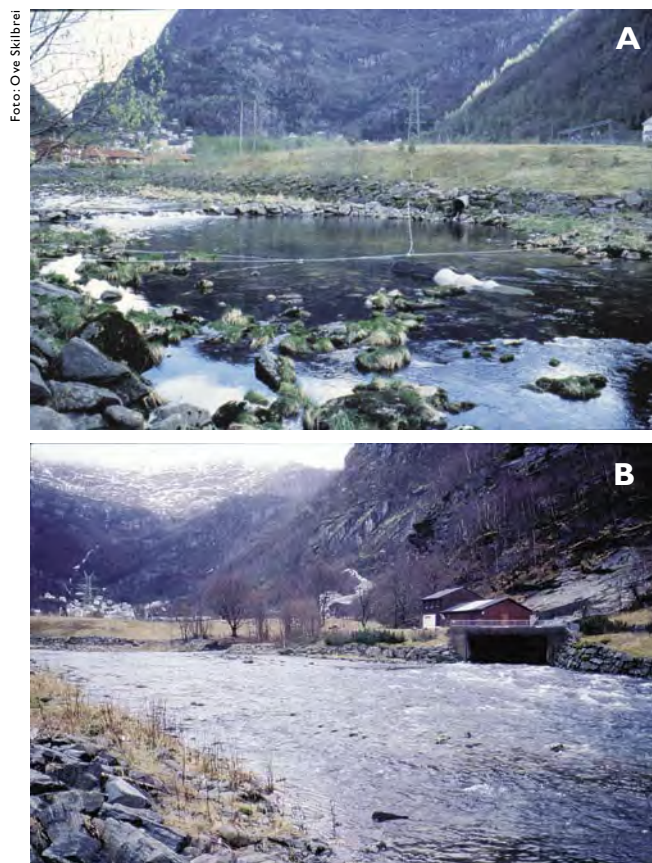
**Figur 4**  
Illustrasjon av merkeprosessen.  
Illustration showing tagging of smolts (coded wired tag), adipose fin clip and head of recaptured adult salmon with coded wired tag removed.

Smolt vandrer ut av elvene over en periode på flere uker, og tidspunktet for maksimal utvandring påvirkes av lokale forhold i elven. Fordi risikoen for påslag av lakselus kan endre seg kraftig over tid, kan resultatet fra enkeltforsøk med behandling av smolt mot lakselus fort bli tilfeldig, avhengig av om denne fisken vandrer ut på et "godt" eller "dårlig" tidspunkt. For at betydningen av lakselus skal kunne estimeres er det nødvendig med gjentatte slipp, som dekker en større del av perioden for naturlig utvandring av smolt.

#### FORSØK MED BEHANDLING MOT LAKSELUS I DALEELV

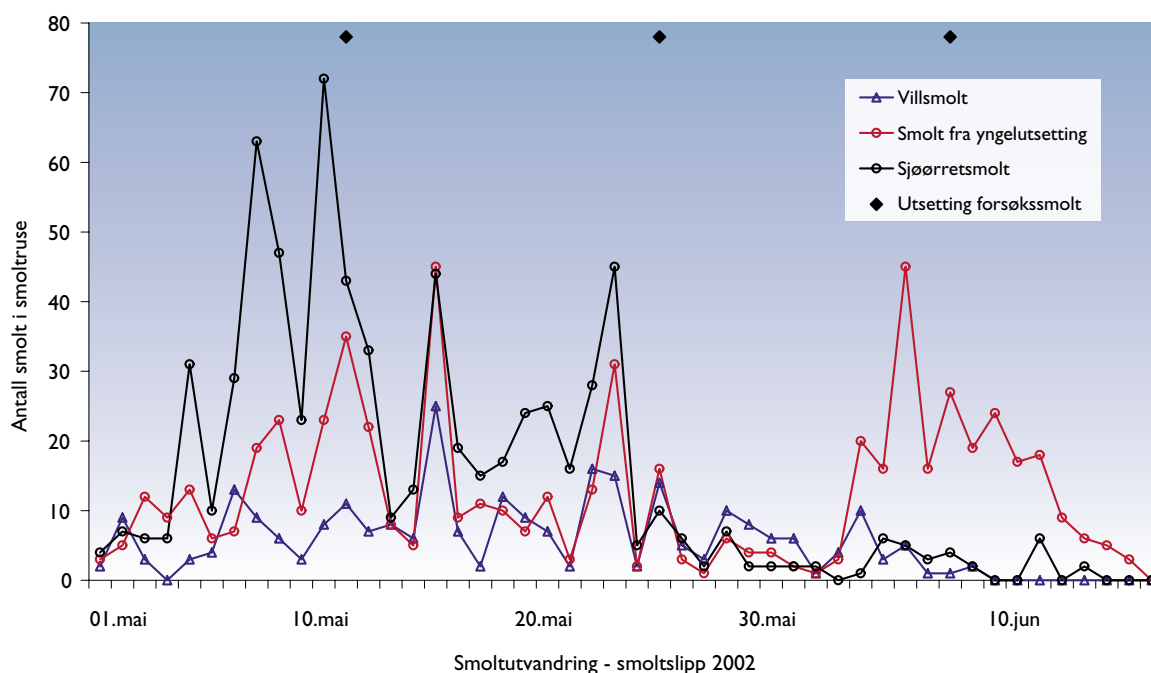
For å framskaffe slike data er et prosjekt under *Miljøvirkninger av havbruk* lagt til Daleelv i Hordaland (samarbeid med Dale Jakt- og Fiskarlag), (se Figur 4). For årene 2002–2004 gjentas følgende oppsett:

- 1) Like mange avkom fra 15 stamfisk blir fordelt mellom forsøksgruppene.
- 2) Oppfôret smolt blir fettfinneklippet og gruppe-merket (snutemerke) (Figur 4).
- 3) Tidspunkt for naturlig utvandring av laks og sjørørret blir kartlagt (Figur 5 og 6).
- 4) Halvparten av smolten blir behandlet mot lakselus (fôret med slice).
- 5) Behandlet og ubehandlet (kontroll) gruppe slippes på tre ulike tidspunkt fra klekkeriet (Figur 3) i henhold til perioden for naturlig smoltutvandring (Figur 6).
- 6) Innsamling av tilbakevendt laks vha. informasjonskampanje og dusør for prøver av merket fisk fanget i elven.



**Figur 5**

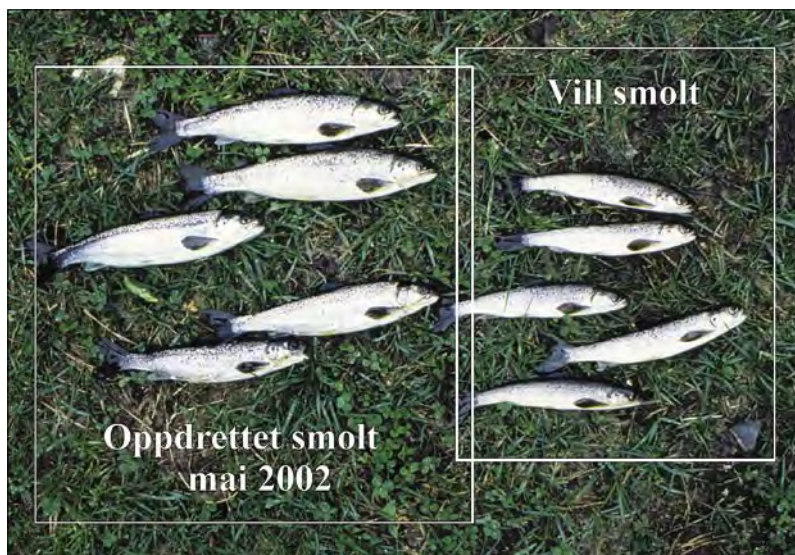
A) Øvre del av Daleelv med smolttruse.  
 B) Settefiskanlegg ved kraftverket 100 m nedenfor smoltfelle.  
 A) Upper part of the River Dale also showing smolt trap net.  
 B) Hatchery close to hydroelectric power plant situated 100 m downstream smolt trap net.



**Figur 6**

Daglige fangster i smolttruse av utvandrende smolt av villaks, tidligere utsatt yngel og sjørørret fra øvre del av Daleelv i 2002. Tidspunkt for utsetting av oppfôret smolt er lagt inn.

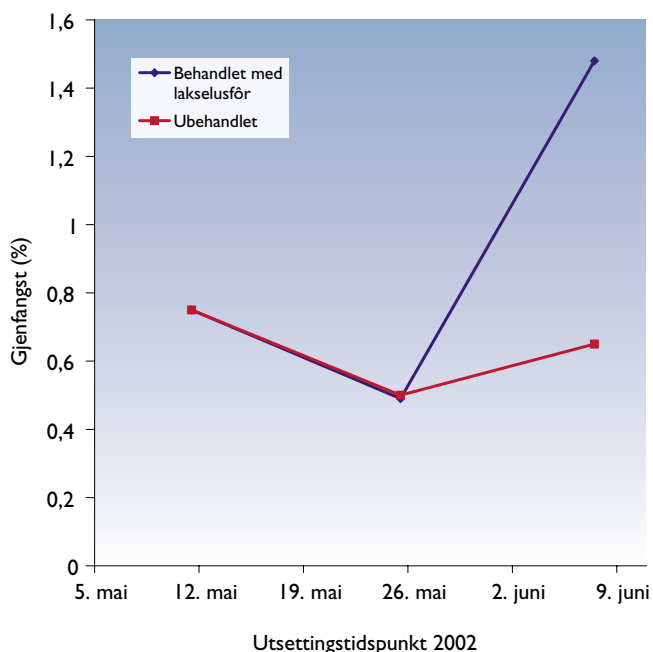
Daily catches in trap net of smolts of wild salmon, sea trout and previously stocked parr. Dates for releases of cultured smolts are added.



**Figur 7**

Bilde som illustrerer størrelsesforskjellen mellom oppfôret utsatt smolt og vill smolt fanget i elveruse i Daleelv i mai 2002.

Photo illustrating the size differences between the smolts cultured for release (left panel) and wild smolts caught in the smolt trap net (right panel) in Dale in May 2002.



**Figur 8**

Gjenfangst (%) av smålaks i sportsfisket i Daleelv i 2003, sluppet som smolt på tre tidspunkt i 2002. Halvparten av smolten var behandlet mot lakselus før slipp.

Recapture rate of grilse (by anglers) in the River Dale in 2003 released as smolts at three dates in 2003. Half of the fish was treated against salmon lice prior to release.

Det vil alltid være usikkerhetsmomenter med hensyn til hvor representativ den oppdrettede smolten er i forhold til villsmolt, når man bruker oppdrettet smolt i forsøk for å få bedre kunnskap om naturlige prosesser. Man må da stille spørsmål ved om den har tilsvarende spiseadferd, vandringmønster og -hastighet, osv. Det er ofte slik at gjenfangsten er lavere for oppdrettet smolt enn for villsmolt. Den er også ofte større, har større energilager og burde tåle flere lakselus enn en villsmolt (se størrelsesforskjell i Figur 7), selv om størrelsen i seg selv medfører at den kan "fange" flere lakselus. Fordelen med bruken av oppdrettet smolt i denne type forsøk er:

- at det blir mulig å sette opp systematiske forsøk på fastsatte tidspunkt der fiskens antall, behandling og genetiske bakgrunn er kjent. Det er stor variasjon mellom gjenfangstprosenten til ulike familier. Ukjent genetisk bakgrunn kan derfor føre til tilfeldig variasjon i resultatene.
- at slike oppsett er repeterbare, slik at det blir mulig å produsere tidsserier for å studere den relative betydningen av lakselus over tid (innen og mellom år).

#### MER LAKSELUS PÅ FORSOMMEREN GIR DØDELIGHET

Grupper av behandlet og ubehandlet smolt ble sluppet både den 11. og den 25. mai 2002, ingen av disse slippene viste forskjell i overlevelse mellom de to gruppene. Ved slippet den 7. juni var derimot overlevelsen i den behandlede gruppen klart høyere enn for den ubehandlede (kontrollgruppen, Figur 8). Årsaken til at den generelle gjenfangsten varierer mellom slippdagene er ukjent. Det kan skyldes at predasjonstrykket under utvandringen til Norskehavet slår ulikt ut.

Resultatene viser at infeksjonspresset av lakselus endret seg gjennom våren. I det aktuelle tilfellet førte dette til mer enn halvert overlevelse for smolten som vandret ut i juni, noe som samsvarer med rapporter fra Rådgivende Biologer om mye lus på sjøørreten fra slutten av mai måned i 2002. En økning i tettheten av laksluselarver i sjøen utover sommeren vil spe-

sielt berøre sjørrreten. Det er likevel uvisst om det er et årlig gjentakende problem at seint utvandrende laksesmolt er mest utsatt for lakselus. Dette understreker behovet for tidsserier i slike undersøkelser, og er grunnen til at utsettingene i Daleelv skal gjentas over flere år.

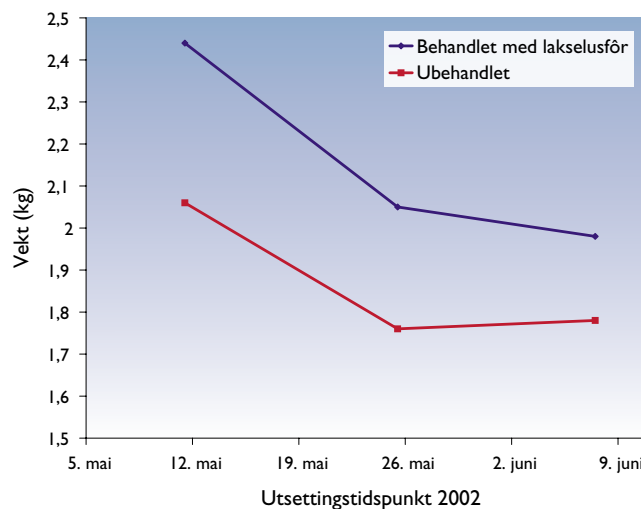
### LAKSELUS REDUSERER VEKSTEN HOS LAKS I HAVET

Smolten som ikke var behandlet mot lakselus vokste betydelig dårligere fra utsetting og fram til den kom tilbake til elven etter ett år i havet (Figur 9). Både effekten av behandlingen og den gradvise reduksjonen i størrelse med tidspunkt for slipp er statistisk signifikant (kovariansanalyse). Man skal merke seg at vekttapet er mest tydelig for de ubehandlede gruppene som ble sluppet i mai, og som ikke hadde dårligere gjenfangst enn behandlet smolt. Dette kan tolkes som at antallet lakselus har vært for lavt til å ta livet av denne fisken, men samtidig høyt nok til å påvirke fisken negativt, for eksempel pga. fysiologiske problemer, redusert appetitt eller endret adferd. Dataene vil for øvrig bli analysert vha. DNA-fingerprinting i løpet av 2004 for om mulig å avdekke forskjeller mellom familiene i deres respons til lakselus.

Den overraskende store forskjellen i vekt mellom gruppene, blant annet i forhold til lignende forsøk i merder, tyder på at problemene har fulgt den ubehandlede smolten over lang tid. Virketiden av medisinføret er anslått til åtte–ti uker. Dette betyr at smolten kan ha fanget opp lakseluslarver over en lang strekning, fra fjord langs kysten til åpent hav. Den har da fått en dårlig start på livet i åpent hav der mattilbudet er stort på denne årstiden, og ikke klart å kompensere for veksttapet. I tillegg kan den ha hatt lakselus som blindpassasjerer i lengre tid. God vekst tidlig på sommeren er sannsynligvis årsaken til at fisken fra det første slippet i mai 2002 er klart større enn fisk fra senere slipp.

### ER SMOLTDØDELIGHET BARE TOPPEN AV ISFJELLET?

Dødelighet hos utvandrende smolt som følge av for mye lakselus kan muligens sammenlignes med toppen av et isfjell. Den hardest angrepne smolten dør, men det kan være like uheldig for produksjon av laks i en elv og mengden egg som gytes at de overlevende vokser dårlig i sjøen. For små bestander i oppdrettstunge områder, som i tillegg blir negativt påvirket av oppvandring av rømt oppdrettsfisk, kan dette i verste fall føre til en svekkelse av stammens reproduksjonspotensial.



**Figur 9**

Vekt på smålaks i sportsfisket i Daleelv i 2003, sluppet som smolt på tre tidspunkt i 2002. Halvparten av smolten var behandlet mot lakselus før slipp.

*Weights of the micro tagged grilse angled in the River Dale in 2003 released as smolts at three dates in 2003. Half of the fish was treated against salmon lice prior to release.*

## 1.9

# Rigor mortis – dødsstivhet, avgjør kvalitet og økonomisk gevinst

Stine Beate Balevik og Erik Slinde, Havforskningsinstituttet

“Døden er en prosess og ikke en hendelse”, heter det i biologien. Med dette mener man at de biokjemiske prosesser ikke stopper opp umiddelbart etter at sirkulasjonssystemet og oksygentilførselen stanser, men avtar gradvis over tid. *Rigor mortis* eller dødsstivhet kjenner vi best fra mordetterforskning i kriminalromaner – når inntraff døden? Sammen med obduksjon kan tidspunktet fastsettes med timers nøyaktighet. Derimot er det noen usikkerhetsmomenter som må tas hensyn til, og den viktigste er temperaturen. Ligger liket i et varmt rom eller nær en ovn, vil dødsstivheten inntre raskere enn om liket blir funnet ute en kald vinterdag. For kaldblodige dyr, som laks og annen fisk, vil tiden da dødsstivhet inntre henge sammen med sjøtemperaturen og hvordan fisken blir behandlet etter avlaving. Vannbindingsevne, drypptap, vekt og kvalitet er avhengig av hvordan fisken gjennomløper *rigor mortis*, og de økonomiske konsekvensene kan være store. Derfor er det viktig å forstå denne prosessen.

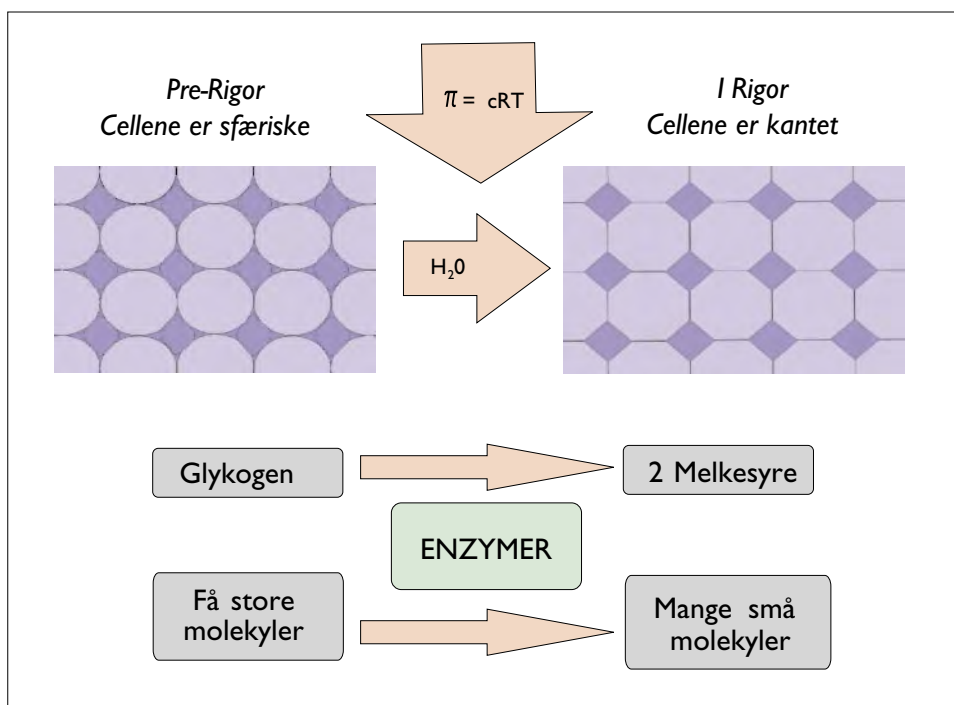
Dødsstivhet er prosessen som omdanner muskel til kjøtt. Denne prosessen er avgjørende for kjøttets tekniske og sensoriske kvalitet, i tillegg til holdbarhet. Alle dyr gjennom-

løper dødsstivhet, og en kontrollert og forstått dødsstivhet i et prosessanlegg vil gi de beste økonomiske resultater.

## HVA SKJER I MUSKELEN VED DØDSSTIVHET?

Muskelen er bygget opp av muskelfibrer (muskelceller) som blant annet inneholder de to muskelproteinene aktin og myosin. Disse er organisert slik at de kan gli mellom hverandre, omtrent som når vi folder hendene våre. Når en muskel skal trekke seg sammen (kontrahere), trenger den en nerveimpuls og et signal ( $\text{Ca}^{2+}$ ) som utløser sammentrekkingen. Merkelig nok er det slik at når en muskel skal slappe av, bruker den energi (ATP). Det er derfor vi har stive muskler etter aktivitet, fordi det ikke er nok energi til å løse opp muskelsammentrekningene.

Energi kan lages med og uten oksygen. Ved en kraftutfoldelse brukes det energi. Når kraftanstrengelsen vedvarer over tid, trenger muskelen mer oksygen enn det kroppen klarer å tilføre. Muskelen omdanner da sukker (glukose) til energi uten bruk av oksygen, og resultatet av dette er at det dannes melkesyre. For hvert glukosemolekyl dannes det to molekyler av melkesyre. Over tid blir nivået av melkesyre så høyt og



**Figur 1**

Den osmotiske endringen som skjer i muskelcellene under dødsstivhet. Den enzymatiske nedbrytningen øker antall molekyler inni cellene. Det osmotiske trykket ( $\pi = cRT$ ) øker, og cellene endres fra en sfærisk til en mer kantet form på grunn av vanninnstrømmingen.

*The osmotic change in muscle cells during rigor mortis. The enzymatic breakdown increases the number of molecules within the muscle cells. The contour of the cells changes from a spherical to a more edged form due to osmotic influx of water ( $\pi = cRT$ ).*



surhetsgraden (pH) så lav at aktin og myosin slutter å bevege seg. Det er ikke energi til å slappe av, og muskelen blir stiv og sur. Det er i prinsippet det samme som skjer under dødsstivhet, men nå forblir aktin og myosin fastlåst, fordi mangelen på energi gjør at aktomyosinlåsen ikke kan åpnes.

#### **OSMOSE ER ÅRSAKEN TIL SELVE STIVHETEN**

Etter hvert som melkesyre hopper seg opp inni muskelcellene, vil det bli flere molekyler inne i cellen enn utenfor. Dette resulterer i et økt osmotisk trykk inne i cellen ( $\pi = cRT$ ). (Figur 1) Det osmotiske trykket uttrykkes ved formelen  $\pi = cRT$ , der c står for antall molekyler inni cellen, R for gasskonstanten og T er temperatur. Osmose er diffusjon av vann gjennom en semipermeabel (delvis gjennomtrengelig) membran. Vannet utenfor cellene vil derfor transporteres inn i cellen for å utligne trykkforskjellen. Væsknivået inni cellen vil nå øke, og følgelig vil cellene bli utspente. Det er dette som er årsak til selve stivheten. Dersom man ser i mikroskopet på en muskelpreve før og i dødsstivhet, kan man se at cellenes form er endret. Før dødsstivhet inntreer er cellene bulkete og runde, og har en markert cellemembran. Når den lille mengden vann utenfor cellene blir trukket inn, blir cellene mer oppblåste og mer kantete.

#### **VANN ER DET BILLIGSTE NÆRINGSMIDDELET MAN KAN SELGE**

Faktorer som fiskeart, kondisjon, størrelse, stress før avlaving, mekanisk stress ved filetering og hvilken temperatur fisken har før avlaving, er avgjørende for når dødsstivheten inntreffer.

Fisk er vekselvarm, og temperaturen i selve fisken under avlaving er avgjørende for hvordan den gjennomløper dødsstivheten. På de fleste fiskeslakterier blir fisk håvet fra merd, slaktet og filetert rett etter avlaving. Deretter blir den lagt på is og transportert til kjøper mens fileten gjennomgår døds-

stivhet. Dette skjer uten at fileten henger fast til ryggbenet, og dermed trekker den seg sammen og forkortes. Inntreffer det ved lave temperaturer, kan muskelforkorting bli kraftig. Dette kalles kuldeforkorting. Cellene i fileten revner og væske renner ut, vi får et væsketap og spaltet fileten. Et stort drypptap vil føre til tap av både vekt, kvalitet og penger.

Fisk bør først fryses etter at den har gjennomgått rigor. Dette er for å unngå såkalt tine-rigor, som kan forklares slik: Dersom man fryser ned fisk før dødsstivheten inntreer, inneholder muskelen fortsatt energireserver. Disse brukes opp under tining, og det oppstår en kraftig sammentrekning som gir et ekstra stort væsketap. På norske fabrikktrålere har man verken tid eller lagringskapasitet til mellomlagring av fisk før den kommer til land. Fisken fileteres umiddelbart etter fangst og fryses i blokk eller porsjonspakninger. Drypptapet ved tining er da ekstra stort.

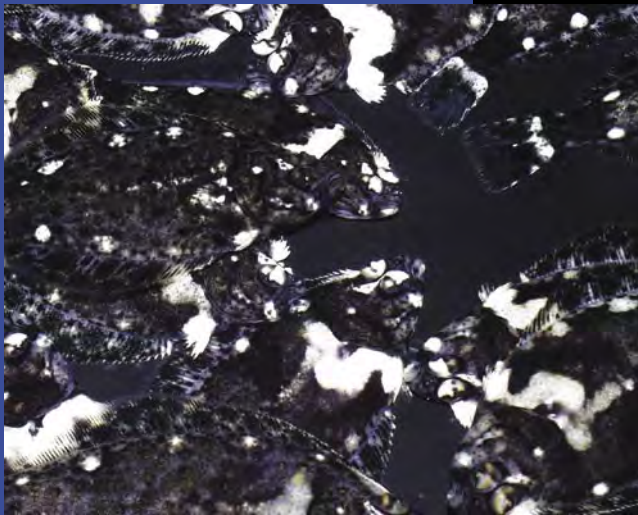
#### **HVEM BETALER REGNINGEN?**

Muskelforkorting og tine-rigor er mest tydelig hos sei og annen torskefisk. Når slik fileten tines, ser vi at muskelsammentrekningen forkorter fileten, i enkelte tilfeller til det halve. Samler vi opp væsken som renner av ved tining, kan denne utgjøre så mye som halvparten av den opprinnelige vekten. Fiskefileten er nå tørr og trevlet og smaker helt annerledes enn fersk fisk.

Hvem som betaler for denne "nye" kvaliteten er vanskelig å si, og det vites heller ikke hvem som betaler for den halve vekten som rant bort. I dag vet man mye om hvordan muskelproteinene låser seg, men mindre om hvordan vannet i fisken som utgjør 70–80 %, oppfører seg. Når det gjelder varmblodige dyr, er riktig kjøling og mørning en prosess som vies stor oppmerksomhet, og riktig temperaturprogram gir mørt kjøtt. Når det gjelder laks og annen fisk, er disse fenomenene knapt nok studert.

# Kapittel 2

Marin fisk



## 2.1 Oppdrett av torsk

Ørjan Karlsen, Havforskningsinstituttet

Det er fortsatt rask vekst i produksjonen av torskelyngel, og stadig mer av yngelen kommer fra intensiv produksjon. I 2003 ble det produsert rundt fem millioner yngel totalt, men deler av den intensive produksjon var fisk med deformasjoner som ikke var egnet for videre oppfôring. Poll- og poseprodusentene har hatt et relativt godt år, med en samlet yngelproduksjon på over 1 million. Eksporten av oppdrettstorsk, inkludert oppfôret villtorsk, økte fra 257 tonn i 2002 til 605 tonn i 2003, og eksportprisen for sløyd med hode var i snitt kr 36,- per kg. Innledende markedsundersøkelser indikerer at oppdrettstorsk får gode skussmål. I løpet av 2003 er fire–fem store matfiskanlegg satt i drift, hver med en produksjonskapasitet på over 500 tonn årlig. Basert på utsettene av settefisk i 2002 må man forvente en betydelig produksjonsøkning i 2004.

Det er for tiden 17–18 yngelanlegg i drift, og produksjonen i 2003 utgjorde kanskje opp mot 5 millioner settefisk. Av dette stod pollprodusentene for over 1 million. I *Havbruksrapport 2003* ble yngelproduksjonen for 2002 estimert til 3 millioner. De offisielle tallene er omtrent halvparten (1,6 millioner) av dette. Forskjellen skyldes både ulikheter i synet på hvor stor torskens må være før den regnes som settefisk – det er derfor mulig at tallene for 2003 inkluderer en del av

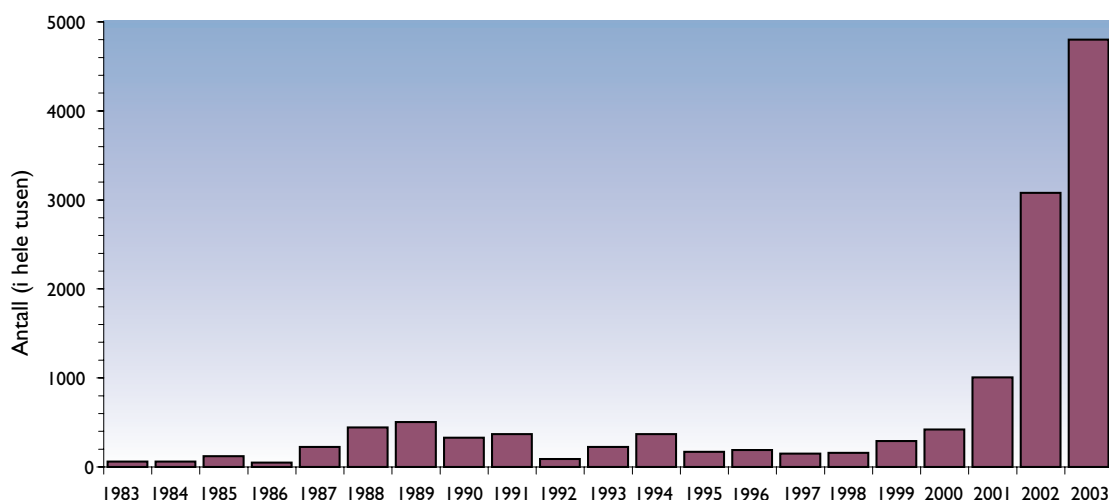
høstproduksjonen 2002 – og at en del fisk er sortert ut både pga. størrelse og deformasjoner. Prisen på settefisk falt til under kr 10,- per stk.

### MATFISK

Salget av oppdrettstorsk til konsum er fortsatt på et ganske beskjedent nivå (Figur 2), men de relativt sett store yngelutsettene vil nødvendigvis måtte medføre en betydelig økning i omsatt volum de neste par årene. Figur 2 inkluderer ikke oppfôret villfisk.

### EGGKVALITETEN ER TEMPERATURAVHENGIG

Mange av yngelanleggene har flere grupper stamfisk hvor gyteperioden er forskjøvet i forhold til normal gyteperiode. Eggproduksjonen har vært god, men tidvis er det lav befruktningprosent. For å oppnå egg av god kvalitet er det en forutsetning at temperaturen holdes lavere enn 9 °C, både under gonadeoppbyggingen (fire måneder i forkant) og gjennom gytingen. Erfaringene tilsier at spesielt den første gytingen etter sesongskifte ikke vil være så synkronisert som normalt, og befruktningprosenten er ofte noe lavere. Det er ikke nødvendig med en temperaturprofil som gjenspeiler årssyklusen for å få gyting, men om temperatur har en medvirkende synkroniserende effekt er foreløpig ikke avklart. Mot slutten av



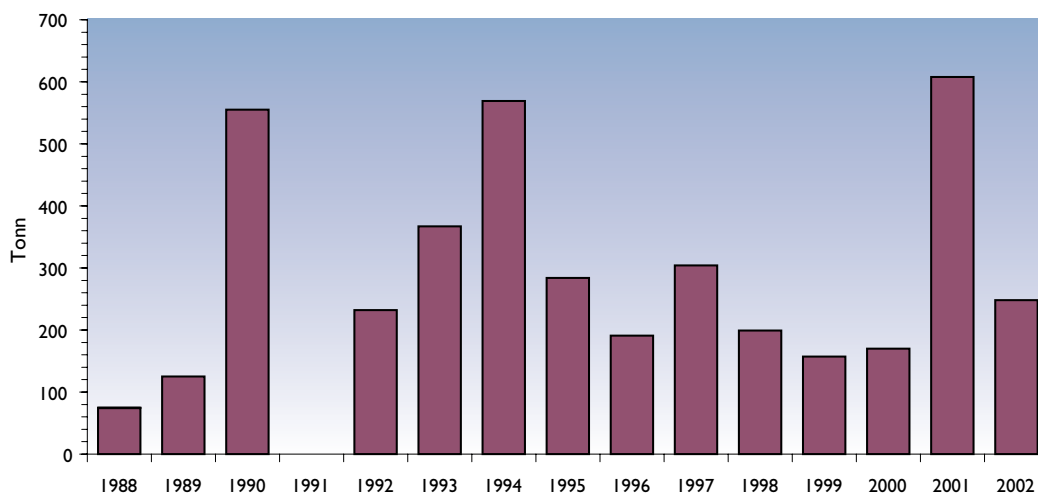
**Figur 1**

Produksjon av torskelyngel i Norge fra 1983–2003 (Kilde: Oppdrettere og forskningsinstitusjoner).

Produksjonen for 2003 er estimater beheftet med en del usikkerhet.

*Total production of cod fry in Norway 1983–2003 (Source: Producers and research institutes).*

*Numbers for 2003 are uncertain estimates.*



**Figur 2**

Mengde norsk oppdrettstorsk solgt til konsum i perioden 1988–2002. Data fra 1991 er usikre og derfor ikke inkludert. Figuren inkluderer heller ikke oppfôret villfisk (Kilde: Fiskeridirektoratet).

*Harvest of cod from Norwegian cod farms during 1988–2002. The statistics from 1991 are uncertain and therefore not included; neither is numbers concerning wild cod caught from the sea and fed (Source: The Directorate of Fisheries).*

sesongen blir det gjerne lavere befruktingsprosent. Dette skyldes delvis at hannene har lite melke, og at denne har dårlig kvalitet. Noen hunntorsk kan svulme kraftig opp i gytesesongen og dø. Disse kalles irregulære gytere, og årsaken til oppsvulmingen er at fisken ikke slipper eggene. Det kan virke som om dette problemet delvis kan skyldes ugunstige karforhold, slik som høy biomasse, stor vannstrøm eller mye turbulens.

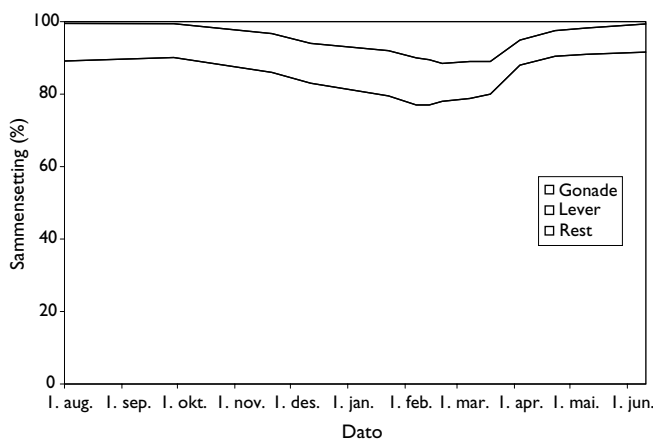
Flere oppdrettere prøver ut våtfôr til stamfisken. Kunnskapen om ernæringsbehovet til stamfisk er ikke det beste, men benytter man våtfôr er det viktig at fôret er fryst før det brukes, for å unngå parasitter. Videre må det tilsettes vitaminer. Bruker man fisk som våtfôr, skal denne være hodekappet. Årsaken er at hodet inneholder mye thiaminase som bryter ned thiamin (B1-vitamin) i fôret.

### VEKST OG KJØNNMODNING

Enkelte rapporterer at veksten i matfiskanleggene er lavere enn forventet, slik at slaktestørrelsen da er mindre. Fisken som slaktes i 2004 er satt ut i 2001 og 2002. Spesielt sommeren 2002 var temperaturen på Vestlandet for høy til at fisken vokste. Ved Havforskningsinstituttet Austevoll hadde vi svært dårlig vekst på stor fisk i flere måneder. Høy temperatur medførte også en del dødelighet. Dette skyldtes ikke nødvendigvis temperaturen i seg selv, men var et utslag av f.eks. manetproblemer.

I tillegg opplevde mange at fisken kjønnsmodnet før den nådde slaktestørrelse. Normalt kjønnsmodner all oppdrettstorsk i en alder av om lag 22 måneder, i tillegg vil en andel av hannene gyte før de er ett år gammel. Tilgjengelige vekstformler fanger i liten grad opp ekstremtemperaturene, og heller ikke betydningen av kjønnsmodning. Den negative effekten kjønnsmodning og gyting har på tilvekst skyldes flere faktorer. Appetitten reduseres en–to måneder før gyting og holder seg lav nesten hele gytesesongen. En del av inntatt fôr brukes

til oppbygging av gonadene, deres vekst og utvikling finner hovedsakelig sted i tidsrommet november–januar. Torsk taper 25–35 prosent av vekten den hadde i januar i gytesesongen, og denne vekten har den ikke oppnådd før i juni, da har den erstattet gonadevekten med muskelvekt. Til sammen vil dette medføre betydelig redusert tilvekst, økt produksjonstid og økt fôrfaktor. Leveren forbrukes gjennom gytingen, men den vokser fort etterpå, og er oppe i normal (10–12 %) størrelse i juni. Figuren nedenfor illustrerer vekstforløpet til en førstegangsgytinge 22 måneder gammel oppdrettstorsk gjennom modningen, presentert som hvordan vekten av fisken fordeler seg på lever, gonade og resten (muskel, hode m.m.).



**Figur 3**

Endring i prosentvis sammensetting av gonade, lever og resten av førstegangsgytinge oppdrettstorsk. Rest er totalvekt eksklusiv lever og gonadevekt.

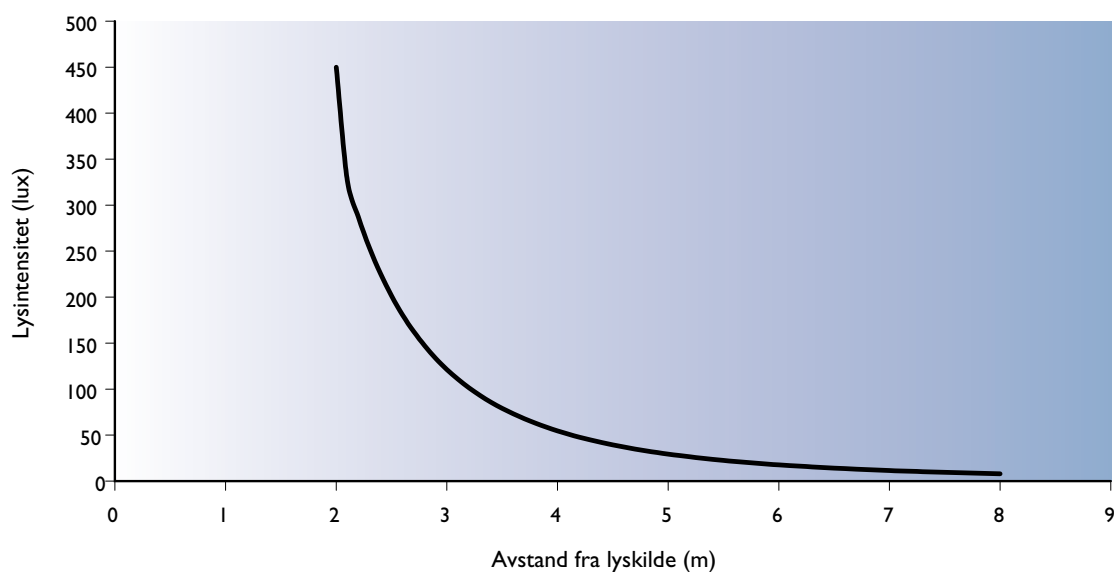
*Development of per cent contribution from liver, gonad and remains of first-time spawning farmed cod. Remains is total weight exclusive liver and gonads.*

Tidlig kjønnsmodning i oppdrett henger sammen med gode vekstforhold. Forsøk utført ved Havforskningsinstituttet Matre har vist at innendørs kan man utsette modningen med over ett år ved bruk av kontinuerlig lys. Det samme forsøket viste også at torsk som holdes på kontinuerlig lys fram til vintersølv modner raskt om de overføres til naturlig lysrytme, og vil gyte, om enn noe forsinket i forhold til normal gytetid. Tilsvarende finner man at fisk som holdes på naturlig lys frem til vintersølv, for så å settes over på kontinuerlig lys, modner hurtigere enn ved et normalt gyteforløp.

Bruk av lys i merder gir ikke like entydige og gode resultater. Vanligvis utsetter en modningen med fire–seks måneder ved å sette på lys; enten fra våren når fisken er om lag ett år gammel, eller fra sommeren halvåret før forventet første gyting. I forsøk ved Havforskningsinstituttet Austevoll finner man at i utendørs kar med 70 % lysreducerende dekknøter utsettes modningen med minst ett år dersom det benyttes svært sterkt tilleggsllys. I kar med svakere tilleggsllys har lyset mindre effekt. Dette indikerer at lysintensiteten er viktig for å utsette alder ved kjønnsmodning. Foreløpig indikerer karforsøkene med nødvendig lysintensitet med metallhalogenlamper at en trenger mellom 300 og 900 lux. Dette er svært sterkt lys, og i kommersielle anlegg er det svært vanskelig å

oppnå slike lysintensiteter da lyset tapes så fort, selv i klart vann (Figur 4).

Forsøk hvor en har redusert vekst og energilagring ved redusert føring indikerer at i hvert fall hannene blir påvirket av reduksjoner som skjer mellom oktober og januar før torsken er ett år gammel. Lengre perioder med forreduksjoner fra høsten før fisken er ett år gammel har også vist seg å kunne redusere andel modne hunnfisk (22 md. gammel). Disse resultatene er basert på pollprodusert fisk som følger en normal årsrytme med hensyn til lys. Da en god del av torsken som er produsert i intensive systemer med kontinuerlig lys, settes ut på ulike tider av året, vil det medføre at kontrollen en har med hvilken status fisken er i med hensyn til tidsutviklingen av kjønnsmodningen stort sett er ukjent. Vi mangler foreløpig gode data for hvordan kjønnsmodningen blir påvirket av utsett ved ulike tidspunkt. Feil bruk av lys kan fremskynde modningen; Vi har indikasjoner på at fisk som ble holdt innendørs med kontinuerlig lys og satt ut i juni med kontinuerlig tilleggsllys fra 400 W overflatelyst i 5x5x5 meters nøter fikk fremskyndet modningen med én–to måneder. Trolig har tilleggsllyset i merdene vært for svakt til å overskygge det naturlige lyset. Det er derfor viktig at det gjennomføres observasjoner og forsøk for å avklare bruken av tilleggsllys for å påvirke alder ved puberteten.



**Figur 4**

Tap av lysintensitet i klart vann som funksjon av avstand fra lyskilde.

*Reduction of light intensity in clear water measured as a function of the distance from a light source.*

## 2.2

## Avlsarbeid skal sikre lønnsomheten i torskeoppdrett

Atle Mortensen og Kjersti Fjalestad, Fiskeriforskning

**I 2002 startet Fiskeriforskning planleggingen av et avlsprogram for torsk, og i 2003 ble de første familiegruppene av torsk produsert ved Havbruksstasjonen i Tromsø. Det forventes at avlsprogrammet skal frambringe en torsk som har bedre produksjonsegenskaper i oppdrett enn villtorsk, og dermed bidra til å sikre lønnsomhet i torskeoppdrett i årene som kommer.**

Avlsarbeid går ut på å systematisk plukke ut de individene som skal bli foreldre til neste generasjon, slik at den neste generasjonen er bedre enn den eksisterende med hensyn til utvalgte egenskaper som for eksempel vekst.

**AVLSSTRATEGIER**

Den klassiske måten er å plukke ut de nye foreldrene basert på prestasjonene de selv og nære slektninger (søsken og halvsøsken) har fremvist innen de når kjønnsmoden alder. Et problem med denne utvalgsmetoden er at prestasjonene til de enkelte individene ikke bare er et resultat av genene de besitter, men også skyldes miljømessige påvirkninger. Problemet kan i teorien løses dersom man vet hvilke gener som styrer de ønskede egenskapene. Ved hjelp av genteknologiske metoder kan så individer som besitter den rette genkombinasjonen identifiseres og plukkes ut direkte. Det er imidlertid slik at de fleste viktige egenskapene styres av et stort antall gener. Når det gjelder vekst hos fisk, regner man med at langt over hundre gener er involvert, og vi har på langt nær oversikt over hvilke roller de enkelte genene spiller. Det er derfor ennå ikke mulig å anvende denne metoden i praktisk avl.

Sammenliknet med andre husdyr har fisk et svært høyt antall avkom. Det er til stor fordel når det gjelder avl, fordi man da kan gjøre et svært strengt utvalg. Videre gir det muligheten til å drive familieutvalg, som er en mer effektiv utvalgsmetode enn individutvalg. Det man gjør er å produsere fram et stort antall hel- og halvsøskengrupper som etter yngelfasen fordeles på flere forskjellige teststasjoner hvor de holdes til de når slaktemoden størrelse. Dermed kan man innhente opplysninger om hvordan familiene klarer seg under forskjellige miljømessige forhold, og i neste omgang plukke ut de nye foreldrefiskene fra de familiene som har utmerket seg.

For å holde kontroll på familiegruppene i yngelfasen må gruppene holdes hver for seg inntil yngelen er blitt så stor at de kan individmerkes. De kan da slås sammen i større grupper, slik at man oppnår mest mulig like miljøforhold i prosessen videre. Alternativt kan yngelen oppdrettes sammen fra første stund, og så kan man på et senere tidspunkt identifisere mor

og far ved hjelp av molekylærgenetiske metoder. På grunn av høye kostnader med den genteknologiske metoden samt stor usikkerhet med hensyn til hvilken sammensetning materialet da vil få, har vi når det gjelder torskeavl valgt å starte på den klassiske måten med produksjon av separate familiegrupper.

For å oppnå en effektiv seleksjon og unngå faren for tap av gener og innavl, må avlen baseres på et relativt høyt antall familiegrupper. Innavl medfører at ytelsene til den fremavlede fisken vil begynne å avta etter noen generasjoner. For å hindre at innavlsgraden øker utover et akseptabelt nivå, bør avlen baseres på minst 50 familiegrupper. Skal vi kunne oppnå den avlsmessige fremgangen vi ønsker, bør imidlertid antallet være høyere, og vi tar sikte på at torskeavl i framtiden skal baseres på 200 familiegrupper.

**OPPSTART AV AVLSPROGRAMMET**

Et avlsprogram med kapasitet til å produsere 200 familiegrupper krever at det etableres en egen avlsstasjon for torsk. I påvente av at dette skal skje, har vi startet avlsprogrammet i en litt mindre skala i eksisterende lokaler ved Havbruksstasjonen i Tromsø. I første halvår 2003 ble det installert fasiliteter for produksjon av familiegrupper av torsk i en avdeling ved stasjonen. Anlegget er utstyrt med 84 startføringsskar (Figur 1) som gjør det teoretisk mulig å produsere inntil 84 familiegrupper på en gang. Anlegget har et tilstrekkelig antall inkubatorer til å utnytte denne kapasiteten fullt ut samt kar for



Foto: Fiskeriforskning / Norwegian Institute of Fisheries Research

**Figur 1**

Startføring av torskelarver i små kar.  
Start feeding of cod larvae in small tanks.

påvekst av yngel før utsetting i merd. Funksjonelle fasiliteter for produksjon av levendefôr (rotatorier og *Artemia*) og nytt vannbehandlingsanlegg med proteinskimming og vakuumdegassing er etablert. En plashall på stasjonsområdet huser en stamfiskavdeling med kar for hold av stamfisk og gytekar der torskene kan gyte parvis.

Til produksjonen av de første familiegruppene ble det benyttet kysttorsk fra Sogn og Fjordane og skrei. Stamfisken (Figur 2) ble anskaffet høsten 2002 og karakterisert med hensyn til variasjon i pantophysin-locuset (Pan 1), for å skille mellom kysttorsk og skrei. Stamfisken ble først oppbevart i merder, men brakt inn i stamfiskhallen før gytesesongen startet. Da gytingen startet i oppbevaringskarene, ble gyteklar fisk parvis plukket ut og plassert i gytekar for produksjon av rene familiegrupper. Den parvise gytingen gikk tregere enn antatt, og mange par måtte sjaltes ut da de ikke hadde frembrakt avkom i løpet av ei uke i gytekarene. Den parvise gytingen strakte seg dermed ut i tid, og da vi avsluttet denne prosessen etter åtte uker satt vi igjen med 30 familiegrupper. Det var i underkant av hva vi hadde håpet på.

Vi valgte derfor også å legge inn rogn fra gyting i felleskar. Fra dette materialet ble det tatt vevsprøver fra hvert individ ved merking. Vevsprøvene blir så brukt i DNA-analyser for å fastslå hvem som er foreldre, og gi svar på om vi har fått familiegrupper fra fellesgytingene som kan supplere familiegruppene vi fikk fra den parvise gytingen.

På tampen av gyteperioden besluttet vi å stryke de gjenværende gytemodne stamfiskene. Denne metoden har tidligere gitt svært variable resultater. Vi oppnådde imidlertid gode resultater med to av tre par. Det indikerer at stryking kan være et alternativ til frivillig parvis gyting. Det vil i tilfelle fjerne behovet for gytekar, og vil trolig gjøre det mulig å konsentrere eggproduksjonen i tid. Dette vil være gunstig med tanke på å kunne sammenligne de forskjellige familiegruppene i et avlsprogram.

Yngelproduksjonen pågikk under vanskelige forhold, da oppbyggingen/monteringen av det nye anlegget foregikk parallelt med selve produksjonen. Opplæring av driftspersonellet måtte også skje samtidig. Men med stor innsats fra

avlsprogrammets forskere samt røktere og teknikere fra Havbruksstasjonen, lyktes det å drive levendefôrproduksjonen, klekkingen og startfôringen slik at vi fortsatt sitter igjen med ca. 25 familiegrupper med et tilstrekkelig antall yngel pluss eventuelle familier fra fellesgytinger. I løpet av september/oktober ble yngelen individmerket med et elektronisk merke (pit tag). Etter merking ble familiene slått sammen i større grupper og deretter overført til merder i sjø i februar.

Det er høstet betydelig erfaring med intensiv yngelproduksjon i små enheter (Figur 2) i løpet av første driftsår. Driften av et så stort antall enheter som et avlsprogram forutsetter er svært arbeidskrevende, særlig når det gjelder fôring og renhold. Utviklingen av metodikk og utstyr som senker behovet for manuelt arbeid er derfor svært viktig med tanke på oppskalering av avlsprogrammet til full størrelse.

### FORSKNINGSAKTIVITET

Avlsforskningen vil konsentreres om oppgaver som er viktige for gjennomføringen av avlsprogrammet. For å bestemme hvilke egenskaper som skal inngå i avlsmålet, må det skaffes informasjon om de enkelte egenskapenes arvbarhet og variasjon, slik at vi blir i stand til å anslå hvilken avlsmessig fremgang som kan forventes. Dette må så vurderes opp mot egenskapenes økonomiske betydning, der det også tas hensyn til at jo flere egenskaper det avles på, jo mindre blir fremgangen for den enkelte egenskap.

Veksthastighet og alder ved kjønnsmodning er de kanskje mest aktuelle egenskapene å begynne med. Disse er enkle i den forstand at informasjonen om arvbarhet og variasjon kan høstes i selve produksjonsprosessen. Sykdomsresistens er vanskeligere, og krever eksperimentelle studier for hver enkelt sykdom. Vi er imidlertid godt utrustet for denne type studier, og vil i første omgang undersøke om det er noen familiemessig variasjon med hensyn til motstandsdyktighet mot klassisk vibriose.

Det er utviklet en genteknologisk metode for å kunne bestemme familietilhørighet. Metoden, som er basert på analyse av fem mikrosatellitter, er svært presis. Den er hittil benyttet i en studie av gyteadfærd hos torsk, men vil bli et viktig verktøy i den framtidige avlsforskningen. Vi vil videre benytte genteknologiske metoder til å kunne kartlegge gener som styrer sykdomsresistens. Forskningen i avlsprogrammet er også rettet mot å optimalisere yngleproduksjonen. Målet er en mer forutsigbar produksjon der tilfeldig variasjon reduseres og den genetiske effekten trer tydeligere fram.



Foto: Fiskeriforskning / Norwegian Institute of Fisheries Research

**Figur 2**  
Gytemoden torsk.  
Cod ready for spawning.

## 2.3

## Torskeyngel med “nakkeknekk” utgjør et av hovedproblemene i intensivt oppdrett i dag

Geir K. Totland, Harald Kryvi og Sindre Grotmol  
Zoologisk institutt, Universitetet i Bergen

Unormal vinkel mellom kraniet og den fremste del av ryggraden, populært kalt “nakkeknekk”, har i 2003 vært den vanligste skjelettmisdannelsen hos torsk fra intensivt oppdrett. Hyppigheten har variert, og i enkelte yngelgrupper har over 80 % hatt denne misdannelsen. Ved å følge fire grupper torsk fra klekking til yngelstadium har vi dannet oss et bilde av hvordan misdannelsen utvikler seg. Vi vet ennå ikke nok om hvilke mekanismer som ligger bak, men i denne artikkelen vil vi diskutere mulige årsaker.

Våre undersøkelser viser at feilutviklingen starter tidlig, allerede en uke etter klekking, det vil si to–tre uker før dannelsen av ryggvirvlene starter. Den første observerbare skaden er knyttet til notochorden (ryggstrengen), som er den funksjonelle forløperen til ryggraden. Notochorden blir deformert av et press fra svømmeblæren, som ligger umiddelbart under. Presset kan oppstå som følge av unormal utvidelse av selve svømmeblæren, eller på grunn av at andre organer i bukhulen utvider seg. I begge tilfeller vil svømmeblæren påføre notochorden et lokalt trykk i den fremste delen, som fører til deformasjon. Siden notochorden fungerer som en støpeform under dannelsen av virvlene, får disse feil form i de områder der notochorden er deformert. Den unormale formen på virvlene fører til at ryggraden får en varig unormal krumming i området over svømmeblæren (dorsal kurvatur), som manifesterer seg på yngelstadiet i form av “nakkeknekk”.

#### PRØVETAKING OG METODIKK

Torskelarvene i denne undersøkelsen stammet fra tre intensive produksjonsanlegg. De ble startfôret med hjuldyr og deretter saltkrepsen *Artemia* før gradvis tilvenning til tørrfôr. Prøver ble tatt to ganger per uke i de seks første ukene etter klekking, deretter en gang per uke frem til etter metamorfose. Også større fisk (opptil 50 g) med misdannelsen “nakkeknekk” ble undersøkt.

Larvene ble fiksert, bløtvev enzymatisk fordøyet, pigment bleknet ved oksidasjon, beinvev farget med fargestoffet

Alizarin rød, og til slutt ble preparatene oppklart i lut, slik at hele skjelettet kunne observeres. Alizarin rød binder seg spesifikt til kalsium, slik at bein fremtrer rødt. De alizarinfargede preparatene ble undersøkt med hensyn til misdannelser i notochorden og i virvelsøylen. Individuer fra hver prøve ble også fiksert til lysmikroskopisk histologi, og innstøpt i plast. Plasten ble snittet i 1/1000 mm tykke snitt, som ble farget og brukt til å belyse relasjoner mellom notochorden, ryggvirvlene, svømmeblæren og andre indre organer.

#### NORMAL DANNEELSE AV RYGGGRADEN HOS TORSK

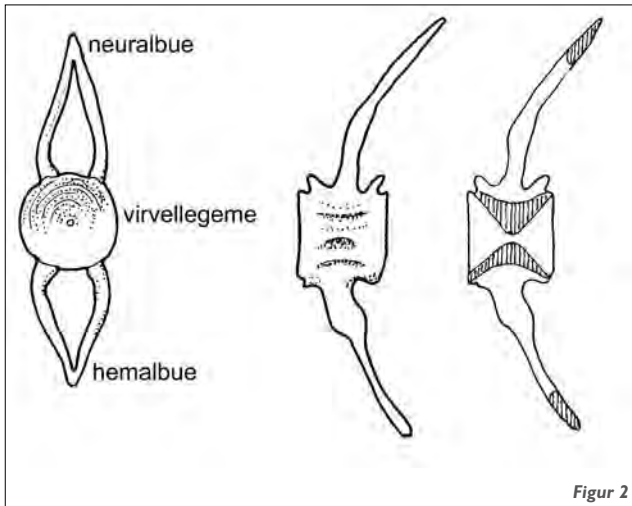
Hos torsk er den tidlige utviklingen av ryggraden i liten grad beskrevet, det gjelder både utviklingsmekanismer og rekkefølgen i dannelsen av virvler med tilhørende strukturer. I perioden før ryggraden dannes, har fiskelarver en langsgående støttestruktur på ryggstiden som kalles notochord eller ryggstreng (*noto-* er gresk og betyr rygg, mens *-chord* betyr streng). Denne utgjør et stavformet væskeskjelett hvor den innerste delen består av celler med hver sin store væskfylte blære (vakuole). Cellene er omsluttet av en fibrøs skjede som blir spent ut av væsketrykket som vakuolene fremkaller. Denne konstruksjonen hindrer sammenpressing av kroppen i lengderetningen, men den kan lett beveges fra side til side, slik at den gir støtte for svømmebevegelsene. Notochorden er dessuten viktig for normal utvikling av kroppsform og lengdevekst i fosteret (embryoet).

En forutsetning for å forstå hvordan misdannelser i virvelsøylen oppstår, er kunnskap om virvlernes normale oppbygging og dannelses. Alle fiskevirvler har en neuralbue på ryggstiden som omslutter og beskytter ryggmargen (*neural-* er latin og betyr nerve). Virvlene har i tillegg en hemalbue på buksiden i regionen bak bukhulen (*haem* er gresk og betyr blod). Denne omslutter hovedpulsåren til og venen fra haleregionen. Både neural- og hemalbuene er forbundet med virvellegemet, som er den sylindermete midtre del av virvelen. Virvellegemene hos beinfisk har timeglassform, det vil si de har en konisk uthuling i hver ende (Figur 2).

**Figur 1**  
Torskeyngel med “nakkeknekk”.  
Juvenile cod with “crock in the neck”.







Figur 2

### NOTOCHORDEN UTGJØR EN STØPEFORM UNDER DANNELSEN AV VIRVELLEGENE

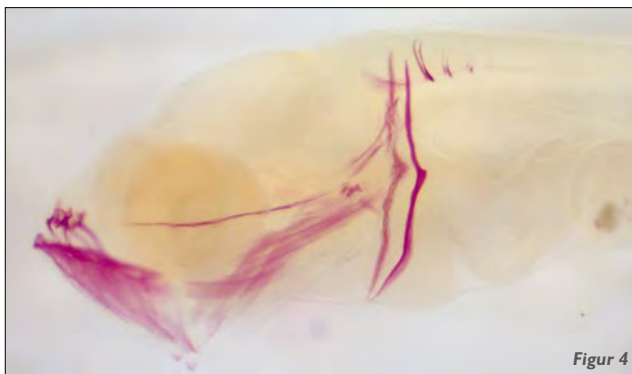
Spesielt for beinfisk er at anleggene til virvellegemene blir dannet inne i selve notochorden. Den fungerer derfor som en støpeform for virvellegemene ved at den første beindannelsen kan ses i form av tynne, ringformete, segmentale strukturer (chordacentre) inne i notochordskjeden. Hver beinring fungerer som et fundament for videre vekst av virvellegemene. Veksten skjer ved direkte beindannelse fra celler (osteoblaster) som omgir notochorden. Beinveksten, som er størst langs den fremre og bakre kanten av beinringene i notochordskjeden, gir den karakteristiske timeglassformen. På røntgenbilder tatt fra siden avspeiles denne formen som et X-format kryss. Det innhule området på hver side av virvellegemene er fylt av væskerikt notochordvev, som fungerer som en støtpute. Notochordskjeden bidrar til leddbåndene som knytter virvellegemene sammen.



Figur 3

### VIRVELSØYLEN ER FERDIG DANNET OMKRING 50 DAGER ETTER KLEKKING

Neuralbuen til den første virvelen bak kraniet blir dannet først (Figur 3). Dette skjer omkring 21 dager etter klekking, og deretter blir neuralbuene på de bakenforliggende virvlene dannet, en etter en (Figur 4, 5 og 6).



Figur 4

#### Figur 2

Skjematiske skisser for å illustrere oppbyggingen av ryggvirvler hos fisk. Til venstre en virvel fra haleregionen sett forfra. I midten en virvel sett fra siden, mens virvelen til høyre er delt på langs i midtplanet for å vise timeglassformen, med et kjegleformet, innhult område på hver side av virvellegemet.

*The organization of a fish vertebra from the tail region. To the left is a cranial view, in the middle a lateral view, while the vertebra to the right is divided in the median plane to reveal the biconoid shape of the vertebral body.*

#### Figur 3

21 dager etter klekking. De to anleggene til neuralbuen på den fremste virvelen er under forbeining. *21 days post-hatching. Bone has been deposited on the two neural arches anlage of the most cranial vertebra.*

#### Figur 4

24 dager etter klekking. De tre fremste virvelanleggene kan her observeres dorsalt på notochorden. *24 days post-hatching. The three most cranial vertebrae anlage can be observed on the dorsal side of the notochord.*

#### Figur 5

28 dager etter klekking. De syv fremste virvlene er under dannelsen. De to piggene som peker mot rygg-siden fra hvert virvelanlegg, er neuralbuer som senere smelter sammen og omslutter ryggmargen. Ringer av bein (chordacentra) dannes inne i notochordskjeden og vokser mot buksiden. Disse beinringene er meget tynne og kan lett bli presset sammen.

*28 days post-hatching. The first seven vertebrae during development. The two dorsally pointed spines on each vertebral anlage are neural arches that later fuse and surround the spinal cord. Rings of bone (chordacentra) are formed within the notochordal sheath and grow ventrally. The rings are thin and may easily be deformed.*

#### Figur 6

31 dager etter klekking. Beinringene (chordacentra) til de 13 fremste virvlene er under dannelsen. *31 days post-hatching. The chordacentra of the 13 first vertebrae are being formed.*



Figur 5



Figur 6



**Figur 7**  
52 dager etter klekking. Alle virvlene i virvelsøylen er på dette stadiet ferdig dannet.  
52 days post-hatching. The vertebral column is fully formed.

Anlegget til virvellegemet i fjerde virvel blir dannet først, i form av en beinring i notochordskjeden. Deretter blir anleggene til virvellegemene dannet suksessivt fremover og bakover. Omkring 50 dager etter klekking er alle virvelelementene dannet (Figur 7).

#### **VIRVELSØYLEN BLIR DANNET PÅ ET RELATIVT SENT TIDSPUNKT I UTVIKLINGEN**

Det er viktig å være klar over at dannelsen av ryggvirvlene skjer relativt sent i torskelarvens utvikling, på et tidspunkt etter at de fleste andre organer er dannet. Svømmeblæren, for eksempel, har vært funksjonell i omkring to uker. Den dannes som en utposning fra den fremre del av fordøyelseskanalen, og den første fyllingen skjer omkring dag fire eller fem etter klekking, ved at torskelarven snapper luft fra overflaten. Luften presses inn i svømmeblæren via en tynn kanal, som degenererer i løpet av den påfølgende uke. Fra da av reguleres gasstrykket i svømmeblæren fra en gasskjertel og fra et gassopptaksområde (ovalen). Gasskjertelen frigjør oksyngass fra blodet, mens oksygen diffunderer

tilbake fra svømmeblæren til blodkar i ovalen. Hensikten med trykkreguleringen er å holde volumet i svømmeblæren konstant ved ulike dyp/trykk, slik at fisken beholder nøytral oppdrift.

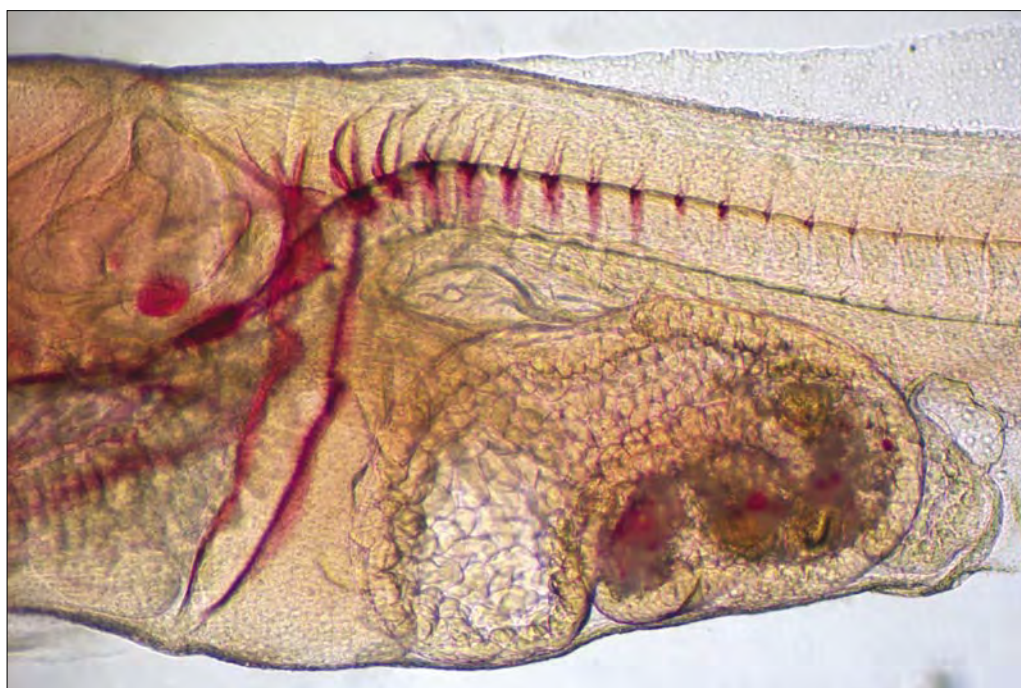
#### **MISDANNELSER AV NOTOCHORDEN BLE OBSERVERT FØR RYGGGRADEN ER DANNET**

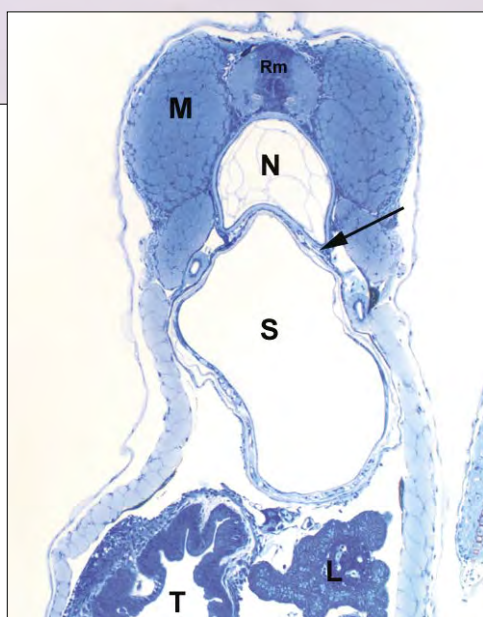
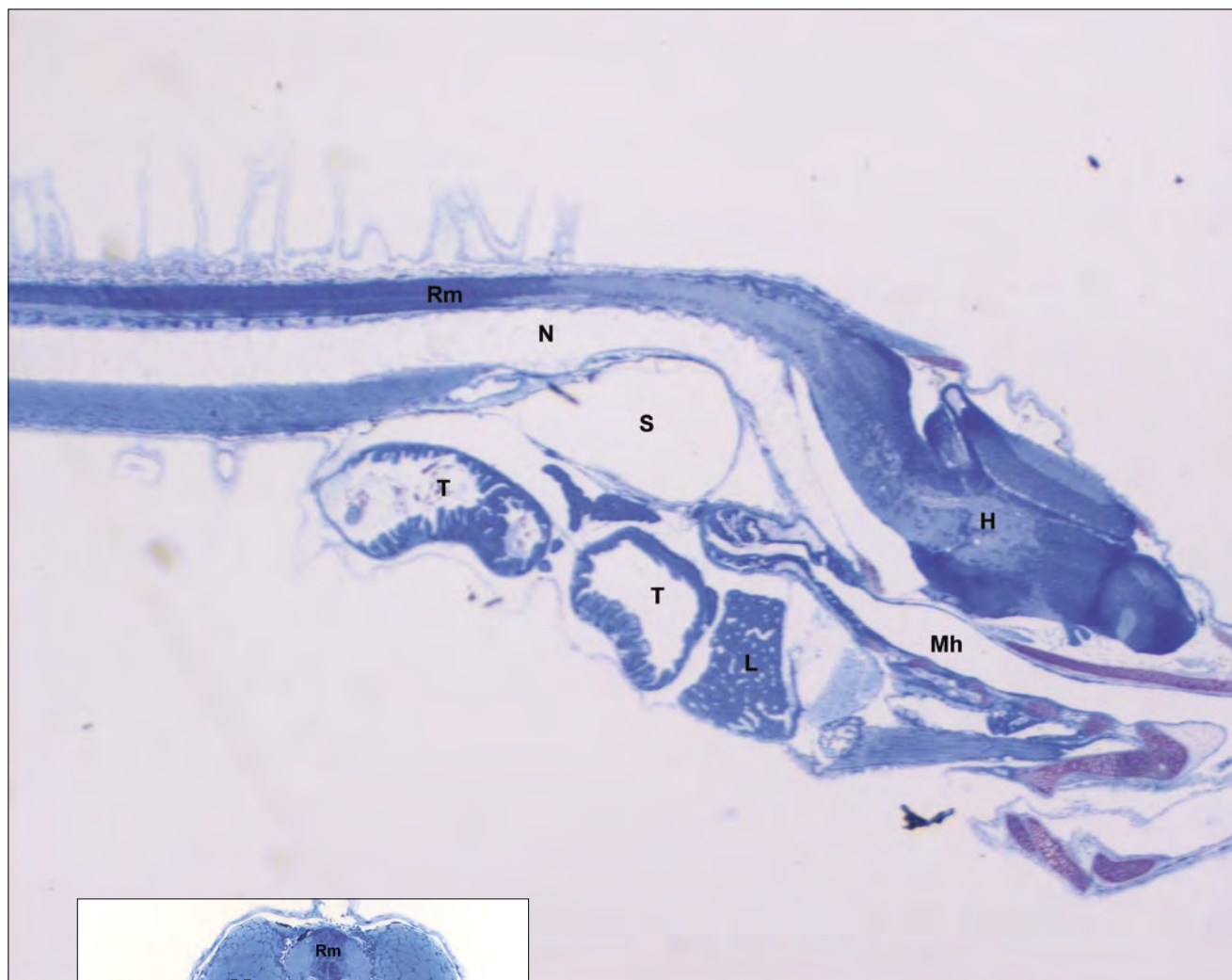
I vårt materiale ble deformasjoner av notochorden observert allerede før de første virvelanleggene var synlige. Notochorden hadde en unormal form, ved at den fremste delen dannet en markant bue over svømmeblæren (Figur 8 og 9), og i samme område hadde notochorden også en unormal tverrsnittsform. Torskelarver har med andre ord en fase der notochorden lett kan bli påvirket, og hvor den er følsom for trykk fra nabostrukturer.

#### **DEFORMASJON AV NOTOCHORDEN GJØR AT RYGGVIRVLENE FÅR UNORMAL FORM**

Siden notochorden fungerer som støpeform, får virvlene unormal form i de områder der den er blitt deformert (Figur

**Figur 8**  
44 dager etter klekking. Bildet er tatt med mørkefeltsbelysning, slik at kontrasten øker i strukturer som ikke tar farge. Dette individet har en unormal knekk på den fremste del av notochorden/rygggraden. Konturene av svømmeblæren kan skimtes på buksiden av notochord/virvelanlegg.  
44 days post-hatching. This picture has been taken with dark-field illumination in order to increase the contrast of the unstained structures. Note the abnormal dorsal curvature in the most cranial part of the notochord/vertebral column. The contour of the swim bladder may be observed ventral to the notochord.





**Figur 10**

Histologisk tverrsnitt av torskelarve farget med toluidine blått, tatt omkring 20 dager etter klekking. Merk at svømmeblæren er delvis omsluttet av notochorden. Dette endrer notochordens normale, runde tverrsnittsforn. Følgende strukturer er merket: Svømmeblære (S), notochord (N), ryggmarg (Rm), muskulatur (M), tarm (T) og lever (L). Pilen peker på hovedpulsåren, som er presset sammen.

*Histological transverse section of a cod larva 20 days post-hatching stained with toluidine blue. Note that the swim bladder is partly enclosed by the notochord, which thereby loses its normal circular cross-sectional shape. Swim bladder (S), notochord (N), spinal cord (Rm), musculature (M), intestine (T) and liver (L).*

**Figur 9**

Histologisk lengdesnitt av torskelarve farget med toluidine blått, tatt omkring 20 dager etter klekking. Legg merke til den unormale vinkelen mellom notochorden og kraniet. Denne er sannsynligvis forårsaket av svømmeblæren som ligger presset opp mot notochorden i dette området. Følgende strukturer er merket:

Svømmeblære (S), notochord (N), ryggmarg (Rm), hjerne (H), munnhule (Mh), tarm (T) og lever (L).

*Histological longitudinal section of a cod larva 20 days post-hatching stained with toluidine blue. Note the abnormal angle between the notochord and the cranium. This may be caused by an upward force from the swim bladder. Swim bladder (S), notochord (N), spinal cord (Rm), brain (H), intestine (T) and liver (L).*

10). Misdannelse av virvlene gir en varig unormal krumming i ryggradens fremste del, som gir fisken ”nakkeknekk”.

Spesielt de fire til fem fremste virvlene er utsatt for misdannelse og får ikke sin normale ringform. I noen tilfeller blir flere av de påfølgende virvler også deformert. Histologiske seriesnitt viste at notochorden i regionen bak svømmeblæren var upåvirket og hadde en normal, rund tverrsnittsforn. Virvlene i denne regionen utviklet seg også normalt.

Virvellegemer som blir dannet rundt en notochord som er presset opp i bue, blir sannsynligvis presset mot hverandre på undersiden. Dette resulterer i at virvlene får kileform med en uttalt konkavitet på undersiden (Figur 11).

### DET UNORMALE PRESSET FRA SVØMMEBLÆREN FØRER OGSÅ TIL MISDANNELSE AV NEURALBUENE

Når notochorden står i en unormal bue, blir vinkelen mellom neuralbuene og virvellegemene påvirket. Neuralbuene på de fremste virvlene var ofte S-formet på grunn av sammenpressing (Figur 12). Alle disse forholdene kan skyldes at notochorden, anleggene til virvellegemene og neuralbuene har vært utsatt for et trykk fra buksiden, etter all sannsynlighet fra svømmeblæren (Figur 13).

“Nakkeknekk” kan først ses med det blotte øyet på yngelstadiet, og buen, som var til stede på notochorden over svømmeblæren, ble stående som en bøy eller “knekk” i ryggraden i området like bak kraniet (Figur 14). Alle grader av misdannelsen ble observert.

### HVORDAN ØKER TRYKKET MELLOM SVØMMEBLÆREN OG NOTOCHORDEN?

Økt press mot notochorden kan skyldes en unormal utvidelse av selve svømmeblæren, eller en forplantning av press fra andre utvidete bukhuorganer via svømmeblæren. Man kan heller ikke utelukke at reduksjon av væsketrykket i notochorden kan oppstå og føre til økt følsomhet for press fra omgivende organer.

### Unormal utvidelse av svømmeblæren kan skyldes ubalanse i gassreguleringen

Særlig på larvestadiet er unormal utvidelse av svømmeblæren vanlig i intensivt oppdrett av torsk. I forbindelse med stressituasjoner, som for eksempel håndtering og sortering, kan man observere et økt antall flytere. Vi kjenner imidlertid lite til mekanismene bak dette. Den normale svømmeblærefysiologi hos fiskelarver er dessuten i liten grad kartlagt, og vi må basere våre teorier på eksperimentelle studier som er gjort på voksen torsk. Vi vet ikke med sikkerhet om reguleringsmekanismene er den samme på larvestadiet, spesielt i perioden når svømmeblærefunksjonen etableres. Våre stu-



**Figur 11**  
52 dager etter klekking. Legg merke til misdannede virvler fremst i ryggraden. Virvellegemene er kileformete med konkav underside, og neuralbuene er deformerte.  
52 days post-hatching. Note the deformed vertebrae in the cranial part of the vertebral column. The vertebral bodies are wedge-shaped with concave ventral side and deformed neural arches.

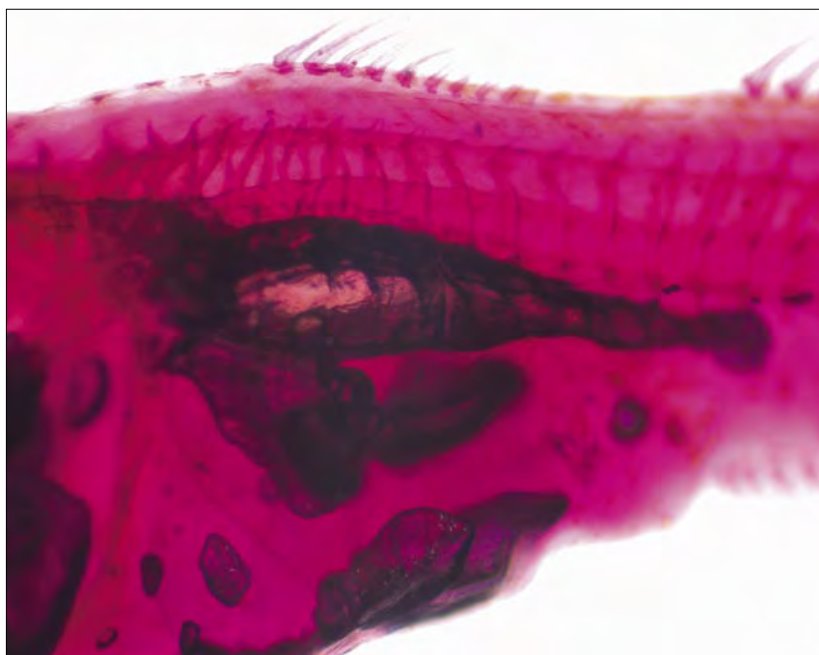


**Figur 12**  
56 dager etter klekking. Betydelige misdannelser kan observeres i området over fremre del av bukhuken der svømmeblæren ligger. Legg merke til den unormale vinkelen mellom neuralbuene og virvellegemene.  
56 days post-hatching. Malformations may be observed in the region of the vertebral column located above the swim bladder. Note the abnormal angle between the neural arches and the vertebral bodies.

**Figur 13**

59 dager etter klekking. Larve som er preparert slik at svømmeblæren fremtrer tydelig. Den ligger umiddelbart under det området av ryggraden der deformasjonene forekommer. Igjen synes svømmeblæren å presse ryggraden oppover.

59 days post-hatching. Larva prepared to enhance the location of the swim bladder in order to show its relation to the malformation of the vertebral column.





**Figur 14**

Området mellom kraniet og ryggraden hos torskøyngel (50 g) med "nakkeknekk", der bløtvevet er blitt fjernet. Legg merke til den unormale vinkelen mellom kraniet og ryggraden som fremkommer på grunn av at den fremste delen av ryggraden er krummet oppover. På dette stadiet er denne aksen normalt rett som en linjal.

*Region between the base of the cranium and the vertebral column in a juvenile (50 g) with "crock in the neck", and where the soft tissue has been removed. Note the angle between the cranium and the vertebral column that is a result of the dorsal curvature of the cranial part of the column. In this stage this axis between the cranium and the vertebral column should be horizontal.*

dier viser imidlertid at gasskjertelen med tilhørende nettverk av blodkapillarer (ofte kalt *rete*, som på latin betyr nettverk) og blodkapillarrike områder som har likhet med ovalen hos voksen torsk, er til stede hos larven når svømmeblæren fylles for første gang.

Et spesielt forhold ved torsk er at den er forbigående fysostom (dvs. den har åpen kanal til spiserøret). I løpet av en ukes tid etter den første svømmeblærefyllingen, degenererer forbindelsen til fordøyelseskanalen, og larven blir fra da av fysoklist (dvs. at kanalen er lukket). Torsk skiller seg på denne måten fra laks, som beholder kanalen.

Unormal utvidelse av svømmeblæren kan skyldes ubalanse mellom gassfrisetting fra gasskjertelen og gassopptak (resorpsjon) i ovalen. Sammenlignet med gassfrisetting er gassopptak en langsom prosess som skjer ved at oksygen-gassmolekyler passivt vandrer fra svømmeblæren, hvor konsentrasjonen er høy, tilbake til blodet der konsentrasjonen er lavere (diffusjon). Et forhold som kan gi økt risiko for utvidelse av svømmeblæren, er den store forskjellen i

oksygenkonsentrasjon (diffusjonsgradient) mellom blod og svømmeblære, i perioden like etter at larven har snappet luft (fire–fem dager etter klekking). Gasskjertelcellene utskiller melkesyre, som senker pH i blodet lokalt i kjertelen. Når pH i blodet senkes, blir oksygen-gass frigitt fra hemoglobin (Root-effekten), og kan diffundere inn i svømmeblæren. En diffusjonsgradient driver oksygen fra blodet og inn i svømmeblæren. Hos voksen torsk er oksygeninnholdet i svømmeblæren betydelig høyere enn i vanlig luft. Etter hvert som gasskjertelen blir funksjonell, og frisetter oksygen, stiger oksygeninnholdet til et nivå som er tre til fire ganger høyere enn i luft. Like etter at torskelarvene har snappet luft for å fylle svømmeblæren, er diffusjonsgradienten for oksygen på sitt høyeste, og dette kan bidra til at svømmeblæren er utsatt for overfylling i denne perioden. En mulig konsekvens av overfylling er at blodkapillarene i ovalen blir presset sammen slik at gass ikke kan bli resorbert fra svømmeblæren, og dette kan bidra til at overfyllingen blir opprettholdt over tid.

Et annet forhold som kan virke inn på svømmeblærefyllingen, er stress som fører til økt svømmeaktivitet hos larven.

Dette kan forekomme i forbindelse med håndtering, sortering, lav tetthet av byttedyr eller sterke vannstrømmer. Hos torskelarver er over 90 % av muskulaturen anaerob (hvit). Dette innebærer at den kan produsere melkesyre når intensiteten og lengden på svømmeaktiviteten kommer over et visst nivå. Når stressnivået er høyt, vil dette kunne senke pH i blodet (metabolsk acidose). Dette vil kunne forstyrre reguleringen av oksygenfrisettingen fra gasskjertelen. Under slike forhold er det mulig at selv små mengder melkesyre ("tomgangsproduksjonen") fra gasskjertelen vil utløse Root-effekten, og dermed gi ukontrollert oksygenfrisetting til svømmeblæren. På denne måten kan det derfor tenkes at den normale fysiologiske reguleringsmekanismen for gassfylling blir satt ut av spill.

Om en eventuell gassovermetning i vannet har innvirkning på fyllingsgraden til svømmeblæren, er heller ikke kartlagt, men et arbeid indikerer at gassmengden i svømmeblæren øker, selv ved liten grad av gassovermetning.

#### **Unormal utvidelse av svømmeblæren kan også skyldes brått trykkfall i omgivelsene**

De største forskjeller i trykk forekommer i de øvre vannlag, nær overflaten. Fra et dyp på omkring 2 meter til overflaten er trykkfallet omkring 20 %, mens trykkfallet fra omkring 1 meter er 10 %. For fysokliste arter, som torsk, stiller derfor vertikale vandringer i de øvre vannlag store krav til reguleringsmekanismene i svømmeblæren. Nøytral oppdrift hos torskelarven er, som sagt, avhengig av at svømmeblærens volum holdes tilnærmet konstant ved ulike dyp. Dersom en larve som har stått ved bunnen av et 1 meter dypt kar i lengre tid, raskt bringes til overflaten av kraftige vannstrømmer, vil trykkfallet føre til at svømmeblærens volum umiddelbart vil øke med omkring 10 %. Dette skaper positiv oppdrift og fører til at larven vil flyte opp. I fasen hvor levende fôr anvendes, benytter enkelte anlegg luftinnblåsing nær karbunnen for å skape oppvelling og sirkulasjon i karet. Under slike forhold kan det ikke utelukkes at larver kan dras inn i vannstrømmen, og raskt bli ført til overflaten. Trykkfallet

vil utvide svømmeblæren. Håndtering, for eksempel rask håving av fisk som står nær bunnen, kan også tenkes å gi tilsvarende effekt.

#### **Utvidelse av bukhulen kan øke presset mellom svømmeblæren og notochorden**

I enkelte grupper ble det observert en kraftig utspiling av buken på grunn av ekstrem utvidelse av fordøyelseskanalen. Tarmen var ofte overfylt av fôrpartikler og store mengder vibrio-lignende bakterier som vi vet kan forekomme i store mengder i hjuldyrkulturer. Det ble også observert opphopning av væske og gass i tarmen, som sannsynligvis var produsert av slike bakterier. Gassakkumulering i tarmen vil gi positiv oppdrift (flytere) dersom larven ikke klarer å kompensere ved å redusere svømmeblærevolumet tilstrekkelig. Patologisk ekspansjon av fordøyelseskanalen gir et økt trykk i bukhulen. Dette trykket kan overføres mot notochorden via et press fra svømmeblæren. Hos en del fisk i denne gruppen ble bakterier også observert i hjertet og i store blodkar (blodforgiftning/sepsis). Noen funn fra individer med blodforgiftning kan tyde på at væsketrykket i notochorden har vært redusert og gjort notochordskjeden mindre utspent. Vi kan derfor ikke utelukke at også effekter av bakterieinfeksjon, via denne mekanismen, kan bidra til dannelse av deformasjoner.

I området mellom notochorden og svømmeblæren ligger viktige strukturer som hovedpulsåren, store vener, blodcelledannende vev i hodenyre og urinproduserende nyrevev. Våre undersøkelser tyder på at disse strukturene lett kan komme i klem (Figur 11). Et slikt press vil kunne føre til sirkulasjonsforstyrrelser eller påvirke blodcelle- og urinproduksjon. Funksjonsforstyrrelser knyttet til nerver og større blodkar i regionen vil kunne gi funksjonsnedsettelse i svømmeblæren og i en rekke andre organer. For å gi varige misdannelser av notochord og ryggrad, må trolig trykkforandringene i svømmeblæren/bukhulen vedvare i flere døgn. Økt forståelse av disse forhold, og dermed mekanismene bak ryggradsmisdannelsen, vil kreve en betydelig tverrfaglig forskningsinnsats.

## 2.4

## Levendefôr i marin yngelproduksjon

Torstein Harboe og Anders Mangor-Jensen, Havforskningsinstituttet

Levende organismer som startfôr er foreløpig en forutsetning for produksjon av marin fiskeyngel. I ekstensiv produksjon lever fiskelarvene av det naturlig forekommende planktonet i systemet. Ved overgang til intensive systemer har det vist seg at innsamling av naturlig plankton ikke er hensiktsmessig, både med hensyn til mengde og tilgjengelighet. Grunnlaget for den store og raskt voksende marine akvakulturindustrien er derfor basert på kulturarter som rotatorier (*Brachionus* sp.) og *Artemia* (*Artemia salina*). Dyrket levendefôr er uavhengig av sesong, og kan dessuten relativt enkelt anrikes med hensyn til næringsinnhold. Fortsatt mangler man kunnskap om hvordan fôrdyrene skal anrikes for å dekke ernæringsbehovene til de ulike fiskeartene, samt om metoder for masseproduksjon av levendefôr som ivaretar kvalitetskravene til fiskelarvene.

Når nye arter introduseres, er det en stor fordel å ha forholdsvis klare metoder for fôrproduksjon. Fiskelarver kan grovt deles inn i to hovedtyper med hensyn til fôrkrav. Den ene gruppen vil etter plommesekkefasen likne på små voksne individer, med utviklet tarm og mage. Denne gruppen, som blant annet omfatter laksefisk, kan med letthet startføres direkte på formulerte fôrtyper. Den andre gruppen, som innbefatter larver av marine fisk med pelagiske egg (for eksempel torsk

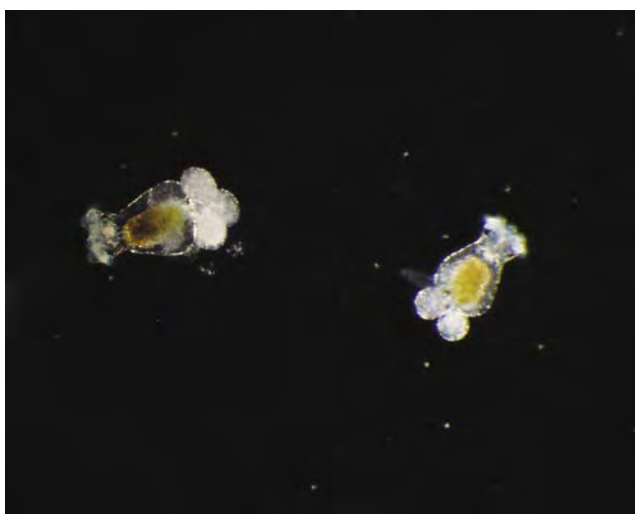
og kveite), vil ved startføring ha et lite utviklet fordøyelsessystem og magen vil ikke være funksjonell før lenge etter at larven har begynt å spise. Bare unntaksvis har man klart å startføre disse larvene på formulert fôr, og da med betydelig dårligere resultat sammenlignet med levendefôr. Sannsynligvis er det ikke bare på det biokjemiske planet disse forskjellene ligger. Et levendefôr vil ha en større tilgjengelighet for larvene enn et formulert fôr, som relativt raskt vil synke og i tillegg vil miste en stor del av næringselementene gjennom lekkasje.

For fremtidens akvakultur er det svarene på noen sentrale spørsmål som i stor grad kommer til å styre utviklingen. Det mest fundamentale vil være om man klarer å erstatte levendefôr som startfôr til marine fiskelarver med et kostnadseffektivt formulert tørrfôr. For å oppnå dette har flere produsenter og vitenskapelige miljøer intensivt arbeidet med å utvikle mikroinkapsulerte fôrtyper, som i større grad enn tidligere inneholder lavmolekylære næringsemner bedre tilpasset en "levendefôr-tarm". Et like aktuelt spørsmål vil være om man kan finne nye metoder for effektivt å kunne produsere store mengder høykvalitets levendefôr (alger, rotatorier og hoppekreps), slik at yngelproduksjonen blir rimelig og kvalitetssikret. Spørsmålet omkring tilgjengelighet og pris på *Artemia* vil også i noen grad påvirke utviklingen innen yngelproduksjon. Denne saltkrepsen kommer i all hovedsak fra saltsjøene i Utah, og forekomstene viser store variasjoner fra år til annet på grunn av klimatiske forhold. Prisen på dette produktet er gjenstand for markedskrefter og vil følgelig variere i forhold til både etterspørsel og tilgjengelighet.

Biologisk sett er både rotatorier og *Artemia* fremmede arter for marine kaldtvannsarter. I forhold til hoppekreps (copepoder) som i vesentlig grad representerer fôret til pelagiske marine fiskelarver, er den biokjemiske sammensetningen hos både rotatorier og *Artemia* svært annerledes. Kvalitetsmessig er det fortsatt et stykke igjen før man har kunnskap og metoder for å forbedre levendefôret tilstrekkelig til å kunne unngå misdannelser og deformiteter hos fiskeyngelen. Sannsynligvis er dårlig rotatoriekvalitet en hovedårsak til at torskene sliter med store deformitetsproblemer på yngelen. Likeledes er det nå helt klare bevis for at utilstrekkelig anriking av *Artemia* er hovedårsaken til både feilpigmentering og ufullstendig øyevandring hos kveiteyngel.

**ROTATORIER**

Rotatorier (Figur 1) eller hjuldyr er sammen med *Artemia* de fôrdyrene som blir hyppigst benyttet i intensiv produksjon



Figur 1

Rotatorier eller hjuldyr (*Brachionus plicatilis*) med egg. Rotifers (*Brachionus plicatilis*) with eggs.

av marine fiskelarver. Hjuldyrene tilhører klassen Rotifera. I marin akvakultur er det i hovedsak to arter som blir benyttet, *Brachionus plicatilis* og *Brachionus rotundiformis*. Disse artene blir ofte omtalt som henholdsvis L (large) og S (small) type rotatorier. Rotatoriene dekker et størrelsesspekter fra 90–350 µm, avhengig av art og utviklingsstadium. Kroppsformen deres er rund og flat uten pigger. De er planktoniske og svømmer relativt seint. Dette medfører at de enkelt kan fordeles i hele vannmassen ved forsiktig omrøring, og at de er et lett bytte sammenlignet med for eksempel copepoder. Rotatoriene kan forholdsvis greit manipuleres med hensyn til næringsinnhold gjennom føring, og de er lett fordøyelige for fiskelarvene.

I motsetning til *Artemia* dyrkes rotatorier i kulturer der dyrene reproducerer med en gjennomsnittlig generasjonstid på ca. 20 timer. De har gjennom en årrekke vært benyttet i Sør-Europa som startfôr til marine fiskelarver som piggvar, sea bass og lignende. Det finnes dermed godt beskrevne metoder for lavtetthetsdyrking i store systemer. I den senere tid har det vært gjort mye for å nå frem til nye og mer kostnadseffektive produksjonsmetoder. Dette arbeidet pågår fortsatt.

Det finnes tre ulike hovedmetoder for produksjon av rotatorier:

1. Porsjonskulturer
2. Kontinuerlige kulturer
3. Kontinuerlige høytetthetskulturer

### 1. Porsjonskulturer

Prinsippet bak porsjonskulturer er å dyrke frem en middels tett kultur (1 000–2 000 individer/ml) i løpet av en periode på to–fire dager. Når kulturen har nådd den tetthet man ønsker, siles hele batchen ned og fordeles til henholdsvis nettoproduksjon og nytt inokulat. Inokulatet benyttes til å sette i gang en ny porsjon i et nytt kar (ca. 80–150 individer/l). Porsjonskulturer dyrkes typisk i tanker på 500–3 000 liter med en temperatur på om lag 24 °C. Tankene bør ha en konisk bunn med mulighet for sedimentering og uttapping av bunnfall. Vanligvis benyttes tanker produsert i glassfiberarmert polyester med påstøpt stativ. Slike tanker finnes i sortimentet til utstyrsleverandører og kan bestilles i ulike størrelser.

Rotatorier dyrkes i noe fortynnet sjøvann (ca. 30 ppt) ved 24 °C. Sentral luftbobling (ca. 30 l/min.) gjennom en luftestein, samt omrøring i kulturen, sørger for tilførsel av oksygen. Det er viktig at kulturene får en god omrøring, men ikke helt ned til bunnen, da dette vil hindre sedimentering av dødt materiale. Når tankene er klargjorte, tilsettes inokulatet (rotatoriene) i en konsentrasjon på ca. 80 individer/ml. For å oppnå gode startkulturer kan man “algevaske” inokulatet før det tilsettes tankene. Dette gjøres ved å sile/skylle rotatoriene som skal danne startkultur, og overføre dem til en ren algekultur (*Tetraselmis*), ca. to–fem individer/ml. Etter fire–fem dager siles kulturen, og overføres til tanken i konsentrasjon på 80–120 dyr/ml. I denne prosessen er det viktig å benytte riktig algart. Prinsippet er å velge en algart som er for stor til at ciliatene i kulturen (ugresset) kan filtrere den. Disse vil dermed etter noen dager “sulte i hjel”, og man sitter igjen med en mye “renere” rotatoriekultur.

Det finnes en rekke kommersielle fôr som rotatoriene kan dyrkes på som gir et tilfredsstillende resultat med hensyn til kjemisk innhold og vekst. Rotatorier kan med fordel føres med kommersielle produkter for standardisering av kvalitet. Man skiller gjerne mellom et vekstfôr som inneholder mye proteiner, og et anrikingsfôr som er rikt på flerumettet fett. Tidligere ble bakegjær/mikroalger benyttet som vekstmedium, og emulgerte oljer (tran) i kombinasjon med mikroalger som anrikingsmedium. Hvordan de ulike produktene skal tilsettes rotatoriekulturene, fremgår av bruksanvisning. Generelt kan man si at rotatoriene bør føres gjennom døgnet for å holde en jevnt høy konsentrasjon av næringspartikler. Levende mikroalger kan også med fordel benyttes som fôr til rotatorier. Flere algearter har gunstige sammensetninger av næringsstoffer, og egner seg godt både til vekst og anriking. Bruk av mikroalger krever imidlertid egne arbeidsintensive dyrkningssystemer med de ulemper dette medfører.

Utviklingen i kulturen beskrives ved økning i antall individer per ml. Til dette trenger man en god lupe med forstørrelse opp til 40 x samt et tellekammer. For å kunne telle tette kulturer med rotatorier er det nødvendig å tilsette gift (vanligst benyttet: lugol) for å drepe dyrene. En god kultur skal ha en eksponentiell vekst i hele forløpet (fra 100–2 000 individer på to døgn) fram til høsting. Det har vist seg at ulike stammer innenfor samme art viser svært forskjellige egenskaper med hensyn til biologi (vekst, robusthet, etc.) Man bør derfor prøve å finne fram til en stamme som har gode dyrkingsegenskaper.

Et annet kriterium som gir indikasjoner på kulturens velbefinnende, er antall egg per individ. Under vanlige omstendigheter vil rotatorier formere seg ukjønn, dvs. ved kloning. Eggene som produseres sitter festet til bakkroppen av dyret og er lett synlige, selv ved lav forstørrelse. I en “god” stamme er det ikke uvanlig å finne individer med opptil sju egg. Fordi det bare er en del av individene som til enhver tid er eggberende, vil et gjennomsnitt på 1 egg/individ være “bra”. For å oppnå optimal produksjon er det avgjørende å sørge for at bakterieveksten i kulturene holdes på et kontrollert nivå. I porsjonskulturer vil man ved hver “omstikking” sørge for at inokulatet blir forskriftsmessig skylt før reinkubering. Tankene må reingjøres med såpe og skrubb, for deretter å desinfiseres med for eksempel buffodine.

### 2. Kontinuerlige kulturer

brukes i svært liten grad i kommersiell sammenheng. Som verktøy for vitenskapelige undersøkelser omkring hjuldyrenes biologi benyttes de likevel hyppig. En porsjonskultur kan imidlertid ofte dyrkes semi-kontinuerlig, ved at man daglig høster ut 10–20 % av volumet og erstatter med rent, temperert vann. På denne måten kan man få en kultur til å “overleve” lenger, og det totale utbyttet blir større. En semi-kontinuerlig kultur vil likevel ha en begrenset levetid, hovedsakelig på grunn av opphoping av slam.

### 3. Kontinuerlige høytetthetskulturer

Disse systemene er basert på høyt teknologiske resirkulasjonsanlegg med kontinuerlige kulturer der det daglig blir høstet en gitt mengde. I slike systemer opererer man med





**Figur 2**  
Produksjonstanker (600 liter) for høytetthetskulturer av rotatorier.  
*Production units (600 liters) for high density cultures of rotifers.*

tettheter opp mot 5 000 individer per ml. Fra en dyrknings-tank med hjuldyr filtreres vann kontinuerlig fra og renses i et resirkuleringsanlegg bestående av fôrfilter, biofilter, skimmer og eventuelt utstyr for ozon/UV, før vannet ledes tilbake til kulturene. Fôret til rotatoriene tilsettes kontinuerlig i en mengde tilpasset biomassen i systemet. Dette systemet har i kontrollerte forsøk vist seg å kunne produsere store biomasser på et lite volum. Høytetthetskulturer er allerede på full fart inn i kommersiell produksjon.

Dyrking av rotatorier krever erfaring og omtanke. For å etablere rotatoriedyrking i en oppdrettsbedrift anbefales det å ta kontakt med bedrifter/institutter som arbeider med dette, for å lære praktisk metodikk. Det vil blant oppdrettere være store variasjoner i dyrkingsmetode, uten at noen metoder nødvendigvis kan sies å være "riktigere" enn andre.

#### ARTEMIA

Saltkrepsen *Artemia salina* (Figur 3) tilhører gruppen branchiopoda (gjelleföttinger) under klassen Crustacea (krepsdyr). Disse dyrene er halofile (av gr. *halos* = salt) og trives derfor i svært salte innsjøer hvor de så å si ikke har naturlige predatorer. *Artemia* produserer hvileegg, dvs. egg som drøyer med embryonalutviklingen i påvente av riktig miljøsignal. Når *Artemia* gyter hvileegg, flyter disse opp til overflaten hvor de kan "skimmes" av med riktig redskap. Eggene tørkes, sorteres og pakkes og kan oppbevares i årevis, for deretter å kleskes i riktige omgivelser.

Hovedmengden av all *Artemia* høstes i de store saltsjøene i Utah, USA, der dette har utviklet seg til å bli en storindustri. Faktisk har overfiske flere ganger truet bestandene, noe som



**Figur 3**  
Korttidsanriket (24 t) *Artemia*.  
*Short time (24 h) enriched Artemia.*

igjen reflekteres i ustabile priser på verdensmarkedet. Nesten all *Artemia* som frembys på markedet blir brukt i rekeoppdrett i Østen.

I marin yngelproduksjon av fisk har *Artemia* vært brukt i en årrekke. Men på samme vis som med rotatoriene er dette fremmed kost, spesielt for våre kaldtvannsarter. Næringsinnholdet i *Artemia* er langt fra godt nok til å gi en marin fiskelarve det den trenger for vekst og helse. Man har derfor i årevis arbeidet med måter å forbedre kvaliteten til *Artemia* med hensyn til egnethet som fôr. I første rekke gjelder dette innholdet av flerumettet fett, som i utgangspunktet er svært lavt i varmekjære arter. Sammenlignet med naturlig dyreplankton fra våre breddegrader, inneholder *Artemia* under 10 % av det umettede fett. Ved anrikning har man imidlertid kommet frem til en *Artemia* som til tider har gitt gode resultater i marin yngelproduksjon.

Et hvileegg av *Artemia* beskyttes av et ytre skall som er svært motstandsdyktig overfor ytre påkjenninger. Faktisk er dette skallet så kraftig at det til en viss grad reduserer klekkesprosenten av eggene. Det er derfor utviklet spesielle metoder for å “etse” bort eggeskallet uten å skade egget. Dette har både økt utbyttet og redusert mengden avfall i klekketankene (Figur 4). Prosessen kalles dekapulering og innebærer bruk av etsende kjemikalier som siden nøytraliseres av thiosulfat. Det kreves en svært nøyaktig timing for å kunne stoppe prosessen når eggeskallet er borte, men tidsnok til at eggcellen ikke skades.

Miljøsignalet som starter embryonalutviklingen i *Artemia*-cyster er temperatur og hydrering. Cystene tilsettes i store tanker med temperaturkontrollert vann, hvor de ved ca. 25 °C klekker etter ca. 24 timer. Nyklekkede *Artemia* går under navnet “*Artemia*-nauplier” og er i stadium “instar I”. Den har verken åpen munn eller tarm, og kan derfor ikke anrikes med næringsstoffer. Etter ca. ett døgn skifter den skall, og er nå i stand til å spise. *Artemia* er en filterspiser og filtrerer fødepartikler ut av vannet ved hjelp av spesielle munddeler. I naturen består kostholdet hovedsakelig av mikroalger. For å forbedre den næringsmessige kvaliteten tilsettes emulgert fett til dyrkningsvannet. Emulgatet består av ulike fett-typer, vitaminer og emulgeringsmiddel. Enkelte kommersielle produkter er også tilsatt protein.



**Figur 4**  
Klekketank for *Artemia*cyster.  
Incubator for hatching of *Artemia* cysts.

Etter et døgn siles *Artemia* fra vannet i produksjonstanken, skylles i temperert ferskvann og føres direkte ut til fiskelarvene i tilpassede doser. Dette kalles korttidsanriket *Artemia*, og er det vanligste føret benyttet til produksjon av kveiteyngel, men også til videreføring av torskelarver etter at rotatoriene er blitt for små til å fylle ernæringskravene. For å øke størrelsen og biomassen kan man produsere det som kalles en “påvekst-*Artemia*”. I stedet for å starte med fettanrikning på ett døgn gamle nauplier, føres de med en balansert diett som er rik på proteiner. I løpet av tre–fire dager vokser hvert individ til mange ganger sin opprinnelige masse, og utgjør nå etter en kort fettanrikning et meget egnet fôr for større larver (i tiden rundt metamorfose).

## 2.5 Tidlig tilvenning av kveite og torsk til formulert fôr – forskningsmessig framgang og utfordringer

Ingegerd Opstad, Havforskningsinstituttet  
Kristin Hamre, NIFES

**En av nøkkelfaktorene for å lykkes i å oppnå en lønnsom yngelproduksjon av kveite og torsk, er å utvikle et formulert fôr av høy kvalitet som helt eller delvis kan erstatte det levende planktonet. Fôret må spises, fordøyes, imøtekomme larvenes næringsbehov og gi like god vekst og overlevelse som levende fôr. Marine fiskelarver er svært små og har et ufullstendig utviklet fordøyelsessystem, noe som stiller store krav til førsammensetning. Økt kunnskap om larvenes ernæringsbehov og fordøyelse har bidratt til bedre fôr, og til at overgangen fra levende fôr til tørrfôr kan skje på tidlige utviklingsstadier.**

Til startfôring av kveite- og torskelarver er man i dag avhengig av å bruke dyrket levende fôr (*Artemia* (*Artemia salina*), hjuldyr/rotatorier (*Brachionus* sp.) og/eller innsamlet naturlig dyreplankton (hoppekreps og vannlopper) (Figur 1). Naturlig plankton er klart best ernæringsmessig, men kvantitet og kvalitet varierer mye med årstid og vær og vind og er derfor lite hensiktsmessig i industriell helårig produksjon. I tillegg kan naturlig plankton være en smittekilde for sykdom og parasitter. *Artemia* og hjuldyr er ernæringsmessig ikke tilfredsstillende som fôr, men ved å føre dyrene med ulike anrikingsmidler kan dette forbedres (se egen artikkel om levendefôr). Kveitelarver føret med *Artemia* gir for eksempel ofte et høyt innslag av feilpigmentering og ufullstendig øyenvandring.

### MANGE KRAV TIL LARVEFÔRET

For å kunne sette sammen et velegnet formulert fôr til fiskelarver trenger man kunnskap om larvenes fordøyelse, absorpsjon, omsetting av næringsstoffer og ernæringsmessige basis for normal utvikling. Videre kreves det at et formulert fôr må bevare sitt fysiske og ernæringsmessige innhold i vannet over tid, og fôret må ha utseende, lukt og smak slik at det blir spist av fiskelarvene. Munnfølelse eller partikkeltekstur har trolig også innflytelse på om larvene spiser fôret, da man ofte observerer at fôret blir spyttet ut. Marine fiskelarver er svært små (fra 3–4 mm) og krever tilsvarende små fôrpartikler (fra 0,1 mm). Små partikler er sterkt utsatt for lekkasje av næringsstoffer, noe som fører til redusert næringsverdi. Samtidig gir løste næringsstoffer opphav til mikrobiell vekst og dårlig hygiene i karene.

Når fôret er spist må larven kunne fordøye og absorbere det. Ved startfôring har marine fiskelarver en ufullstendig utviklet tarm, med begrenset evne til å produsere fordøyelsesenzymer og fordøye formulert fôr. Levende fôrorganismer blir autolyserert eller selvfordøyd i fisketarmen av sine egne enzymer når

de dør, og muligens trigger de også utskillelsen av fordøyelsesenzymer fra fiskelarven. Evnen til å fordøye et formulert fôr øker etter hvert som larven vokser og tarmen utvikles. Når en larve kan fordøye og absorbere formulert fôr, varierer fra art til art.

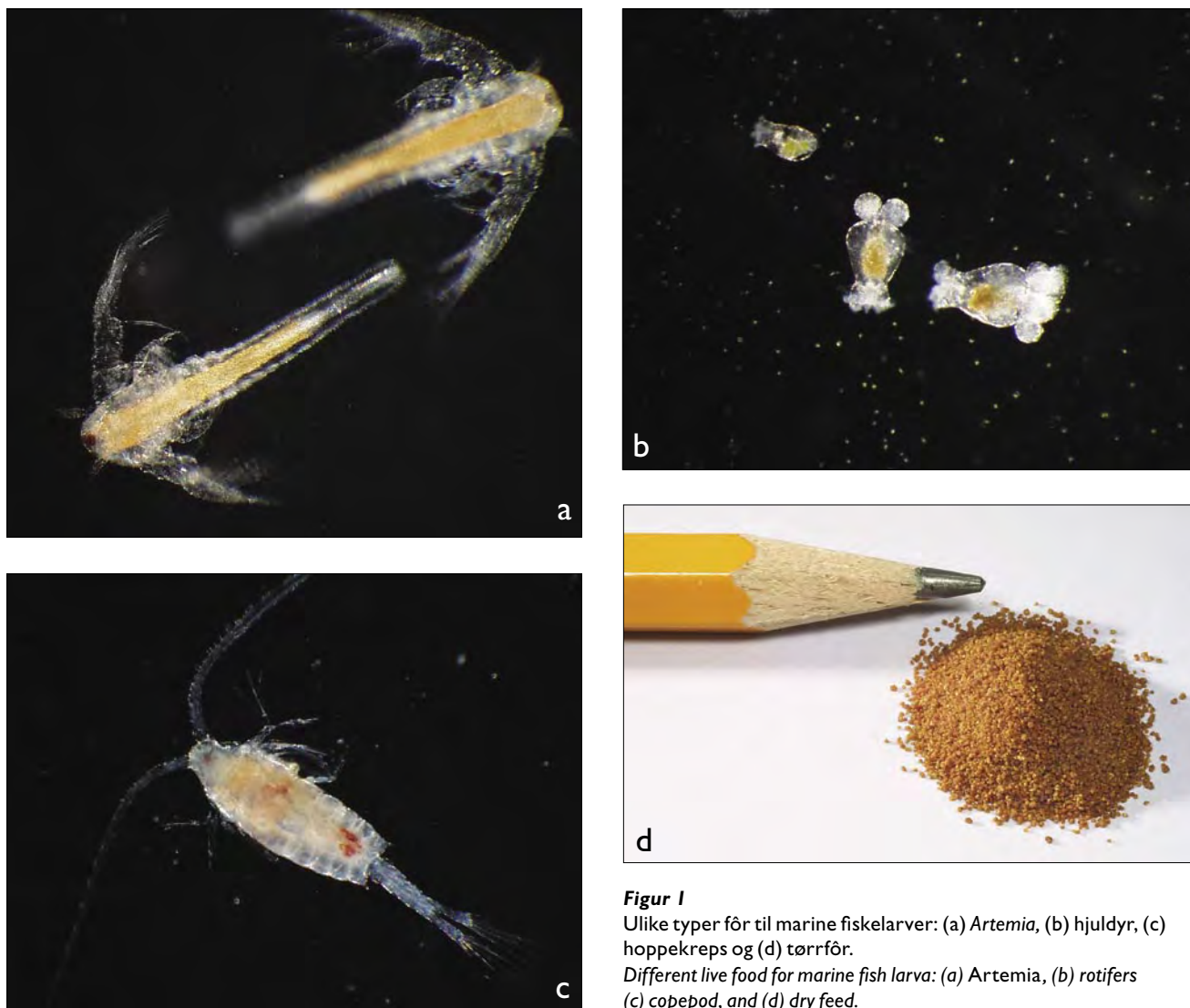
Levende fôr inneholder 80 % vann, mens tørrfôr har mindre enn 10 %. Dette kan gi larvene problemer med vannbalansen (osmotisk stress).

### FÔRINGSSTRATEGIER

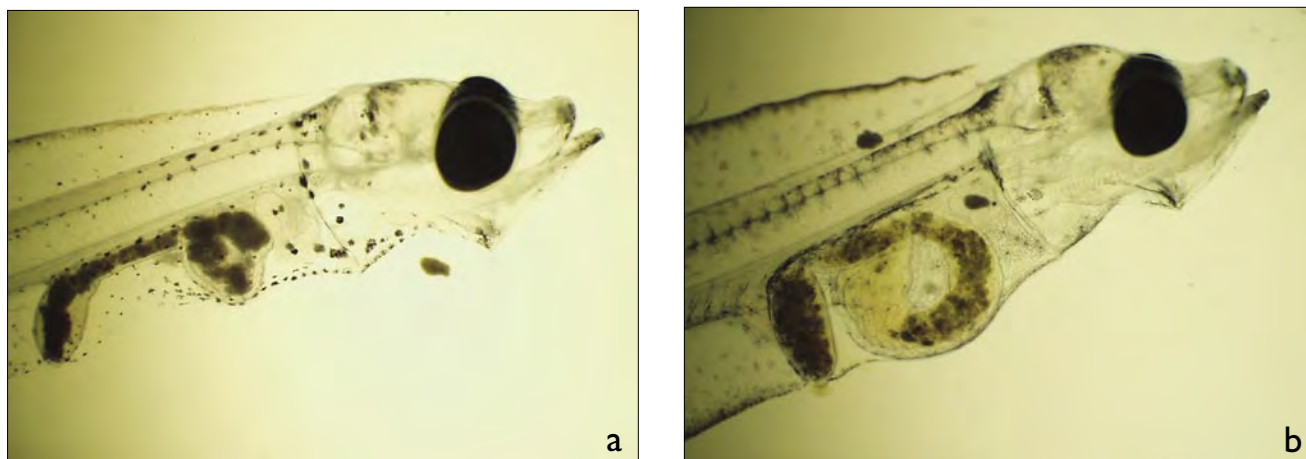
Fiskelarvene spiser formulert fôr helt fra startfôring, men til nå har det ikke vært mulig å fremstille et formulert fôr til torsk og kveite som gir akseptabel vekst og overlevelse fra starten. Etter hvert som larvene vokser, øker også behovet for levende byttedyr tilsvarende. En tidlig og problemfri overgang til formulert fôr er derfor viktig for å redusere kostnadene i yngelproduksjonen. Overgang til formulert fôr etter metamorfose, er den strategien som hyppigst blir brukt i dag.

I et startforingsforsøk utført ved Havforskningsinstituttet, ble én gruppe kveitelarver startfôret med formulert fôr og en annen fôret med rotatorier. Etter seks dagers fôring var den spesifikke veksthastigheten på rotatoriegruppen 9,6 %, mens gruppen som fikk formulert fôr hadde negativ vekst. Larvene fôret med rotatorier hadde snodd tarm. Tarmen var helt full av byttedyr, og der var tydelig fordøyelsesaktivitet (Figur 2a). Hos larvene fôret med formulert fôr hadde tarmen rettet seg ut, baktarmen var oppsvulmet og fordøyelsesaktiviteten var ikke så tydelig (Figur 2b). Kveite har lavere aktivitet av fordøyelses- og absorberende enzymer ved startfôring enn andre flatfisker som piggvar og japansk flyndre. Larvenes manglende evne til å fordøye fôr er en viktig begrensende faktor i tidlig tilvenning, og er vanskeligere å løse enn manglende fôrinntak. Forsøk på å forbedre formulert fôr med tilsetninger av fordøyelsesenzymer har til nå vært lite vellykkede. Tilsetning av oppmalt pankreas til pelletert fôr er imidlertid vist å være vekstfremmende hos sea bass-larver.

Kveite er pelagisk i perioden fra klekking frem til en våtvekt på omtrent 0,14 g. Hos de fleste yngelprodusentene blir kveite tilvendt formulert fôr etter bunnslåing ved en våtvekt rundt 0,25 g. Noen oppdrettere venter til yngelen er blitt enda større. Tørrfôret må ha andre egenskaper i den pelagiske fasen enn etter bunnslåing, spesielt gjelder dette flyteeegenskapene. Det er viktig at karene fungerer selvrensende, slik at overskuddsfôr og avføring blir vasket ut. Best resultat oppnås med en ukes kombifôring i overgangen mellom levende fôr



**Figur 1**  
 Ulike typer fôr til marine fiskelarver: (a) *Artemia*, (b) hjuldyr, (c) hoppekreps og (d) tørrfôr.  
 Different live food for marine fish larva: (a) *Artemia*, (b) rotifers (c) copepod, and (d) dry feed.



**Figur 2**  
 Kveitelarver som er blitt startfôret med rotatorier (a) og formulert fôr (b) i seks dager.  
 Halibut larvae start fed on rotifers (a) and dry feed (b) for six days.



**Figur 3**  
Lengdestrøms-  
renne med  
kveiteyngel som  
tilvennes tørrfôr.  
*Raceways with  
halibut juveniles  
weaning on dry  
diets.*

og formulert fôr. Dette er viktigere dess tidligere overgangen til det formulerte fôret skjer. Det er vesentlig å unngå stress, som f.eks. dunking i karene, for å oppnå god vekst og overlevelse. Optimal fôring for å unngå øyenapping, halenapping og tendenser til kannibalisme er avgjørende for et godt resultat. Sortering av yngelen er også viktig. Overlevelsen i perioden fra 0,2 g til 5 g er under optimale forhold over 90 %. Tidlig tilvenning i lengdestrømsrenner har gitt gode resultater. I et forsøk hadde for eksempel kveitelarver med en gjennomsnittlig våtvekt på 0,07 g (før metamorfose) som ble fôret med et varmekoagulert fôr en overlevelse på 81 %. Den daglige tilveksten var 3,2 %, mens den var 5,3 % i gruppen fôret med *Artemia*.

Torsk blir vanligvis startfôret med rotatorier, og deretter gitt *Artemia* fra rundt dag 40 og tørrfôr fra dag 60, men noen begynner også tidlig med kombifôring. Det er òg mulig å kutte ut bruken av *Artemia*. I et forsøk ble torskelarver fôret på rotatorier i 40 dager, for så å bli overført direkte til formulert fôr. De hadde da en våtvekt på 0,028 g. Etter 30 dagers fôring var overlevelsen 87 %, med en spesifikk veksthastighet på 9,5 %.

#### **ERNÆRINGSBEHOV HOS MARINE FISKELARVER OG YNGEL**

Marine fiskelarver skiller seg fra større fisk når det gjelder ernæringsbehov på flere områder. Når det gjelder protein-kvalitet, må man ta i betraktning at larvenes fordøyelseskanal ikke er ferdig utviklet. Først og fremst mangler magen, og dermed surgjøringsprosessen som er nødvendig for at protein

skal bli lettere tilgjengelig for fordøyelsesenzymer. Levende fôr inneholder mye vannløselige og dermed lett fordøyelige proteiner. Når det gjelder formulert fôr er dette oftest basert på fiskemel med mye tungt løselig protein. Dette kan være en av årsakene til at larver nesten alltid vokser dårligere på formulert enn på levende fôr. En måte å gjøre proteinet mer tilgjengelig på er å hydrolysere det, dvs. bryte det opp til mindre peptider. Det er gjort en del forsøk med tilsetning av hydrolysert protein til formulert larvefôr med varierende resultater. Dette kan skyldes at slikt protein raskt lekker ut av fôrpartikkelen.

Når det gjelder behovet for fett og krav til fettkvalitet, har man studert både effekt av fettsyresammensetning og sammensetning av fettklasser. Marine larver trenger polart fett (phospholipider) for å kunne fordøye og transportere fett fra tarmen og videre inn i organismen. I levende fôr består en stor del av fett av phospholipider fra cellemembraner (andel av fett som kan være phospholipid: anriket *Artemia* 33 %, copepoder 66 %). Formulerte fôr må tilsettes phospholipid for å unngå opphopning av fettvakuoler i larvenes tarm. Det er ikke kjent hvilket nivå av phospholipid som er optimalt for larver.

Det er antatt at marine fiskelarver har behov for høye nivåer av n-3-fettsyrer, spesielt DHA. I copepoder er mellom 20 og 45 % av fettsyrene DHA, mens EPA ligger på et noe lavere nivå. ARA er målt til under 1 %. Det er helt klart at mangel på n-3-fettsyrer fører til feilutvikling, lav vekst og dødelighet hos marine larver, men når det gjelder pigmentering og

metamorfose hos flatfisk, er det ikke kjent hvilke nivåer av n-3-fettsyrer som skal til for å gi normal utvikling. Høye nivåer av ARA gir en dramatisk økning av feilpigmentering hos piggar, mens det i havkaruss (sea bream) er funnet en positiv effekt av ARA på stresstoleranse.

Optimal sammensetning av makronæringsstoffene har vært undersøkt hos torskeyngel som vokste fra 0,3 til gjennomsnittlig 6 g i løpet av forsøket. Proteinbehovet lå lavere enn det laveste føret på 52 % protein. Det viste seg at økende karbohydrat opp til 15 % og økende fett opp til 25 % ga økende vekst. Kannibalsmen økte når fettinnhold i føret kom under 15 %. Kveiteyngel utnytter ikke karbohydrat, og karbohydrattilsetning over 5 % i føret ga dramatisk økende leverindeks, økende glykogeninnhold i leveren og ved de høyeste nivåene (10–15 %) også økt karbohydrat i andre vev. Proteinbehovet hos kveiteyngel ligger under 62, men over 52 %. Variasjon i lipidinnhold mellom 5 og 25 %, byttet mot protein, ser ikke ut til å gi forskjeller i vekst. Siden forsøkene,

både med torsk og kveite, er gjort med liten yngel, kan resultatene med visse forbehold være relevante for larvestadiet og danne grunnlag for anriking av levende fôr og formulering av tørre larvefôr.

Behovet for mikronæringsstoffer hos marine fiskelarver er ikke undersøkt i detalj, men sammensetningen av copepoder og behov hos større fisk kan brukes som en indikasjon på behovet. Tabell 2 viser vitamin og jodinnhold i copepoder, rotatorier og *Artemia* samt anbefalt tilsetning for kaldtvannsfisk ifølge NRC (National Research Council, Canada).

Metodene brukt til å evaluere formulert fôr til larver må bli videreutviklet, slik at det blir lettere å skille ut de begrensende faktorene ved føret og korrigere for disse. I dag er det flere forskningsinstitutter og mange kommersielle aktører (fôrfirmaer) som arbeider med å utvikle formulert fôr til marine larver. Forhåpentligvis vil denne innsatsen gi resultater i den nære fremtid.

**Tabell 2**

Vitamin- og jodbehov (mg kg<sup>-1</sup> tørrvekt) hos stor fisk ifølge NRC 1993, og innhold av vitaminer og jod (mg kg<sup>-1</sup> tørrvekt) i zooplankton, rotatorier (Lie et al., 1997, og upubliserte resultater) og *Artemia* (Hamre et al., 2002, Rønnestad et al., 1995). Anrikings- eller dyrkingsfôr for rotatorier er gitt i parentes.

*Vitamin and iodide demand (mg kg<sup>-1</sup> dry weight) for large fish (NRC 1993), and vitamin and iodide contents (mg kg<sup>-1</sup> dry weight) in zooplankton 1995), rotifers fed enrichment diet (Rotimac) or yeast and fish oil (gjær/olje) (Lie et al., 1997, and unpublished results), and Artemia (Hamre et al., 2002, Rønnestad et al.).*

	NRC-93	Copepoder	Rotatorier (Rotimac)	Rotatorier (gjær/olje)	Rotatorier (gjær/olje)	Artemia
Tiamin	1	13–20	11	30	4,5	6–12
Riboflavin	5	14–27	30	25		30–60
Pyridoksin	6	2–6	9,3	8,2		2–13
Folinsyre	2	3–5	3,7	5,0		6–10
Vitamin C	50	600–1000	230	704	372	400–500
Vitamin E	50	50–200	2080	1126	641	100–800
Vitamin A	0,75	Spor	0	4,9	3,9	Spor
Jod	1,1	350	2,9	3,7	0,8	0,51

## 2.6 Oppdrett av kveite

Tore S. Kristiansen og Torstein Harboe, Havforskningsinstituttet

Den positive trenden med økende kveiteyngelproduksjon fortsatte også i 2003, med et samlet resultat på ca. en halv million yngel. Antall produsenter ble imidlertid ytterligere redusert, fra 14 til 8, og alle de gjenværende aktørene satser nå på intensiv produksjon. Kvaliteten på den solgte yngelen er bedret, og dårlig fisk blir i større grad utsortert, da matfiskoppdretterne stiller stadig strengere kvalitetskrav. Det er forventet en ytterligere vekst i yngelproduksjonen de nærmeste årene, men ingen storskala-anlegg er under planlegging, og norsk kveitenæring vil fortsatt være avhengig av import fra Island.

Matfiskproduksjonen økte svakt i 2003 og passerte 500 tonn. Stort innsett av yngel de siste årene gjør imidlertid at det er forventet at produksjonen når 700–800 tonn i 2004, og at den vil passere 1000 tonn i 2005. Bare 12 matfiskanlegg var i drift i 2003. Produksjonen av matfisk har til nå vært begrenset av liten yngeltilgang, variabel kvalitet på yngelen og relativt dårlig vekst i anleggene. De siste årene er det gjort gode erfaringer ved bruk av resirkulering og temperaturkontroll for å øke veksten den første vinteren i anlegget. Gode erfaringer med dype merder med hengende hyller og automatiske appetittfôringssystemer har i tillegg gitt håp om at en nå nærmer seg en effektiv produksjons-

linje. Ved å benytte yngel av høy kvalitet og 12 °C vann i setefiskfasen, kan produksjonstiden for en 5 kg kveite komme ned mot tre år fra klekking.

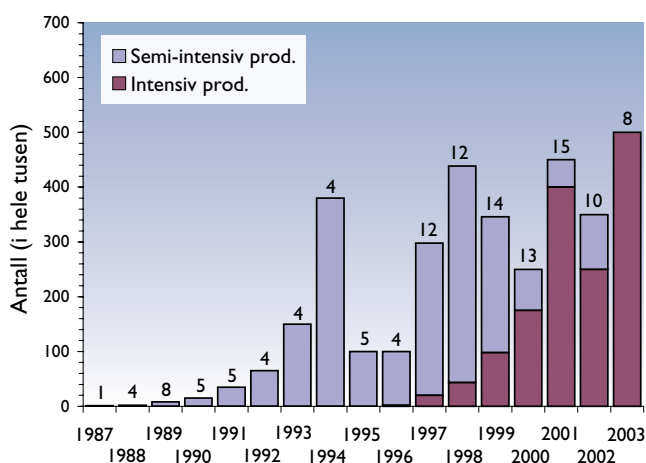
### PRODUKSJON AV YNGEL

Kveitas tidlige utviklingsstadier deles inn perioder som omfatter egg-, plommesekk-, startfôrings- og yngelstadiet. Kveita er porsjonsgyter, og egg og melke strykes ut manuelt. Eggene blir befruktet umiddelbart etter stryking og deretter overført til egginkubatorer. Om lag ti dager etter befruktning blir eggene overført til store siloer hvor de klekker og tilbringer plommesekkstadiet, hvor larvene lever av den store plommesekken. Denne perioden varer i over 40 dager, noe som er svært lenge sammenlignet med annen marin fisk. Mot slutten av perioden har de utviklet funksjonell munn og tarm, og er i stand til å spise. Larvene blir da overført til kar med levendefôr og alger for startfôring.

De neste 30 til 50 dagene blir kveitelarvene føret med levende anriket *Artemia salina*, eller – i semi-intensiv produksjon – hoppekreps (copepoder), filtrert fra sjø eller poller. Mot slutten av larveperioden gjennomgår de en metamorfose der det venstre øyet vandrer over til høyre side, og larvene blir flate og pigmentert på øyesiden. De endrer også atferd fra å være pelagiske til å legge seg på bunnen med den upigmenterte venstresiden ned. Etter metamorfosen går de over i yngelstadiet, og de blir gradvis tilvendt et granulert tørrfôr og blir etter hvert overført til grunne kar eller lengdestrømsrenner for videre oppfôring med tørrfôr. Det blir stadig arbeidet med å forbedre formulerte fôr, slik at perioden med levendefôr kan reduseres.

Som det fremgår av Figur 1 har det funnet sted en radikal omlegging av produksjonsmetoden hos yngelprodusentene. Alle aktørene i 2003 benyttet en helintensiv metode med dyrket *Artemia*, der produksjonen er uavhengig av årstid. Fremdeles er tilgangen på egg gjennom året en begrensende faktor for totalproduksjonen av yngel. Flere produsenter har stamfiskbestander som er lysmanipulert til å gyte utenfor normal årstid. Sammenlignet med torsk tar det mye lenger tid å manipulere kveite, og det kan gå opptil tre år fra man begynner lysmanipuleringen til man får egg av god kvalitet. Noen få produsenter har i dag bestander som gir brukbare egg uavhengig av årstid.

Næringen sliter fortsatt med høye andeler av deformerte larver mot slutten av plommesekkfasen. Av deformasjoner er gaping (låst underkjeve i åpen posisjon) den viktigste, og



**Figur 1** Produksjon av kveiteyngel i Norge fra 1987–2003. Tall over søylene angir antall oppdrettere. (Kilde: Oppdrettere og forskningsstasjoner fram til 2000, deretter G. R. Adoff ved Bergen Aqua AS/Kveite-nettverk Sør).

Total production of halibut fry in Norway 1987–2003. Numbers above the bars represent number of producers (Source: Producers, research institutes and G. R. Adoff at Bergen Aqua AS).

Foto: Havforskningsinstituttet Austevoll



**Figur 2**  
Normal- og feilpigmentert  
kveiteyngel.  
*Normal and mal pigmented  
halibut fry.*

disse larvene kan ikke ta til seg mat. Ved Havforskningsinstituttet Austevoll var andelen normale larver våren 2003 om lag 78 % i gjennomsnitt (12 larvegrupper).

Omleggingen til intensiv produksjon har også medført større variasjon i yngelkvalitet (Figur 2). Andelen yngel med manglende pigmentering og ufullstendig øyevandring er i dag for stor, og dette skyldes i første rekke ernæringsmessige mangler ved de levende fôrorganismene. Næringsinnholdet i *Artemia* kan forbedres ved anriking, dvs. å føre dyrene en kort periode med ulike næringsrike fôrblandinger. I et samarbeidsprosjekt mellom Havforskningsinstituttet, NIFES (tidligere Fiskeridirektoratets ernæringsinstitutt) og SINTEF, finansiert av Norges forskningsråd, har en vist at yngelkvaliteten påvirkes av fettinnholdet og fettsyresammensetning i *Artemia*. Også ved å forlenge tiden før anriking fra de foreskrevne 24 timer til over 30, forbedret en næringsinnholdet signifikant. (Se også egen artikkel om levedefôrproduksjon).

Som for plommesekkfasen viser det seg at stabilitet mht. fysiske parametere som vanntemperatur og oksygenmetning er vesentlig for kvaliteten på byttedyrene. Det er derfor viktig å forenkle produksjonen der dette er mulig. Et eksempel på dette er at de fleste yngeloppdrettere i dag benytter algepasta heller enn å dyrke algene selv. Forsøk utført ved Havforskningsinstituttet viser at det er ingen signifikante forskjeller i vekst og overlevelse ved bruk av algepasta eller levende alger. Arbeidsbesparelsen er derimot stor. Hovedfunksjonen til algene er å lage et turbid vann slik at lysforholdene i karet blir jevnere og larvene lettere ser byttedyrene og får et bedre fôropptak. Denne effekten kan også oppnås ved å tilsette leire til vannet, og flere produsenter bruker nå denne metoden. Det var tidligere kollega ved Havforskningsinstituttet, Kjell Naas, som i 1992 startet dette arbeidet i Austevoll, og som gjennom sitt firma Risørfisk har utviklet dette videre.

## MATFISKPRODUKSJON

I 2002 ble det ifølge Fiskeridirektoratets statistikker solgt 420 tonn kveite til en gjennomsnittspris på 71,- kroner per kilo (Tabell 1). Uoffisielle salgstall for 2003 er vel 500 tonn (Grethe R. Adoff, Kveitenettverk Sør). Produksjonen er fortsatt begrenset av mangel på settefisk av god kvalitet, men i de siste årene er det blitt importert mye settefisk fra Island. Dermed er det nå bygd opp en bestand på over en million kveiter i norske oppdrettsanlegg med en forventet slaktevekt opp mot 5 000 tonn. Prognosene for 2004 er på 700–800 tonn slaktefisk, og det forventes at en passerer 1 000 tonn i 2005. Produksjonsveksten har vært langsommere enn forventet, noe som skyldes ujevn kvalitet på settefisken, ugunstige temperaturforhold i anleggene (kald vinter og varm sommer) og suboptimal teknologi og prosedyrer.

Det er tildelt 162 matfiskkonsesjoner for kveite, men kun tolv var i drift i 2003. På grunn av den lange produksjonstiden bindes mye kapital i fisk som står i sjøen, og det kreves tålmodige investorer. De største aktørene er nå Stolt Sea Farm, Nordic Seafarms, Breivik Seafarm, Marine Harvest (Nutreco), og Dønna Marine Holding (og datterselskaper). Sistnevnte gikk nylig konkurs, men selskapet har de siste årene investert mye i fisk og anlegg, så trolig vil produksjonen vil bli videreført med nye eiere. Stolt Seafarms anlegg på Sunnmøre har produsert kveite i mer enn ti år i et landbasert spesialutviklet anlegg, og har hatt en relativt stabil produksjon. Nordic Seafarms produserer matfisk på Nordmøre både på land og i sjø, samt yngel på Askøy ved Bergen. Breivik Seafarm på Sunnmøre produserer også både matfisk og yngel. Marine Harvest har de siste tre årene importert flere hundre tusen kveiteyngel fra Fiskey på Island, og bygd opp store landbaserte og sjøbaserte anlegg i Rogaland. Levering av slaktefisk starter først i 2004. Dette multinasjonale selskapet har nå lagt all sin satsing på kveiteoppdrett til Norge. De har også kjøpt et yngelanlegg i Nord-Trøndelag, og ønsker å bygge opp sin egen yngelproduksjon.



**Tabell 2.5.1**

Salg av kveite produsert i Norge i 1994–2002 (Kilde: Fiskeridirektoratet (<http://www.fiskeridir.no/sider/statistikk/index.html>)).

\*For 2003 er produksjonen anslått til i overkant av 500 tonn (Grethe R. Adoff, Kveitenettverk Sør).

*Production of halibut farmed in Norway 1994-2002 (Source: The Directorate of Fisheries. (<http://www.fiskeridir.no/sider/statistikk/index.html>)). \*The production in 2003 is assumed to be slightly over 500 tonnes (Grethe R. Adoff, pers. com.).*

År	Tonn	1 000 kr	Kr/kg
2003	>500*		
2002	420	30 016	71
2001	376	28 380	76
2000	549	39 119	71
1999	451	28 904	64
1998	290	19 095	66
1997	113	8 680	77
1996	138	8 798	64
1995	134	8 168	61
1994	63	3 360	53

Noen få andre nye aktører har også kommet til de siste årene (Tustna Kveitefarm ASA, Tustna på Nordmøre og Skei Marinfisk AS, Leka, Nord-Trøndelag). Internasjonalt drives oppdrett av kveite i Canada, USA, Island, Skottland, Shetland, Irland og Chile, men foreløpig i liten skala. Den største satsingen er i dag på Nova Scotia i Canada, basert på kompetanseoverføring fra Europa (bl.a. fra det islandske selskapet Fiskey).

### PRODUKSJONSMETODER

Når yngelen kommer fra yngelprodusenten er de gjerne 5 g eller større, og plasseres i små kar eller lengdestrømsrenner. I karene er det ofte plassert hyller for å øke bunnarealet. De fleste oppdretterne fører fisken kontinuerlig fra automater, og de holdes under kontinuerlig, relativt svakt lys. Fram til ca. 500 g vokser fisken best ved 12–14 °C, og ved bruk av resirkulering og/eller oppvarmet vann har en fått betydelig forbedring i veksten fram til 1 kg. Dette kan trolig redusere produksjonstiden fram til slakt med ett år. På Dønna i Nordland er det bygd et stort settefiskanlegg med resirkulering og temperaturkontroll som kunne vise til svært gode vekstresultater i 2003 (Nils Jenssen, pers. kom.).

Yngel og småkveite kan være aggressive, og særlig finnebiting og “øyenapping” kan være et problem. Bittskader oppstår særlig i forbindelse med føring. Fisk som tar før blir oftest angrepet, men aggressiv fisk kan også angripe uprovosert. Aggresjon kan dessuten oppstå i forbindelse med stressituasjoner, som for eksempel grunnet rask endring i temperaturen. Det er derfor viktig at anlegget holder en så stabil temperatur som mulig. Kveitas behov for svømmeareal øker etter hvert som de vokser, og er karene for små vil det etter hvert oppstå mistrivsel, uro og aggressiv atferd i karet, med påfølgende bittskader på øyne og finner og redusert vekst. Denne pro-

blematerferden reduseres når fisken flyttes over i større og dypere kar eller merder. Aggressiviteten avtar med økende størrelse, og er et lite problem når fisken passerer 0,5 kg.

Når fisken er rundt 200 g kan den settes i merder i sjøen, men de fleste venter til vekten er 500 g eller mer. Fordelene med merdanlegg er at de er billige sammenlignet med landbasert oppdrett. Ulempene er at en har liten kontroll med miljøet, og det er nødvendig å lokalisere sjøanleggene i områder med gunstige, stabile temperaturer og lav bølgehøyde. De moderne sjøanleggene for kveite består av store dype merder (opp til 35 m dype), utstyrt med trampolinebunn og et stort antall hyller av utspent not (Figur 3). De er også utstyrt med føringssystem som samler opp og registrerer mengden uspist før, og regulerer automatisk utføringen i samsvar med appetitten til fisken. Fisken blir overvåket ved hjelp av videokameraer. Oppdrettere som har testet disse anleggene har gode erfaringer og satser på videre utbygging av denne typen anlegg i sjø.

Et nytt, spesielt anlegg med store 2 x 40 m<sup>2</sup> grunne lengdestrømsrenner, plassert flere i høyden, ble etablert på Tustna på Nordmøre i 2002 (Tustna Kveitefarm AS). Erfaringene så langt er gode, men det er litt tidlig å evaluere dette konseptet før de har gjennomført en hel produksjonssyklus. Også der har det vist seg at det er viktig med dypt vanninntak og stabile temperaturer. På grunn av sterk pålandsvind og oppstuing av overflatevann sensommeren 2003, ble varmt overflatevann ført ned til dypvannsinntaket. Dette førte til rask temperaturstigning i anlegget med påfølgende stress, høyt oksygenforbruk og økt dødelighet.

### UTFORDRINGER OG BEGRENSNINGER

#### Tilgang på kvalitetsyngel

Den største begrensningen til nå har vært lav og ustabil yngelproduksjon grunnet sykdomsproblemer (VER-virus), manglende tilgang på egg hele året og lav overlevelse i larvefasen. Sykdomsproblemene sies nå å være langt på vei under

**Figur 3**

Hyllesystem for utplassering i store kar eller merder bestående av nett utspent mellom rørringer.

(Kilde: Aqualine AS, <http://home.c2i.net/aqualine/kveitehyller.htm>)

Shelves, made of stacks of net trampolines, are used to increase the bottom surface in the halibut cages or tanks.

(Source: Aqualine AS, <http://home.c2i.net/aqualine/kveitehyller.htm>)

kontroll, selv om sykdom fortsatt fører til tap i yngelanleggene. Kvaliteten på yngelen har også vært for dårlig, med feilpigmentering, ufullstendig øyevandring og store størrelsesforskjeller. Det har vært lagt ned stor innsats både i forskning og næring for å løse disse problemene, og overlevelse og yngelkvalitet har bedret seg de siste årene. Matfiskoppdretterne stiller også strengere kvalitetskrav til yngelen de kjøper inn. God tilgangen på importert yngel fra Island og få aktive matfiskoppdrettere førte i 2003 til at yngeloppdretterne faktisk hadde avsetningsvansker og bare fikk levert den beste yngelen. Økonomien til yngeloppdretterne er svak og utsatt, og en ser tegn på at næringen blir mer og mer organisert i vertikalt integrerte, større selskaper eller i forpliktende samarbeid mellom yngel- og matfisksiden.

Arbeidet med å bedre yngelkvaliteten er et svært viktig område for å øke lønnsomheten og produksjonen i næringen. Ved Havforskningsinstituttet vil forskningen på dette området bli styrket de kommende år gjennom prosjektet "Intensiv yngelproduksjon av kveite – larvekultur og ernæring" som er finansiert av Norges forskningsråd.

### Oppdrettsmiljø i matfiskfasen

Forsøk ved Havforskningsinstituttet har vist at det er stor individuell variasjon med hensyn til hvordan kveitene mestrer oppdrettsforholdene. For å kunne tilpasse oppdrettsmetoder og produksjonsanlegg mer til kveita sine behov, trenger vi derfor mer kunnskap om hvilke faktorer som er viktige for fiskens trivsel. Det er også viktig at man kommer i gang med utplukk av stamfisk som viser god tilpasningsevne til oppdrett, og gir avkom som vokser og trives bedre i oppdrett. En er nå i ferd med å bygge opp en avlsstasjon for kveite i Bodø som vi får håpe kan bli et nasjonalt prosjekt med tilstrekkelig omfang.

### Tidlig kjønnsmodning

Tidlig kjønnsmodning hos hannfisken fører til vekststagnasjon på opptil et halvt år, lang produksjonstid og dårlig førutnyttelse. Ved å endre døgnrytmen med tilleggsbelysning har man i kar innendørs kunnet øke vekst og redusere andelen kjønnsmodne fisk. Den behandlingen som har gitt best resultat er å holde kveitene på kontinuerlig lys til sommeren når de er vel to år gamle, for deretter å gå over til simulert naturlig lysrytme. Med denne behandlingen modnet 25 % av hannene kommende gytesesong, og det var ingen modne fisk neste sommer. Neste gytesesong modnet mesteparten av hannfisken, men den var da kommet opp i slaktbar størrelse (>3 kg). Det finnes ikke så mye erfaring med bruk av lys utendørs, men resultater fra torsk tyder på at det er mindre effekt av tilleggslyset, og at det er vanskeligere å overstyre den naturlige døgnrytmen. På noe sikt vil en seleksjon på sen kjønnsmodning være et viktig avlskriterium.

### Fôr og fôrtilgjengelighet

For å få bedre vekst og førutnyttelse må en større andel av kveitene spise mer. Dersom de kan påvirkes til å spise bare et par pellets mer per dag, vil en oppnå dramatisk bedring i veksten. Selv om dette er en av de viktigste faktorene for suksess, er det gjort lite forskning på faktorer som smaklighet av fôret (hvilke stoffer utløser fôringsrespons), sammenheng mellom utfôringsstrategi og fôrinntak, hvordan tetthet og sosiale interaksjoner påvirker fôrinntak, osv.

### Lokalisering og teknologi

Både landanlegg og merdanlegg bør lokaliseres i områder med høy vintertemperatur og relativt lav sommertemperatur (<15 °C). Slike områder finnes gjerne i fjorder med dype terskler, og i eksponerte områder fra Vestlandet til Lofoten. Kravet til vanntemperatur står til dels i konflikt med kravet til smult farvann for lokalisering av kveitemerder. Det arbeides nå med utvikling av kveitemerder som tåler mer bølger, uten at dette forplanter seg til hyllene kveiten ligger på. Urolig bunn vil stresse kveita. Et alternativ kan være å utvikle nedsenkbare merder: Dette kan gjøre det mulig å sikre kveita både gunstig vanntemperatur og mindre bølgepåvirkning.

Et problem, både i store kar og merder, er kontrollen med svinn, oppsamling og telling av død fisk. Her mangler det fortsatt tilfredsstillende metoder. Også merdskifte og kontroll med begroing byr på noe større problemer enn for laksemerder.

### FRAMTIDIG FoU-BEHOV

Både yngel- og matfiskoppdrett av kveite er ennå på utviklingsstadiet, og forskningsbehovet er stort på alle områder. Stamfisk/egg-kvalitet, oppdrettsmiljø, ernæringskvalitet til levende- og formulert fôr samt sykdomsforbyggende tiltak, er fortsatt viktige forskningsområder. I settefisk- og matfiskfasene må vi tilby kveita et oppdrettsmiljø den trives i, slik at vekstpotensialet blir utnyttet og produksjonstida går ned. Overfor markedet vil det i framtiden trolig også bli viktig å kunne dokumentere god fiskevelferd. Å finne hvilke faktorer som påvirker fôrinntaket vil være svært viktig for å øke veksten. Her er det trolig snakk om både forbedret oppdrettsmiljø og bedre fôrtilgjengelighet og kvalitet. Videre bør det satses på utvikling av resirkuleringsanlegg med temperaturkontroll og forbedret teknologi og lokalisering av sjøbaserte anlegg.

De siste to årene er grundige utredninger av økonomi og FoU-behov innen industriell produksjon av marin fisk og skaldyr gjennomført på oppdrag fra Regjeringen\*. I disse er det bl.a. påpekt at satsingen må videreføres på en mer konsentrert, fokusert og langsiktig måte enn til nå. Å gjøre en ny art til et husdyr og skape en ny industri krever at en har nødvendig basiskunnskap, teknologi og ferdigheter. Som i oljeindustrien er det nødvendig å investere i en plattform med nødvendig teknologi og menneskelige ressurser før en kan begynne å høste verdiene.

*For mer informasjon se Kveitemaualen på <http://kveitemaualen.imr.no>. En ny oppdatert versjon vil bli lagt ut på nettet våren 2004.*

*\*Hartmark Consulting: Evaluering av utviklingsprogrammet for marine arter; Numario <http://odin.dep.no/archive/fidvedlegg/01/01/NUMAR060.pdf>*

*KPMG: "Planmessig igangsetting av nye arter i oppdrett" <http://odin.dep.no/fid/norsk/publ/rapporter/008011-220003/index-dok000-b-n-a.html> <http://odin.dep.no/archive/fidvedlegg/01/02/Nyear046.pdf>*

## 2.7

## Andre marine fiskearter i oppdrett i Norge

Anne Berit Skiftesvik, Havforskningsinstituttet

I 2003 utgjorde den norske produksjonen av flekksteinbit totalt 100 000 yngel og 100 tonn matfisk, mens det ble produsert 250 000 yngel og rundt 300 tonn matfisk av piggvar. Selv om vi i Norge behersker oppdrett av piggvar, gjør dårligere rammebetingelser i forhold til produsentlandene i EU at vi ikke er konkurransedyktige. Ved Havforskningsinstituttet Austevoll drives det forsøk med oppdrett av hyse og berggylte.

**STEINBIT**

Troms Steinbit AS, som er verdens eneste yngelprodusent av steinbit, produserte i 2003 ca. 100 000 yngel. Dette er full kapasitet med dagens anlegg. Dersom etterspørselen øker, står selskapet klar til å utvide anlegget. Stamfisken de har kan produsere mer egg enn det som klekkes i dag. Troms Steinbit har sammen med andre aktører opprettet Loppa Steinbit, som driver et pilotprosjekt med steinbit i merd. Fisk ble satt ut i merd for et år siden, og etter en del startproblemer blir prosjektet nå betraktet som lovende.

Tomma Marinfisk AS driver bare matfiskproduksjon av steinbit, og i 2003 var produksjonen på 100 tonn. Selskapet antar at produksjonen i 2004 vil øke til rundt 200 tonn. Steinbit selges når den er 5–6 kilo, og hovedsakelig i Norge, spesielt til restaurantmarkedet. Prøvepartier har vært sendt til bl.a. Tyskland, og tilbakemeldingene har vært gode. For mer informasjon om steinbitoppdrett, se utfyllende artikkel i fjorårets havbruksrapport: <http://www.imr.no/dokumenter/havbruksrapport/2003>.



Figur 1  
Hyse produsert ved Havforskningsinstituttet Austevoll.  
Haddock juveniles reared at Institute of Marine Research Austevoll.

**PIGGVAR**

Oppdrett av piggvar kom i gang tidlig på 1980-tallet. Den første tiden var preget av problemløsning, men i dag beherskes produksjonen bra. Det at piggvaroppdrett ikke øker i Norge i dag, skyldes andre faktorer enn de biologiske. Rammebetingelsene for oppdrett av piggvar er bedre i EU. Frankrike og Spania har gunstigere temperaturforhold, og i tillegg blir det der også gitt støtte til etablering og drift, noe man ikke får i Norge. Her i landet har vi derimot en eksportavgift. Da EU også er det viktigste markedet for piggvar, sier det seg selv at det blir vanskelig å konkurrere for de norske produsentene. I 2003 var heller ikke valutakursene på deres side. Den eneste yngelprodusenten i Norge er Stolt Sea Farm AS. Selskapet produserte 250 000 yngel i 2003, og regner med et tilsvarende antall i 2004. Av matfisk produserte Stolt Sea Farm AS ca. 250 tonn. Totalt i fjor kom den norske matfiskproduksjonen av piggvar opp i rundt 300 tonn.

**HYSE**

Hyse er en populær og godt betalt fisk i Nord-Amerika og Storbritannia. I Norge har forskningen på hyseoppdrett til nå foregått ved Havforskningsinstituttet, og noe av yngelen som er produsert er brukt i pilotforsøk med oppføring hos kommersielle oppdrettere. Hyselarvene er mer aktive, men mindre kannibalistiske enn torskelarver, og hysa vokser raskere enn torsk de første 7–8 månedene. Senere vokser imidlertid torsken raskest. Hysa er mindre tolerant for høye sjøtemperaturer enn torsk, og for høy leverprosent i oppdretts-hyse har vært et problem. Her kreves det mer kunnskap om fôr og føring samt om hvilke oppdrettsbetingelser hysa mestrer og trives under. Skal det satses på hyse, vil det også være viktig å komme tidlig i gang med et avlsprogram.

**BERGGYLTE**

Denne arten oppdrettes ikke opp for å bli spist, men for å bli brukt i lakseoppdrett som luseplukker for stor laks. Det er begrenset hvor mye berggylte man kan ta ut fra de ville bestandene, da det er mye mindre av denne arten i naturen enn av de andre artene som brukes til rensefisk (bergnebb og grønnngylte). Bergnebb og grønnngylte er for små til å være egnet som luseplukkere på stor laks.

Bare spede forsøk er gjort for å oppdrette berggylte til nå. Sommeren 2003 startet et NFR-prosjekt ved Havforskningsinstituttet som har som mål å utvikle oppdrettsmetoder for berggylte. Hovedfokus i dette prosjektet er rettet mot sikker eggproduksjon, god kvalitet og overlevelse i sein larvefase. Dette har vært flaskehalsen i tidligere forsøk med oppdrett av berggylte.

## 2.8

## Sansebiologi og atferd – viktig kunnskap for utvikling av marint oppdrett

Howard Browman, Havforskningsinstituttet

For å kunne utvikle et egnet oppdrettsmiljø for de tidlige stadiene til marine fisk og skalldyr, må vi vite hva de kan se, lukte, smake, høre og “føle” (f.eks. vibrasjoner). Vi må også vite noe om hvordan de reagerer på ulike miljøbetingelser, og hvordan sanseapparatet utvikler seg med størrelse og utviklingstrinn. Dersom vi for eksempel forsøker å oppdrette larver i et lysmiljø som består av lysfarger eller intensitet de ikke kan se, vil de ikke kunne se fôret og ikke få i seg nok mat. På samme måte, hvis vi gir dem fôr de ikke kan lukte eller smake, vil de ikke oppfatte det som mat og ikke spise det. Målet for et pågående forskningsprogram er å generere ny kunnskap om larvenes sansevner, og i dette arbeidet brukes en rekke fysiske og fysiologiske målemetoder, samt atferdsstudier ved hjelp av avansert billedanalyse.

*Spektroradiometri* blir benyttet til å måle lysintensitet og lyskvalitet (bølgelengder). Ved å bruke et bærbart, høyoppløselig spektroradiometer, kan vi måle lyset i naturlige omgivelser, i merder, i innendørs akvakultursystemer og under eksperimentelle oppsett. Instrumentet kan dessuten nyttes til å måle spektral transmisjon gjennom materialer og/eller organismer og også overflaterrefleksjon. På denne måten kan vi bestemme hvilken lysintensitet og -kvalitet det er i naturlige systemer og hva vi bør etterligne, både i forskning og i oppdrettssystemer. Vi kan også bistå lampeprodusenter med informasjon slik at en kan skreddersy lamper som gir lyskvaliteter som er i samsvar de naturlige lysforholdene til ulike typer oppdrettsorganisme.

*Mikrospektrofotometri (MSP)* er en videreutvikling av spektrofotometri. Ved å rette en fininnstilt lysstråle gjennom det ytre segmentet til fotoreseptorceller i øynene (cellene som danner basis for syn) kan absorpsjonsprofilene til fotopigmentene i disse cellene måles. Slik kan vi “spørre” marine organismer om hvilke farger de ser, og deretter tilpasse lysmiljøet i oppdrettssystemene til organismens synsevner.

*Elektrofysiologiske registreringer* gjør det mulig for forskere å fastslå dyrs fysiologiske respons på påvirkning fra omgivelsene, og hvordan sensorisk informasjon samles inn og kodes av det sentrale nervesystemet. Ved å plassere mikroelektroder på nervecellene som forbinder de ulike sansereseptorene med nervesystemet, kan en registrere om ulike stimuli blir registrert eller ikke og dermed få svar på hva de ser, lukter, hører og føler (dvs. den taktile sansen). Likeledes kan man analysere hvordan slik respons endres i forhold til alder, utviklingstrinn, stress, ernæringsforhold, endokrin status, repro-

duksjonsstatus, osv. Selv om teknikken hovedsakelig har blitt benyttet på større dyr, lar den seg også nå også anvende på larver. På lik linje med at MSP-teknikken kan benyttes i arbeidet med å utforme et optimalt visuelt miljø, gjør informasjonen det mulig å evaluere hvordan vi kan forbedre de ulike oppdrettssystemene ved å ta i betraktning de samlede effektene av stimuli fra lukt, syn og mekanisk-sensoriske faktorer. I tillegg til å generere informasjon som er av direkte relevans for oppdrettsnæringen, setter disse teknikkene også oss bedre i stand til å rette mer fundamentale spørsmål relatert til utviklingen av informasjonsbearbeiding hos fisk og hvordan denne kan påvirkes av miljøfaktorer i ulike utviklingsfaser. En slik analyse på det elektrofysiologiske nivå kan så bli sammenlignet med resultatene fra tilsvarende studier på morfologisk nivå og atferdsnivå.

*Silhuett videoteknologi* kan brukes til å registrere og måle bevegelser til ulike organismer i et vannvolum. Denne metoden gir forskerne tilgang til en rekke detaljerte observasjoner av akvatiske organismer i forbindelse med ulike aktiviteter, f.eks. knyttet til svømmemønstre under føring og jakt på byttedyr. Alt dette er relevant og viktig i arbeidet med å utvikle hensiktsmessige oppdrettssystemer.

Her følger noen aktuelle eksempler på hvordan disse metodene kan være en viktig bidragsyter i arbeidet med å løse konkrete problemer i akvakulturnæringen:

### STUDIER AV SVØMMEAKTIVITET HOS KAMSKJELLARVER

I et NFR-prosjekt, ledet av forsker Sissel Andersen ved Havforskningsinstituttet, har en undersøkt effekter av fysiske og biologiske faktorer på føropptak og atferd i tidlige livsstadier (veligerlarver) hos stort kamskjell (*Pecten maximus*). Faktorene som undersøkes er tetthet av fôralger og larver, lysintensitet og spektral sammensetning og sykdomsfremkallende bakterier. Ved hjelp av *silhuett video* kan en gjøre direkte observasjoner av kamskjellarvenes atferd under de ulike kulturbetingelsene. To ulike bevegelsesmønstre var tidligere beskrevet for veligerlarver: et spiralformet oppstigingsmønster som kjennetegnet aktivt svømmende larver, og et annet, nedadgående synkende bevegelsesmønster, som kan observeres når passive larver synker nedover i vannet. Vi observerte også et oppadstigende mønster som ikke var spiralformet. I tillegg kunne vi for aktivt svømmende larver observere et nedadgående spiralformet mønster. Over 70 % av larvene som ble observert svømte med et spiralformet bevegelsesmønster når de svømte aktivt. Larvetettheten had-

de lite effekt på de fleste svømmemønstrene. Når algekonstrasjonen var høy, var synkefrekvensen betydelig høyere i grupper med høye larvetettheter, sammenlignet med grupper med lave larvetettheter. Det viste seg også å være en markert lyseffekt på den vertikale hastigheten til 15 dager gamle larver. Den høyere vertikale hastigheten indikerer høyere svømmehastighet eller en kortere diameter i spiralen. Disse observasjonene kan brukes til å forbedre kulturbetingelsene for larver av stort kamskjell.

#### **HVA KAN FISKEJARVENE LUKTE OG SMAKE?**

“Betydningen av luktstimuli i føropptak og atferd under jakt på byttedyr hos marine fiskelarver” er et prosjekt som er finansiert av Norges forskningsråd. For å kunne utvikle et vellykket kommersielt fôr for marine fiskelarver, vil det være av vesentlig betydning å få kunnskap om hvordan ulike bestanddeler i fôret påvirker fôringsatferden. Visse substanser kan tiltrekke seg larvenes oppmerksomhet og motivere fôringsresponsen deres, noe som kan oppnås gjennom å tilsette luktattraktanter til et formulert fôr. Andre ingredienser kan fungere motsatt, ved at de hemmer fôringsresponsen hos fiskelarvene. Derfor må de heller ikke benyttes i et formulert fôr. Vi vet svært lite når det gjelder hvordan marine fiskelarver reagerer på lukter. Formålet med forskningen er

å finne spesifikke substanser som kan tilsettes fôret for å øke fôringsrespons og fôrinntak. Dette vil bli undersøkt for torsk, hyse og kveite.

#### **HVORDAN FINNER LAKSELUSA LAKSEN?**

Lakselus er et ektoparasittisk krepsdyr som infiserer både vill og oppdrettet laksefisk. Parasitten utgjør i dag et av de viktigste helseproblemene i oppdrett av atlantisk laks, og det stilles også spørsmål om lakselusa har bidratt til nedgangen i de ville laksestammene. I de senere år er det blitt klart at enhver effektiv langtidsløsning på dette problemet må ta utgangspunkt i et betydelig bedre kjennskap til lakselusa selv. I NFR-prosjektet “Sensorisk biologi ved vertsdeteksjon i parasittisk lakselus, *Lepeophtheirus salmonis*: elektrofysiologiske og atferdsmessige undersøkelser” er målet å identifisere de vertsrelaterte nøklene som brukes av lakselusa til å lokalisere verten. Slik kunnskap vil kanskje kunne brukes til å utvikle en signalfelle som ville narre bestanden av lakselus i frittsvømmende stadier bort fra merder og/eller vandringsruter for villaksen.

En oversikt over aktuelle publikasjoner som beskriver bruk disse metodene kan fås ved å kontakte forfatteren (se også: [www.fishlarvae.com](http://www.fishlarvae.com)).

## 2.9

## Helsesituasjonen hos marin oppdrettsfisk

Renate Johansen, Veterinærinstituttet Oslo

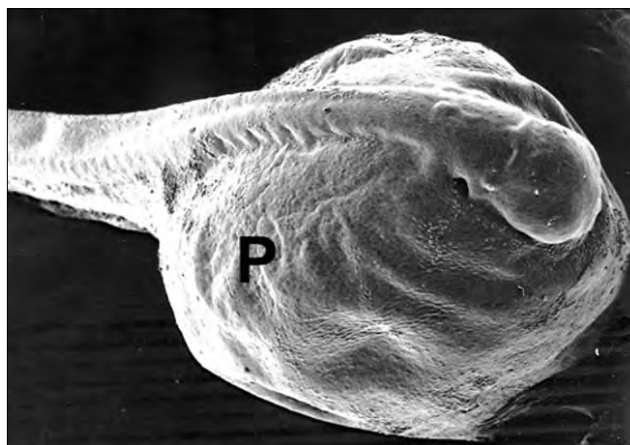
**Deformiteter på torsk og sykdommen atypisk furunkulose på kveite trekkes av mange frem som de største helseproblemene innen marint fiskeoppdrett i 2003. Sykdommen vibriose er heller ikke helt under kontroll, selv om nye vaksiner gir håp om forbedringer. Problemer knyttet til levende fôr til marin yngel innebærer fremdeles betydelige utfordringer. Artikkelen gir en oversikt over de mest kjente helseproblemene i dagens oppdrett av marin fisk, og peker i tillegg på noen av de store utfordringene som kan ligge foran oss.**

Det finnes ikke noe rapporteringssystem for helseproblemer og dødelighet i oppdrettsnæringen, og dermed ingen statistikk over aktuelle helseproblemer. Den følgende rapporten er laget på grunnlag av innkomne saker for sykdomsoppløring ved Veterinærinstituttet, og ut fra intervjuer med helsepersonell på marinfiskanlegg langs hele kysten. Et rapporteringssystem ville trolig gi et mer detaljert bilde, og det er ønskelig å få på plass et slikt sykdomsregister både for marin fisk og laksefisk i oppdrett.

Utfordringene i marint fiskeoppdrett er fremdeles mange, og langt fra alle problemer er løst. Ikke desto mindre er næringen i jevn vekst, og stadig nye konsesjoner tas i bruk. Til tross for at yngeldødeligheten fremdeles er høy, klarer klekkeriene å levere relativt mye yngel av god kvalitet. I kveitenæringen har import fra islandske leverandører skapt konkurranse på yngelmarkedet, slik at settefiskprodusentene kan stille økte krav til yngelkvalitet. God yngelkvalitet er en viktig forutsetning for god helse videre i livet, og dette kan bidra til en forbedret helsestatus hos kveite i årene fremover.

Oppdrett av marin yngel er fremdeles svært krevende rent teknisk, og det er mye som kan gå galt. Mens laksefisk har en lang utviklingsfase inne i det beskyttende egget, klekker torsk, piggvar og kveite på et veldig tidlig utviklingsstadium, noe som gir store tekniske utfordringer (Figur 1). Til disse fiskeartene er man fremdeles avhengig av levende zooplankton som startfôr, og dette gir betydelige utfordringer. Villfanget zooplankton er fremdeles i bruk på enkelte anlegg, men slikt fôr er ernæringsmessig ustabil og medfører stor fare for infeksjoner hos yngelen. Trenden går mot mer intensivt oppdrett med bruk av rotatorier og *Artemia*. Steinbit skiller seg fra de fleste andre marine oppdrettsartene ved at den er godt utviklet allerede ved klekking og fra første stund tar til seg tørrfôr.

Kultivering og anrikning (forbedring av næringsverdien) av rotatorier og *Artemia* (Figur 2) gir mange utfordringer, og



Figur 1

Nyklekkete kveitelarver har verken øyne eller munn og lever av plommesekkmassen (P) i opptil 50 dager. Bildet er tatt ved hjelp av skanningelektron-mikroskopi.

Newly hatched halibut larvae have no eyes or mouth and live by the yolk sac (P) for up to 50 days. Scanning electron microscopy image.



Figur 2

*Artemia* kultiveres ved å tilsette næringsstoffer, varme og oksygen. Det er de samme ingrediensene som trengs for bakterieoppformering, og problemer med feil bakterieflora er et stort problem ved kultivering av zooplankton. Dette kan føre til bakterieinfeksjoner hos fiskelarvene.

Nutrients, heat and oxygen are used in cultivation of *Artemia*. These are the same ingredients necessary for bacterial growth, and problems with bacteria in the zooplankton production can lead to bacterial infections in the fish larvae.

feil i zooplanktonkultiveringen skaper store helseproblemer i dagens oppdrett av marin yngel.

Uheldig bakterieoppblomstring i zooplanktonkultiveringen kan skape dårlig miljø og føre til betennelse i gjeller, hud og tarm hos fiskelarvene. Manglende næringsinnhold i zooplankton er angitt å være årsaken til bl.a. feilutvikling og feilpigmentering hos kveite. Svikt i zooplanktonproduksjonen er ikke helt uvanlig, og dette kan føre til at fiskelarver dør av sult. Det arbeides nå med å utvikle tørrfôr til startfôring av marin yngel, og et gjennombrudd her vil bety en enorm forbedring av helsesituasjonen i marint yngeloppdrett.

Laksefisk vaksineres på de tidlige stadiene i ferskvann mot smittsomme agens som finnes i saltvann. Denne muligheten har man ikke når det gjelder marin fisk, som oppholder seg hele livet i saltvann. Marin fisk blir derfor utsatt for smitte før de rekker å utvikle et godt immunsystem, og før vaksiner kan gi fullgod beskyttelse. Det er vanlig å behandle saltvannet som brukes til de tidlige stadier av marin fisk, men dette gir ingen fullstendig beskyttelse mot smittsomme agens. I verste fall kan vannbehandlingen forskyve den naturlige mikrofloraen i vannet og skape en uheldig bakteriesammensetning.

### BAKTERIESYKDOMMER

**KLASSISK VIBRIOSE** var et stort problem for oppdrettsnæringen på 1980-tallet, men gode vaksiner har ført til at denne sykdommen nå er under kontroll hos laksefisk. Hos oppdrettstorsk er klassisk vibriose fremdeles et av de største helseproblemene. Vibriose forårsakes av bakterien *Vibrio anguillarum*, som er en vanlig bakterie i saltvann. Derfor må torskelarvene skånes for ubehandlet saltvann til de har utviklet fullgod beskyttelse mot sykdommen. Det har vist seg vanskelig å få gjennomført en tilstrekkelig behandling av saltvann slik at man unngår smitte. Dyppvaksiner av



**Figur 3**  
Kveiteyngel med manglende pigmentering, bortsett fra i hoderegionen. Dårlig øyevandring har ført til at fisken har et øye på hver side. I tillegg har fisken en flexibakterinfeksjon i halepartiet som har ført til at halen er delvis borte.

*Atlantic halibut with lack of pigmentation, except for the head region. Lack of eye metamorphosis has resulted in eyes on both sides of the fish. The tail is partly lost due to infection with Flexibakter-like bacteria.*

torskeyngel er følgelig helt nødvendig, men dette gir bare delvis beskyttelse frem til fisken blir stor nok til stikkvaksiner (ca. 25 g). Først to uker etter stikkvaksiner har fisken utviklet en god nok beskyttelse mot vibriose. Det er derfor viktig at fisken ikke flyttes eller utsettes for annet stress i disse to ukene etter stikkvaksiner.

Torsk infiseres av flere *Vibrio anguillarum* serotyper, inklusiv O2 $\alpha$  og O2 $\beta$ . Type O2 $\beta$  infiserer sjelden laksefisk, og beskyttelse mot denne bakterietypen finnes derfor ikke i vaksiner utviklet for laks. Vaksiner av torsk med vaksiner utviklet for laksefisk gir dermed heller ikke fullgod beskyttelse mot vibriose. Det er nå utviklet flere vibriosevaksiner spesielt rettet mot torsk, og de har allerede vist god effekt. Selv om bakterien fremdeles påvises jevnlig, rapporteres det om færre utbrudd av sykdommen og mindre tap av fisk. Vibriovaksinene til torsk er ikke ferdig godkjente av myndighetene, men vaksiner er nå tilgjengelig til alle anlegg som ønsker det. Anleggene må forplikte seg til å rapportere inn eventuell dødelighet og sykdom til myndighetene, og disse dataene vil inngå i dokumentasjonen av vaksinene. Vaksinene er vannbaserte, noe som er viktig for å unngå vaksineskader på leveren som er et viktig biprodukt fra torsk.

**ATYPISK FURUNKULOSE** regnes som den mest tapsbringende sykdommen i dagens kveiteoppdrett. Vaksiner utviklet mot furunkulose på laksefisk gir ikke fullgod beskyttelse, og det finnes ikke godkjente vaksiner mot atypisk furunkulose. Vaksiner som lages mot bakteriestammer som er isolert på anlegget kalles autovaksiner, og kan godkjennes til bruk bare på det aktuelle anlegget. Slike autovaksiner brukes nå i stor utstrekning på flere kveiteanlegg i Norge. Det meldes om god beskyttelse av vaksinene, og dette kan gi en forbedring av helsestatus for oppdrettskveite i årene fremover.

Atypisk furunkulose rammer i hovedsak yngel, men kveite helt opp i 2 kg er blitt diagnostisert med sykdommen. Også på steinbit og leppefisk rapporteres det om dødelighet blant fisk i alle aldre. Behandling med antibiotika brukes, men gir sjelden god effekt, da den syke fisken spiser lite av medisinfôret. Spesielt kan stor fisk leve lenge med infeksjonen og spre bakterier til miljøet i lang tid før den dør. Lange antibiotikakurer er derfor blitt brukt, men med varierende resultater.

**FLEXIBAKTER OG LIGNENDE BAKTERIER** diagnostiseres jevnlig av tilsynsveterinærene ute på anleggene. Disse bakteriene har et karakteristisk utseende og kan dermed diagnostiseres ved direkte mikroskopi av utstryk fra huden. De vokser imidlertid ikke på vanlige blodskåler som brukes rutinemessig av fiskehelsetjenestene, og bare et fåtall bakteriekulturer sendes inn til Veterinærinstituttet for verifisering og videre karakterisering. Sykdomsproblemer på grunn av flexibakterinfeksjoner er derfor trolig sterkt underrapportert i offentlige oversikter.

Flexibakter infiserer huden og gir alvorlige betennelser. På piggvar er det ofte munnpartiet som angripes, mens man på kveite ser infeksjonen hovedsaklig i halepartiet. Figur 3 viser kveite med alvorlig betennelse i halepartiet, mens fremre delen av fisken ikke er infisert. Denne sykdommen gir store

tap, og fører til mye formalinbehandling og i noen grad antibiotikabehandling i marint fiskeoppdrett. Det kan diskuteres om flexibakter er et primært problem, eller om det er et sekundært problem som rammer fisken når den allerede er svekket av andre årsaker. Det er viktig å få avklart faktorer som fører til utbrudd av denne sykdommen, slik at den kan forebygges på en bedre måte enn i dag.

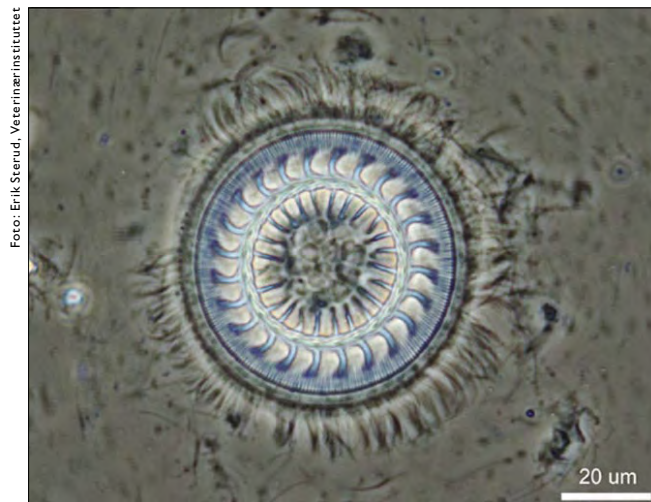
### VIRUSSYKDOMMER

Bortsett fra et utbrudd av virussykdommen IPN på kveite (nærmere omtalt senere) er det ikke diagnostisert virus-sykdommer hos marin fisk i året som gikk. Det observeres ofte betennelse og ødelagte celler (nekrose) i vev uten at virus eller andre årsaker kan påvises. Dette tyder på at det finnes ukjente virus i marint fiskeoppdrett som vi ikke har klart å påvise per i dag. Cellekulturer for oppformering av virus er svært viktig for påvisning av nye virus. En kultur av celler fra kveite er nå etablert ved Veterinærinstituttet, og det vil likeledes være ønskelig med cellekulturer fra de andre oppdrettsartene. Målet er å forbedre mulighetene for å oppdage virus hos disse artene.

**INFEKSJØS PANKREASNEKROSE (IPN)** er en av de mest tapsbringende sykdommene i norsk lakseoppdrett i dag, til tross for at det meste av fisken vaksineres mot sykdommen. Også de marine oppdrettsartene er mottagelig for denne virussykdommen. I 2003 er det bare rapportert ett utbrudd av IPN hos kveite. Utbruddet kom i weaningfasen, dvs. i overgangen fra levende fôr til tørrfôr. Da dette er en fase hvor dødeligheten er ventet å være høy, er det vanskelig å anslå hvor mye fisk som faktisk døde av sykdommen. IPN er kjent for å være en stressrelatert sykdom, og kveiteanlegget med IPN-utbrudd rapporterte om problemer med dårlig vannmiljø som en mulig utløsende faktor.

**VIRAL ENCEPHALOPATI OG RETINOPATI (VER)** forårsakes av nodavirus. Sykdommen kalles også viral nervevevsnekrose (VNN). Sykdomsutbrudd gir svært høy dødelighet hos yngel. Ingen utbrudd av VER ble diagnostisert i Norge i 2003. VER er tidligere diagnostisert hos kveite og piggvar i Norge, og hos torsk i utlandet. Hos steinbit er det ikke registrert sykdomsutbrudd, men eksperimentelle studier viser at også denne arten er mottagelig.

I 2002 var det et VER-utbrudd i et norsk kveiteanlegg. Undersøkelser (RT-PCR for virus og ELISA for antistoffer) av fisken som overlevde dette utbruddet har vist at nesten all fisken blir bærere av nodavirus over lang tid, uten at de viser symptomer på sykdom. Innen fiskegruppen viste det seg å være stor variasjon i tilvekst. En metode for påvisning av nodavirus i vev (immunhistokjemi) ga signifikant flere påvisninger i fisk med dårlig vekst i forhold til fisk med god vekst. Dette indikerer at kronisk nodavirusinfeksjon kan påvirke tilveksten, og videre studier er nødvendige for å klargjøre om VER gir skader som kan hemme fisken senere i livet. Eksperimentelt er det vist at nodavirus fra disse symptomfrie bærerne kan smitte kveiteyngel, og det er ønskelig å få avklart faktorer rundt smittefare fra denne fisken. Så langt er fisken studert i ett år etter utbruddet, og den vil bli videre studert frem til slaktning og kjønnsmodning for å avklare om den blir bærere av viruset hele livet.



**Figur 4**

Trichodina fra fisk. Mange slekter og arter av denne parasitten påvises hos villfisk og skaper til tider problemer for oppdrettsfisk. *Trichodina from fish. Parasites from this group are found in many fish species and may cause problems at fish farms.*

I 2002 ble det også påvist VER i et norsk piggvaranlegg. Dette virusisolatet er nå videre karakterisert, og genomet (RNA) er delvis sekvensert. Resultatene viser at dette er en helt ny nodavirusstamme som ikke er påvist tidligere, verken i Norge eller andre land. Den nye nodavirusstammen er kalt Turbot nodavirus (TNV), og det er viktig å få avklart om dette viruset er smittefarlig for andre fiskearter. Det smittede piggvaranlegget hadde importert fisk fra Frankrike og Spania i tillegg til egenprodusert fisk, og det er ikke avklart hvor smitten kom fra.

VER regnes fremdeles som en gruppe B-sykdom, og anlegg med påvisninger får restriksjoner på hvor de får selge fisk. VER er imidlertid ikke en rapportpliktig sykdom i EU, og Norge må derfor trolig fjerne denne sykdommen fra sine B-lister i nær fremtid. Ansvar for testing og kontroll med sykdommen vil da bli overført til næringen selv. Det vil da bli viktig at kjøpere av marin yngel stiller krav til dokumentasjon av nodavirusstatus på fisken i tillegg til generell helsestatus. Det henvises til tidligere havbruksrapporter publisert i 2001, 2002 og 2003 der Hogne Bleie har gitt gode oversikter og generell informasjon om nodavirus.

### PARASITTSYKDOMMER

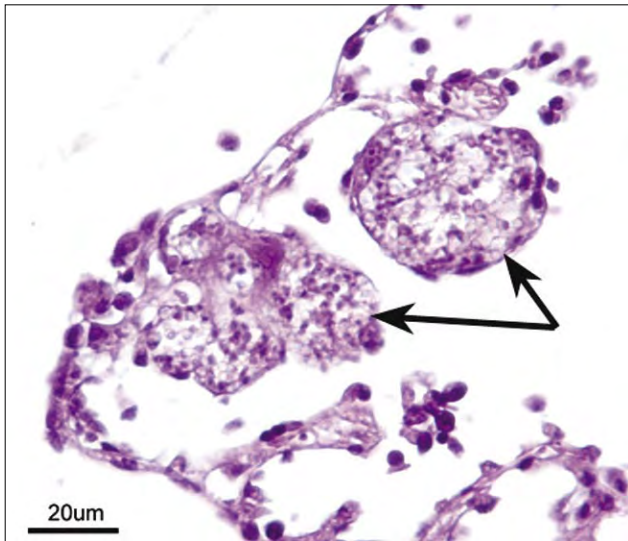
Parasitter av ulike arter ses ofte på marin oppdrettsfisk. Det er imidlertid vanlig at det i tillegg påvises andre sykdomsagens på den samme fisken, og det er da vanskelig å avgjøre hva som har ført til sykdommen. Mange parasitter er dessuten vanskelige å påvise og identifisere ved vanlig sykdomsundersøkelse, og det er derfor sannsynlig at parasittproblemer er underdiagnostisert. Parasittpåvisninger i marint fiskeoppdrett så langt tyder på at ektoparasitter er det største problemet i tillegg til ulike myxosporidier.

**CILIATER OG FLAGELLATER.** Ciliater generelt og familien Trichodinidae (*Trichodina* m.fl.) spesielt er vanlige og problematiske parasitter hos alle marine oppdrettsarter (Figur

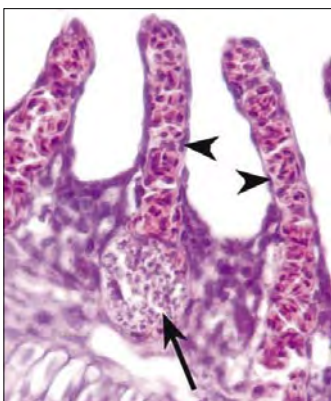




**Figur 5**  
Myxosporidie-lignende parasitt påvist fra urinveiene til steinbit i oppdrett. De to runde polkapslene øverst i bildet fremstår som lysende pga. fasekontrastmikroskop.  
*Myxosporidia-like parasite detected in the urine bladder of farmed wolf fish. Phase contrast aperture make the two round polar capsules glow.*



**Figur 6**  
Mikrosporidie-lignende parasitter i hjerteceller hos oppdrettskveite.  
*Microsporidia-like parasites in heart cells of farmed Atlantic halibut.*



**Figur 7**  
Gjeller fra torsk med Mikrosporidie-lignende parasitter (pil) som fører til stuving av blod i gjellelamellene (pilhoder).  
*Microsporidia-like parasites (arrow) in the gills of farmed cod. Arrowheads mark circulation problems in the gill lamella.*

4). Kort livssyklus og stort spredningspotensial gjør at disse artene lett kan blomstre opp i mengder som medfører akutt fare, spesielt for liten fisk. Flagellaten *Ichthyobodo necator* (costia) er velkjent fra lakseoppdrett, og lignende parasitter har også vist seg å være et problem for marin oppdrettsfisk. Felles for ektoparasittiske ciliater og flagellater er at de irriterer hud og gjeller og kan gi alvorlige betennelser og dødelighet. Formalinbehandling er ofte nødvendig, og den utstrakte formalinbehandlingen i marint fiskeoppdrett skyldes i all hovedsak disse parasittene. Fordi disse parasittene gjerne blomstrer opp ved høy organisk belastning av vannet, bør man tilstrebe et godt renhold, unngå forspill og være forsiktig med resirkulering av vann.

**GYRODACTYLUS SP.** er en haptormark, og denne parasittgruppen er kjent som problematisk overalt hvor det drives fiskeoppdrett. Hos oss er *Gyrodactylus* nærmest blitt ensbetydende med arten *G. salaris*, som skaper problemer for lakseunger i ferskvann. Det finnes imidlertid mange arter *Gyrodactylus* i saltvann, og flere arter påvises jevnlig hos både steinbit og ikke minst torsk i oppdrett. Seks gyrodactylusarter er kjent fra torsk, og minst to av dem kan forårsake sykdom hos torsk i oppdrett.

**MYXOSPORIDIER.** Ulike myxosporidieinfeksjoner, spesielt i nyre/urinveier, påvises ofte hos torsk, steinbit og kveite (Figur 5). Betydningen av disse infeksjonene er ofte usikker, men i enkelte tilfeller er det klart at parasittene fører til sykdom og ev. død. Myxosporidier har indirekte livssyklus, dvs. at de trenger flere arter for å formere seg. Påvisning av myxosporidier i oppdrettsfisk viser at andre verter for parasittene finnes i nærheten av, eller faktisk også inne i anleggene. Dette kan være organismer i kar, rør, på nøter og lignende. Det finnes ingen gode behandlingsregimer mot myxosporidieinfeksjoner, og forebygging mot smitte er derfor avgjørende. Godt renhold og hygiene er her av største betydning.

**MIKROSPORIDIER** er svært små parasitter som er vanskelige å påvise, og sykdomsproblemer på grunn av disse parasittene er derfor trolig underdiagnostisert. Av og til kan store ansamlinger av mikrosporidier gjøre infeksjonen lett synlig. En av de mest kjente mikrosporidiene som gir problemer i oppdrett er *Pleistophora* på steinbit, som gir store byller med enorme mengder parasitter (se videre informasjon under steinbit). Mikrosporidielignende parasitter har vært påvist hos både kveite og torsk i oppdrett, og påvisningene har vært knyttet til dødelighet (Figur 6 og 7).

#### ANDRE HELSERELATERTE PROBLEMER

Sjøtemperaturene i 2003 var høyere enn normalt, men ikke så høye som i 1997 og 2002. Sterk nordavind i august senket temperaturen på Sørlandet og Vestlandet, slik at man unngikk kritisk høye temperaturer. Det er ikke meldt om problemer med alger eller maneter hos marin fisk i 2003.

**KATARAKT OG ANDRE ØYESKADER** observeres både hos kveite og torsk på mange anlegg. Flere oppdrettere og helsepersonell på anleggene melder om at øyeskader er et stort problem, men funnene er ikke systematisert slik at man kan si noe om utbredelse og årsak. Det er imidlertid den rådende oppfatning at problemet skyldes aggresjon (biting/“øyesnapping”) fra

andre fisk i karet. Kartlegging av betydning og utbredelse er helt avgjørende dersom problemet skal løses.

Katarakt er blakking av linsen slik at fisken blir helt eller delvis blind. Dette har vært et stort problem i lakseoppdrett de siste årene, men omlegging av innholdet i laksefôret har gitt en forbedring av tilstanden i 2003. Hos torsk og kveite rapporteres det om mye katarakt i enkelte anlegg, og det er uvisst om mangel på sporstoffer eller andre komponenter i fôret kan relateres til katarakt også hos marinfisk.

**Sår** rapporteres som et problem, spesielt på stamfisk av kveite. Sårproblemene oppstår gjerne på individer med dårlig appetitt, og vitaminmangel er derfor blitt trukket frem som en mulig årsak. Kveite kan gyte flere ganger i året over flere år, og det er klart at den fysiske behandlingen under stryking kan bidra til sårutviklingen. Ulike råd for sårbehandling og vitamintilsetning florerer, men det finnes ingen god dokumentasjon for anbefalt behandling. Stamkveite er svært verdifull fisk, og individuell diagnostisering og behandling kan derfor forsvarer. Dessverre foreligger det svært lite kunnskap om normalparametere hos fisk, slik at for eksempel blodprøver og urinprøver ikke er aktuelle. Stamkveiter er ofte mer verdifulle enn de fleste andre husdyr, og det er et paradoks at tilbudet til diagnostikk og behandling av kveite er så mye dårligere enn for bl.a. gris og storfe.

#### **FORBRUKET AV ANTIBIOTIKA OG ANTIPARASITTMIDLER**

Produksjonen av marin oppdrettsfisk er foreløpig lav, sammenlignet med den store produksjonen av laksefisk. Det relativt høye forbruket av antibiotika til produksjon av marin fisk kommer derfor ikke frem på den samlede statistikken, og det er foruroligende å tenke seg en stor marin oppdrettsnæring med dagens forbruk av antibiotika. Antibiotikabruk gir fare for utvikling av resistens hos bakteriene, og antibiotikaresistensen hos én bakterietype kan spres til andre bakterietyper. Når det først har utviklet seg resistente bakterier i miljøet, tar det dessuten svært lang tid før disse forsvinner. Det har derfor vært satt et sterkt fokus på å få ned antibiotikaforbruket til oppdrettsfisk, og næringen sliter fortsatt med å bli kvitt sitt 20 år gamle dårlige rykte i dette henseende. Det er i hovedsak sykdommene vibriose og atypisk furunkulose som har ført til antibiotikabruk i marin fiskeoppdrett, og tap relatert til disse sykdommene ser nå ut til å være på retur takket være bedre vaksiner. Det er derfor forventet at antibiotikaforbruket vil avta.

Antibiotika er også blitt brukt til behandling av bakterieproblemer ved zooplanktonproduksjon, noe som gav svært dårlige resultater og rask resistensutvikling. Forsøket ble derfor avsluttet og alt materiale destruert. Det er lite trolig at antibiotika kan løse de bakterielle problemene rundt startfôring av marin yngel, og andre metoder for å styre bakteriefloraen bør derfor prøves ut. Tilsetning av "snille bakterier" (probiotika) for å utkonkurrere de sykdomsfremkallende bakteriene er en aktuell metode som nå prøves ut i flere torskianlegg.

Formalinbehandling er i utstrakt bruk i marint oppdrett, spesielt rettet mot ektoparasitter og flexibakterlignende bak-

terier. Utstrakt bruk av formalin er uheldig for arbeidsmiljøet og trolig også for fisken. Akutt forgiftning hos fisk er kjent, men kroniske bivirkninger for fisken ved utstrakt bruk av formalinbehandling i lang tid er lite klarlagt.

#### **HELSEPROBLEMER RELATERT TIL DE ENKELTE FISKEARTENE**

##### **Torsk**

Til tross for mange problemer i yngelproduksjonen er det mye torskelyngel på markedet. Mange anlegg sliter med svært høy dødelighet omkring dag 35 etter klekking, og denne uka kalles av enkelte oppdrettere bare for "helvetes-uka". I tillegg til dødelighet ses levende, men svekket fisk som flyter i overflaten av karene med oppblåst svømmeblære. Årsaken til problemene er sammensatte, men gassovermetning og bakterieproblemer er de to funnene som oftest gjøres på torskelyngel i denne perioden.

**GASSBLÆRESYKE** forårsakes av gassovermetning i vannet. Til tross for at vannmålinger viser tilfredsstillende nivåer, påvises det ofte gassblæresyke på torskelyngel. Torskelyngel er tydeligvis svært sårbar for gassovermetning, og det må derfor settes strengere krav til hvilke gassnivåer som tolereres. Vakuumlufte på hver enhet kan være nødvendig for å få kontroll med problemet. Det er også verd å merke seg at når en del av fisken diagnostiseres med gassblæresyke, må man forvente at også resten av fisken er utsatt for stress på grunn av lavgradig kronisk overmetning. Dette stresset kan svekke fisken i en meget kritisk fase i livet.

**BAKTERIEPROBLEMER** ved oppdrett av zooplankton er diskutert innledningsvis, og dette fører ofte til overvekst av bakterier i tarmen og tarmbetennelse (enteritt) på fiskelarvene. Bedre hygiene og kontroll med zooplanktonproduksjonen har gitt forbedringer, men systemene er svært ustabile slik at problemene er tilbakevendende. Bakterier i tarmen er nødvendig både for mennesker og dyr, men sammensetningen av bakteriefloraen er helt avgjørende for at det ikke skal oppstå diaré og tarminfeksjoner. Man trenger derfor metoder for å styre etableringen av tarmfloraen hos fiskelarver. Diaré hos speddyr er et kjent problem i oppdrett av f.eks. kalv og gris, der store ressurser er brukt for å få kontroll med problemene.

"**SVØMMEBLÆRESYNDROMET**" er en betegnelse som brukes i ulike stadier i torskelyngelproduksjon når man observerer levende fisk som flyter i overflaten med utspilt svømmeblære. "Flytere" er også en vanlig betegnelse på slik fisk. Det er ikke klart om det finnes et spesifikt "svømmeblæresyndrom" hos torskelyngel, eller om dette bare er et generelt symptom på flere ulike sykdommer. Det er viktig å ikke plassere flere lidelser inn under det samme begrepet, da dette vil komplisere registrering og oppklaring av de forskjellige lidelsene. Oppblåst svømmeblære bør derfor inntil videre betegnes som et uspesifikt symptom og ikke som en spesifikk sykdom.

Det er viktig å merke seg at forbindelsen mellom svømmeblæren og tarmen hos torsk lukkes tidlig i yngelstadiet. Laksefisk beholder denne åpningen til tarmen hele livet, og dette gjør den i stand til raskt å bevege seg mellom ulike dyp



**Figur 8**  
Normalt utviklet torskelarve i midten, og larver med deformiteter øverst og nederst i bildet.  
*Two cod larvae with deformities and one normally developed larva in the middle.*



Foto: Kveit Midling, Fiskeforskning

**Figur 9**  
"Black vessel syndrome" (BVS) med svart pigmentering av blodkar i fileten til oppdrettstorsk.  
*Black vessel syndrome with pigmentation of blood vessels in the filet of farmed cod.*

i sjøen. Torsk tåler derimot dårlig raske endringer i dybde, da den er avhengig av å regulere gasstrykket i svømmeblæren via gasskjertler. Forskjeller i gasstrykk er spesielt stort øverst i vannmassen, og dette kan være en medvirkende årsak til at torsk får svømmeblæreproblemer på grunt vann.

**DEFORMITETER** regnes i dag som det største helseproblemet ved intensivt oppdrett av torsk. Deformiteter på fisk er svært betenkelig ut ifra et dyrevernsmessig synspunkt, og dette aspektet må tas alvorlig. Forandringene påvises i hovedsak i de fremre ryggvirvlene og betegnes som "nakkeknekk" (Figur 8). Fisk med store deformiteter blir sortert ut og destruert. Deformitetene registreres først når fisken har nådd en viss størrelse, men det er antatt at forandringene oppstår på yngelstadiet. Spannende forskningsresultater fra Zoologisk institutt i Bergen viser en mulig direkte sammenheng mellom oppblåst svømmeblære på yngelstadiet og nakkeknekk på større torsk. Mye forskning gjenstår ennå for å kunne trekke klare konklusjoner på dette området.

Deformiteter i ryggraden er også et stort problem i lakseoppdrett, og her har man funnet en sammenheng med vanntemperaturer i ulike utviklingsstadier. Flere torskianlegg har på egen hånd satt i gang eksperimentering med ulike temperaturregimer. Det er ønskelig at næringen tar fatt i dette problemet med en felles strategi for å få en snarlig forbedring.

"BLACK VESSEL SYNDROME" (BVS) er en tilstand med pigmentering av blodkar i muskulaturen hos torsk (Figur 9). Så langt er syndromet bare registrert som tilfeldige funn, og årsaken er ukjent. Fiskefilet med slike svarte kar kan ikke selges til normalt konsum, og dette syndromet kan derfor gi betydelige tap for oppdretteren om det skulle forekomme i stort omfang. Det bør derfor prioriteres høyt å finne årsaken slik at problemet kan forebygges.

**FORSTØRRET LEVER (HØY VEKTPROSENT)** rapporteres som et problem i flere anlegg, og i de verste tilfellene utvikles dette til et direkte helseproblem. Leveren blir så stor at buken utvides og bukveggen blir svært tynn. Tilstanden ses ofte på fisk som i tillegg har nakkeknekk, og denne fisken er ikke noe vakkert syn! Årsakene kan ligge i førsammensetning og fôringsrutiner, men andre årsaksforhold som deformiteter og feilutvikling kan ikke utelukkes. Det er dyrt for oppdretteren å føre opp mye lever og lite filet, og denne lidelsen har også viktige dyrevernsmessige aspekter.

**TIDLIG KJØNNSMODNING** er et stort problem i flere anlegg, og dette har store økonomiske konsekvenser for næringen pga. appetittsvikt og vekttap. Kjønnsmodning svekker fiskens immunforsvar, og slik fisk kan dermed utgjøre en smitterisiko i anleggene. Avlsarbeid på laksefisk har langt på vei løst problemet med tidlig kjønnsmodning også avlsarbeid på de marine artene er viktig for å forbedre tilstanden og på disse artene. Kjønnsmodning kan styres med lysregime, og det er viktig å få avklart hvilke regimer som gir best resultat.

**VIBRIOSE** er som nevnt tidligere et av de største helseproblemene i torskoppdrett. Nye vaksiner gir håp om snarlig forbedring av situasjonen.

**PARASITTER** av ulike slag, fra små mikrosporidier til store innvollsmark, påvises jevnlig hos oppdrettstorsk. Betydningen av funnene er imidlertid ofte uklare. Fra naturens side er torsk en zoologisk hage hva parasitter angår. Det bør derfor understrekes at parasittfunn hos oppdrettstorsk i mange tilfeller bør regnes som “normalt”. Dette henger sammen med tettere kontakt med ville artsfrender enn det vi er vant til fra lakseoppdrett.

### Kveite

Konkurser og hard konkurranse på yngelmarkedet har preget kveitenæringen i 2003. Det offentlige fokus er nå i stor grad flyttet fra kveite til torsk. Flere aktører har derfor helt eller delvis sluttet med kveite for å satse på torsk. Dette er uheldig, da mye av den kompetansen som er opparbeidet på kveite kan forsvinne.

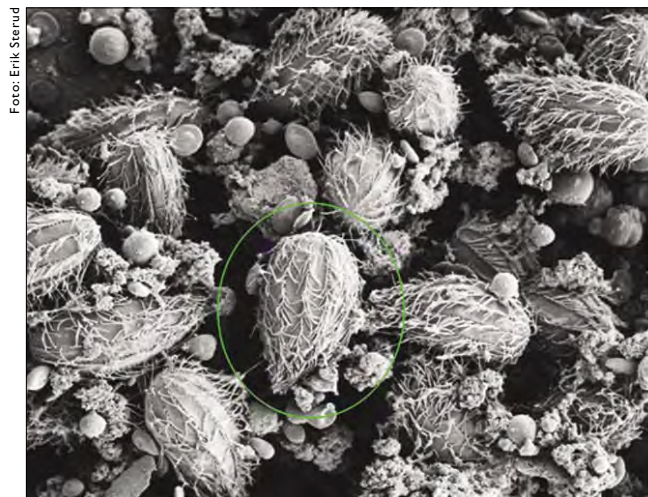
**ATYPISK FURUNKULOSE** blir som tidligere nevnt regnet som det største helseproblemet i kveiteoppdrett i dag. To av de største matfiskprodusentene har i flere år slitt med store tap på grunn av denne sykdommen, og antibiotika har vært brukt i behandlingen. Begge produsentene har nå fått utviklet autovaksiner mot bakteriestammer isolert på anlegget, og all yngel vaksineres nå før levering til anleggene. Forhåpentligvis vil vaksinene føre til kontroll med denne sykdommen, noe som vil bety en sterk forbedring av helsestatus i kveitenæringen.

**HJERTESEKKBETENNELSE (EPICARDITT)** diagnostiseres på mye av oppdrettskveiten, spesielt i størrelsen 5–100 g. Det observeres ingen symptomer, til tross for at betennelsen kan være svært alvorlig og bre seg til underliggende hjertemuskulatur. Forandringen ser ut til å heles, og i senere stadier observeres en kronisk bindevevstilheftning mellom hjerte og hjertesekk. Hjertesekkbetennelse er også svært vanlig hos laksefisk i oppdrett, men da er forandringene mer moderate og hjertemuskulaturen er svært sjelden affisert. Marin fisk har en svært tynn hjertevegg sammenlignet med laksefisk, og dette kan føre til at betennelse i hjertesekken blir et større problem hos disse artene. Årsaken til betennelsen er ikke avklart, og ingen infeksiose agens er påvist. Hos laks har stimulering fra vaksineringsvætt diskutert som en mulig årsaksforklaring, men forandringene ses også hos kveite som aldri har vært vaksinert.

### Piggvar

Piggvar krever varmere vann enn det man normalt har i norske farvann for å kunne vokse bra. Norske piggvaranlegg finnes derfor bare i nærheten av industri som kan gi spillvarme til oppvarming av vannet. Piggvarnæringen er internasjonal, og fisk flyttes ofte mellom flere land før den er ferdig til slaktning. Yngel fra Norge selges gjerne til Danmark, som så selger fisken videre til for eksempel Spania. Denne transporten av levende fisk er betenkelig ut fra et smittehygienisk perspektiv, da levende fisk kan bære med seg smittsomme agens.

Av kjente helseproblemer kan nevnes atypisk furunkulose, flexibakter, VER og *Trichodina* som er omtalt tidligere i dette kapitlet. Herpesvirus scophthalmi, som ble påvist hos piggvar som ble importert til Norge i 2000 og 2001, har ikke gitt seg utslag i registrerte helseproblemer.



**Figur 10**  
Uidentifisert scuticociliat fra hjernen til oppdrettspiggvar.  
*Unidentified scuticociliate from the brain of farmed turbot.*

**HJERNEPARASITTER.** Frittlevende ciliater i familien Scuticociliatidae er en del av den normale marine faunaen av nedbrytere, dvs. organismer som bryter ned dødt materiale. Fra Norge så vel som Spania og Frankrike er det påvist flere tilfeller der slike ciliater har opptrådt som parasitter, med svært negativ effekt for både yngel og voksne individer av oppdrettspiggvar. Som parasitter har disse ciliatene vist en spesiell forkjærlighet for hjerne og annet sentralnervøst vev (Figur 10).

### Steinbit

Satsing på oppdrett av flekksteinbit er avgrenset til Nord-Norge, og næringen har holdt seg liten med forsiktig vekst over flere år. Det er generelt lite helseproblemer med arten, og den angis til å være den mest “trivelige” fisken å ha i oppdrett. Atypisk furunkulose, *Trichodina* og *Ichthyobodo* kan nevnes som problemer også på denne arten. Disse sykdommene er omtalt tidligere i dette kapitlet.



**Figur 11**  
Steinbit infisert med parasitten *Pleistophora ehrenbaumi*.  
*Wolf fish with Pleistophora ehrenbaumi.*

**PLEISTOPHORA EHRENBALMI** er en mikrosporidie (parasitt) som finnes i ville populasjoner av steinbit. Mikrosporidiene er organ- eller vevsspesifikke, og mange smitter trolig direkte fra fisk til fisk. Hos steinbit er det skjelettmuskulaturen som er målorganet for parasitten. Sporer (smitteagens) av mikrosporidier er resistente og kan overleve lenge utenfor verten.

Det har i 2003 vært en del problemer med pleistophorainfeksjoner hos flekksteinbit i oppdrett. Det har vært rapportert om vraking av steinbitfileter på grunn av kvalitetsfeil, som følge av parasitten danner opptil knyttnevestore byller (pseudotumorer) i muskulaturen. Innholdet er gulgrønt av farge, og gjør fiskefileten uappetittlig og uegnet for salg. På figur 11 kan man se en byll som har tømt seg til overflaten av fisken. En økning i forekomsten av denne parasitten vil gi enorme tap i steinbitoppdrett, og det er derfor viktig å få avklart forebyggende tiltak.

### Sei

Det finnes ett anlegg som i stor skala driver oppføring av villfanget sei. Vibriose trekkes frem som det klart største helseproblemet hos denne arten, og den nye vibrio-vaksinen utviklet til torsk er forventet å ha god effekt også hos sei. Fisken føres med tørrfôr, og riktig fôringsregime er avgjørende for at all fisken skal få i seg nok mat. Fisken er glupsk i matfatet og vokser svært bra. Tidlig kjønnsmodning er et stort problem som gir appetittsvikt og avmagring. Med dagens priser på sei er det mange som lurer på hvordan det kan lønne seg å drive oppføring av sei, men anlegget får frem fin fisk med god fortjeneste.

### Kongekrabbe med mulig brannflekkysyke

Det ble i 2003 meldt om sykdom på kamtsjakakrabbe kongekrabbe, som ble fanget under kommersielt fiske. Forandringene bestod av relativt store sorte sår i skallet, og mikroskopi av vevssnitt viste funn av bakterier i sårene (Figur 12). Hos taskekrabbe og andre krepsdyr er det beskrevet lignende forandring, og sykdommen kalles brannflekkysyke. Sykdommen karakteriseres av svartbrune forandringer, ofte med en mer rødlig/rødorange randzone, i krepsdyrenes skall. Man regner sopp/bakterier som den viktigste årsak til disse forandringene,



Foto: Geir Borne, Veterinærinstituttet

**Figur 12**

Kongekrabbe med svarte sår i skallet.  
Red king crab with black lesions.

gene, og brannflekkysyke opptrer ofte i bestander med høy tetthet. Smittefare fra kongekrabbe til andre krepsdyr og fisk er ikke avklart.

### FREMTIDIGE HELSEUTFORDRINGER INNEN MARINT FISKEOPPDRETT

At oppdrett av nye arter vil gi problemer med nye sykdommer er helt klart, og en tidlig forebygging av problemene vil være avgjørende! Norge har mye kompetanse i lakseoppdrettsnæringen som kommer til å bli svært verdifull i oppbyggingen av en stor oppdrettsnæring på marin fisk. Mange sykdomsutbrudd på marin fisk forblir i dag uoppklarte på grunn av manglende kunnskap om anatomi, patologi, immunologi og smittsomme agens. Det haster med å få opp kunnskapsnivået på disse artene, slik at helsearbeidet kan ligge i forkant av utviklingen i næringen.

De marine artene har andre behov for sykdomsovervåking enn laksefisk. Rutiner for helsekontroll og krav til helseattester må raskt på plass. Som eksempel kan nevnes at den høye dødeligheten i marint yngeloppdrett vanskeliggjør en god sykdomsovervåking. Den høye dødeligheten som ventes som følge av tekniske problemer kan skjule dødelighet forårsaket av sykdom.

**NODAVIRUSINFEKSJONER (VER/VNN)** gir svært høy dødelighet hos yngel, og alle de marine fiskeartene er mottakelige. Det finnes ingen muligheter til behandling eller vaksiner, så sykdommen må forebygges ved å unngå at yngelen blir smittet. Når man først har fått nodavirus inn i anlegget, er generell helsestatus hos fisken og hygienetiltak mot spredning avgjørende for utfallet.

Nodavirus hevdes å smitte fra stamfisk til yngel. Valg av stamfisk fri for nodavirus og ozonering av egg har gitt gode resultater på havabor i Middelhavet. Det finnes tilgjengelige metoder (ELISA) for å teste stamfisk av kveite og piggvar, men disse er i svært liten grad tatt i bruk. VER er kjent som et stort problem hos torsk i utlandet, og man kan derfor gå ut fra at dette også vil bli et problem i Norge. Metoder for å teste nodavirus-fri stamfisk på torsk bør derfor snarest etableres, og bør etter hvert tas i bruk for alle de marine artene.

**VHS (VIRAL HEMORAGISK SEPTIKEMI)** er en av de mest fryktede sykdommene i fiskeoppdrett. Norge er regnet som VHS-fri sone, til tross for at VHS-virus er påvist hos villfisk langs kysten vår (se *Havbruksrapport 2003*). Denne virussykdommen gir svært høy dødelighet hos regnbueørret og er gradert som en gruppe A-sykdom i Norge, dvs. at påvisning fører til destruksjon av all fisk i anlegget. Fôring med våtfôr (frossen fisk og fiskeavfall) regnes som en mulig smitekilde. Våtfôr brukes bl.a. til stamkveite og til oppføring av villfanget torsk. Smitte fra villfisk rundt oppdrettsanleggene er også en mulighet. For å unngå introduksjon av VHS i norsk fiskeoppdrett er det ønskelig med minst mulig bruk av våtfôr.

**MYKOBAKTERIER** er vidt utbredt i naturen, og en type av slike bakterier (*M. marinum*) er kjent for å gi sykdom hos vill marin fisk. Bakterien gir en kronisk sykdom med avmagring av fisken og funn av små knuter i flere organer. Høy tetthet av fisk i oppdrettsanlegg kan gi bakterien gode betingelser for

spredning, og en introduksjon av mykobakterier i torskoppdrett kan derfor få store konsekvenser. Bakterien kan også smitte til mennesker (zoonose), og er mest kjent for å kunne gi hudinfeksjoner hos personer som jobber i fiskeindustrien. Så langt er mykobakterier ikke påvist i norsk fiskeoppdrett.

**LUS** (parasittiske hoppekreps i familien *Caligidae*) er et kjent problem hos laks, og det finnes mange lusearter som infiserer marine fisk. Skottelus (*Caligus elongatus*) og torskelus (*Caligus curtus*) er påvist hos vill torsk. Oppdrett av torsk kan gi oppformering av disse luseartene slik vi har sett at lakseoppdrett har gitt problemer med lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*). Oppdrettsfisk med lus i åpne systemer øker smittepresset på villfisk, som så kan smitte oppdrettsfisk igjen. Lakselus er spesifikk for laksefisk i sjøen, mens skottelus kan infisere 80 forskjellige fiskearter, inkludert laks. En oppformering av skottelus i miljøet kan altså utgjøre et problem også for laksenæringen. Skottelus er ikke så lett å behandle som lakselus, fordi den kan smitte både som larve (copepoditt) og voksen.

**“TORSKERAPPORTEN”**. Fiskeridepartementet har bedt akvamedisinforskerne ved Veterinærinstituttet og Norges veterinærhøgskole om å utrede hvilke helseproblemer man kan se for seg i en fremtidig stor torskoppdrettsnæring. Rapporten heter “Miljøproblemer i forbindelse med oppdrett av torsk, med fokus på sykdommer og mulighet for spredning av disse til ville bestander” og kan lastes ned fra [www.vetinst.no](http://www.vetinst.no).

**SMITTE MELLOM VILLFISK OG OPPDRETTSFISK** er en høyst aktuell problemstilling både for bakterier, virus og parasitter. Marin fisk lever hele livet i saltvann og kan dermed ikke

skånes for smitte i yngelstadiet slik som laksefisk. Laksen passerer oppdrettsanleggene på vei til og fra elvene, og problemstillinger med lakselus har lært oss at selv denne korte kontakten er nok til å skape store problemer. Ville stammer av marin fisk befinner seg rundt merdene til marine fiskeoppdrettsanlegg til ethvert tidspunkt, og denne nære kontakten over lang tid skaper større fare for interaksjoner mellom oppdrettsfisk og villfisk enn det vi har erfart på laks.

Smitte er aktuelt både til og fra villfisk, og smitte mellom ulike fiskearter er også mulig. Smitte til oppdrettsfisk er uønsket og kan gi store konsekvenser for næringen, men i oppdrett er det relativt enkelt å begrense smitten, og all fisk kan i verste fall destrueres. Smitte fra oppdrettsfisk til villfisk kan derimot være katastrofalt, da det er vanskelig å avgrense smitten etter at den er spredt i villfiskpopulasjonen. Denne type problemstillinger er behandlet i “Torskerapporten” som er omtalt over.

#### **TAKK TIL BIDRAGSYTERNE:**

Denne rapporten er basert på opplysninger som er samlet inn fra mange personer med kjennskap til den marine oppdrettsnæringen. Spesielt takk til tilsynsveterinærer i det ganske land som velvillig har delt sin kunnskap med oss. Kjell Flesjå, Hanne Skjelstad, Geir Bornø, Peter Andreas Heuch, Duncan Colquhoun og Hogne Bleie har bidratt fra Veterinærinstituttet. En spesiell takk til parasittolog Erik Sterud, som har bidratt mye på parasittdelen. Takk også til Trygve Poppe som kritisk har lest manuset for å finne faglige feil, og til mannen min, Ragnar Johansen, som har bidratt til å få språket mer forståelig for personer uten medisinsk utdanning.

# Kapittel 3

Skalldyr



## 3.1 Havbeiteloven – et virkemiddel for næringsutvikling?

Øivind Strand og Ann-Lisbeth Agnalt, Havforskningsinstituttet  
Thorolf Magnesen, Scalpro AS

Lov om havbeite ble vedtatt i desember 2000. Forskriftene til loven kom i 2003, og tidlig i 2004 forventes de første tillatelser til å drive havbeite med kamskjell og hummer. Formålet med loven er å bidra til at havbeite kan bli en balansert, bærekraftig og lønnsom kystnæring. Loven kan bli særdeles viktig i utviklingen av denne næringen, men bare om man får realisert den nødvendige forskningsinnsats og egnede virkemidler rettet mot næringsaktører. Vi ønsker her å se på lovens intensjoner i lys av status i næringsutviklingen for de artene som loven er mest aktuell for, kamskjell og hummer.

Arbeidet med loven startet som del av PUSH-programmet (1990–1997), hvor juridiske rettigheter i forbindelse med utsettinger av havbeiteorganismer ble sett på som avgjørende i utviklingen av havbeite. I Ot. prp. 63, med forslaget til loven som ble vedtatt i 2000, er det redegjort for den tildelingspolitikk som ligger til grunn for iverksettelsen av lov om havbeite:

*“Ettersom havbeite er ei næring i startfasen, er det ikkje klart kva forventningar ein kan ha til lønsemd og andre samfunnsmessige verknader i byrjinga. Havbeitelova gir anledning til fleire alternative driftsformer og ulike kombinasjoner av disse, enn dagens oppdrettslov. Det antas derfor at havbeitelova vil auke potensialet for lønsemd i havbruksnæringa. På grunn av manglande rettslege rammer har interessa til å investere i denne næringa vore liten, men med dette forslaget blir det lagt til rette for ei ny satsing.*

*Departementet vil leggje opp til ei forsiktig utvikling av næringa for å skaffe seg nødvendig erfaring i forhold til den vidare næringsutviklinga. Kunnskapen om miljømessige konsekvensar må byggjast opp. Næringsutøvarane må også kunne drive økonomisk forsvarleg. Økonomi og miljø vil derfor vere dei to mest sentrale parameter ved forvaltninga av næringa. Det må sørgjast for at utviklinga ikkje går raskare enn at ein i prosessen har den nødvendige oversikt over miljøkonsekvensane. Havbeitenæringa vil vekse forsiktig og utvikle seg i takt med aukande kunnskap om miljøtilhøva. Ei større oppskalering må også skje på bakgrunn av marknadsforholda og produksjonskapasiteten i næringa. I første omgang vil dette få betydning for tildeling av løyve.*

*Tildeling bør følgjeleg byggje på eit prinsipp om varsemd, slik at ein har ein forsvarleg oversikt over miljø- og samfunnsmessige konsekvensar før havbeiteverksemd får løyve til etablering og drift. Spesielt vil dette gjelde ved spørsmål*

*om etablering i verna område i medhald av naturvernlova, eller i dei tilfelle havbeite vil kome i konflikt med konkurrerende interesser, og då særleg allemannsretten.*

*Den praktiske framgangsmåten ved tildeling av løyve vil bli nærare bestemt i forskrift. Havbeite er i første omgang mest aktuelt for kamskjella og hummer, og i disse næringane er det skissert planar for korleis ein skal kome i gang med prosjekt med siktemål å skape ei levedyktig, kommersiell næring. Det kan i den samanheng bli aktuelt å vurdere ein forsøksmodell med kombinert offentleg og privat finansiering i eit avgrensa tidsrom. Dette kan anten skje gjennom ei særskild ordning tilknytta eit bestemt prosjekt, eller ved kanalisering av midlar innan dei eksisterande ordningar”. (Ot. prp. 63, Kap. 2.)*

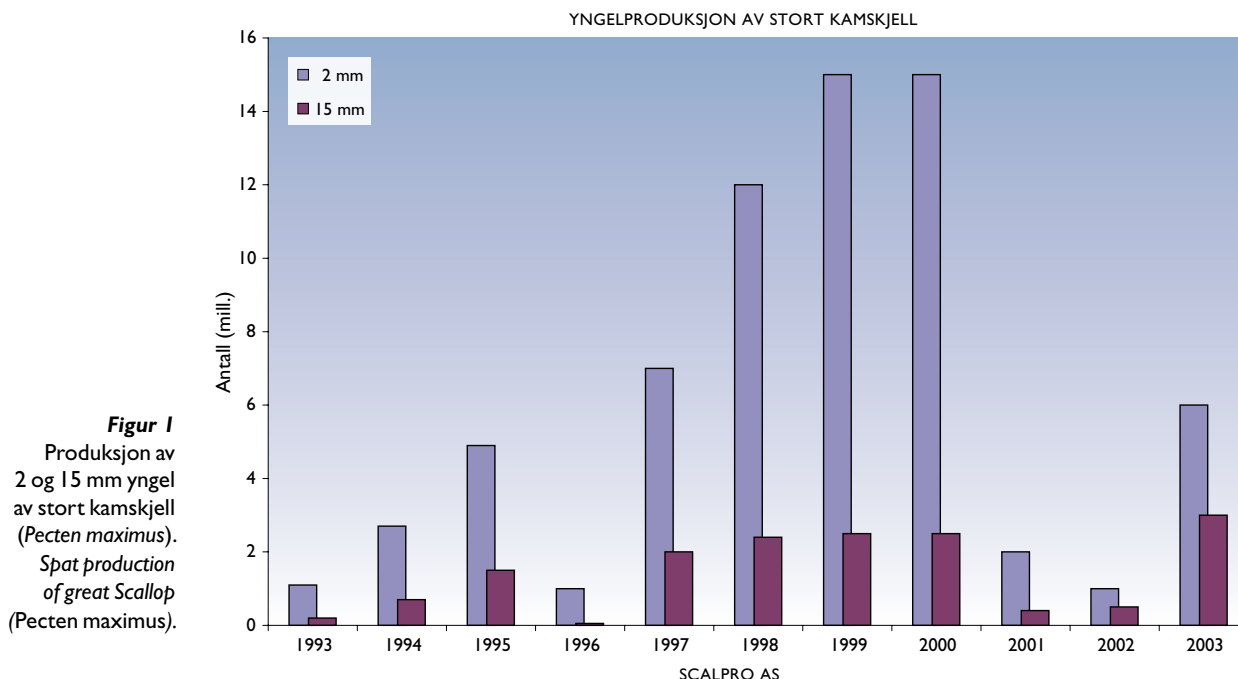
Nasjonalt og internasjonalt er havbeiteloven unik fordi den regulerer aktørenes rettigheter og forpliktelser i en veldig tidlig fase av næringsutviklingen. Det er snakk om utvikling av nye arter i et havbeite med mange ulike utfordringer. Dette krever en langsiktig satsing, hvor havbeiteloven riktignok er bare ett, men et særdeles viktig virkemiddel. Havforskningsinstituttet og andre fagmiljøer utførte i 2003 noe forskning på kamskjell som var finansiert av Norges forskningsråd, mens det ikke var noen aktivitet på hummer. I 2004 vil det for både kamskjell og hummer foreligge søknader om tillatelser etter havbeiteloven fra aktører som har høy kompetanse, lang erfaring fra samarbeid innen forskning- og utviklingsprosjekter, planer for en virksomhet som må forholde seg til miljø- og samfunnsmessige krav, og planer for sine bidrag til utvikling av en lønnsom næring.

Tilgang på risikokapital synes å være en klart begrensende faktor. Det mangler midler til å finansiere både utviklingsoppgaver og biomasseoppbygging. Status for både forskning og næringsutvikling er at vi mangler en oppfølging av intensjonene som er gitt for loven, i form av en satsing med virkemidler som kan realisere et havbeite i Norge.

### STATUS FOR KAMSKJELL

Forsknings- og utviklingsarbeidet på havbeite med kamskjell har de senere år vært fokusert på økt overlevelse av larver og yngel i klekkerianlegg, kostnadseffektiv dyrking i mellomkultur, metoder for dyrking av kamskjell i inngjerdete bunnområder og studier av krabbepredasjon på kamskjell. (Se f.eks. *Havbruksrapporten 2002*, *Havbruksrapporten 2003*, Ellen Sofie Grefsruds artikkel i *Havbruksrapporten 2004* s. 99: Skallets styrkeegenskaper – viktig i skjelldyrking?)





Det er videre startet undersøkelser av kamskjellens mulige rolle i smittespredning innen havbruksvirksomhet, også i forbindelse med samlokalisering av anlegg for skjell og fisk. Bruk av stedege kamskjell har vært sterkt fokusert på i forbindelse med lov om havbeite, særlig knyttet til forskriftene. Havforskningsinstituttet har over en årrekke samlet inn materiale fra bestander langs kysten for genetiske analyser, men analysearbeidet har så langt ikke vært prioritert.

Yngelproduksjon av stort kamskjell har vært drevet i mange år. Det har vært en utfordring å etablere en stabil storskala-produksjon uten sykdomsforebyggende bruk av antibiotika. Klekkeriet hadde en positiv og jevn økning i produksjonen fra 1993 til 2000. I årene 1996, 2001 og 2002 oppstod det imidlertid problemer med larveoverlevelsen i klekkeriet. Årsakene var knyttet til dyrking av alger, vannkvalitet, larvesystem og metoder. Basert på resultater fra samarbeidet mellom Scalpro AS og Havforskningsinstituttet, ble klekkeriet etter sesongen 2002 bygget om, rutiner endret og nye metoder tatt i bruk. Resultatene fra 2003-sesongen er meget oppløftende. Det er oppnådd 50 % overlevelse i larvefasen, mens målet tidligere har vært 30 %. Det er ikke benyttet noen form for antibakterielle midler i produksjonen.

I tillegg har klekkeriet fått gode resultater i nytt landanlegg der yngelen vokser frem til salgsstørrelse. I anlegget fjernes vanlige rovdyr som sjøstjerner og krabbelarver effektivt, og begroing reduseres betydelig. Det ble oppnådd over 80 % overlevelse i anlegget, mens overlevelsen i sjøen var 30–80 %. Samlet er tilgangen på yngel til dyrkere blitt betydelig forbedret. Resultatene viser også at det er mulig å produsere setteskjell (3–5 cm) allerede samme sesong som gytingen finner sted i klekkeriet. Denne yngelen (årsyngel) vil kunne settes i bunnkultur første høst, og dermed åpne for muligheter til en betydelig reduksjon i produksjonstid og en mer kostnadseffektiv produksjon.

Med bakgrunn i problemene med taskekrabbe som rovdyr på kamskjell i bunnkultur, er det utviklet gjerder på bunn som

hindrer krabbene tilgang på skjellene. Hos Helland Skjell AS er det dokumentert over 85 % overlevelse for kamskjell etter tre år på bunn, og det konkluderes med at gjerder kan gi en sikker og forutsigbar produksjon av kamskjell i bunnkultur. Flere bedrifter arbeider med videreutvikling av gjerder. Det arbeides også med metoder for utsett av mindre yngel. Produksjon av yngel tidlig i sesongen gir mulighet for utsett på bunn første høsten, og dermed reduseres mellomkulturen fra 12 til 3 måneder. Dette vil ytterligere forbedre potensialet for lønnsom drift i havbeite.

Gjennom et samarbeid (FRESA-nettverket: [www.fresa.no](http://www.fresa.no)) mellom bedrifter, Universitetet i Bergen og Havforskningsinstituttet er det utviklet modeller for økonomien i havbeite med kamskjell. Produksjonstiden for kamskjell er lang. Standardmodellen er basert på inntekter fra fem driftsår som følge av produksjonsstrategi og biologiske karakteristika for arten. Verdiene som er brukt i modellene er basert på forsøk og informasjon fra næringen. Modellene viser et betydelig økonomisk potensial når bedriften kommer i regulær produksjon, men biomasseoppbyggingen er kostnadskrevene.

Forskriftene til havbeiteoven legger vekt på betydningen av å vinne kunnskap og erfaring i oppstarten av ny næring. Bedriftene i FRESA-samarbeidet har sammen med fagmiljøene satt prioritert på følgende FoU-oppgaver innen havbeiteutviklingen:

- 1) biologiske forhold vedrørende drift av havbeite
  - oppskalering
  - interaksjoner mellom predator og kamskjell
  - predatorkontroll
  - tetthet av kamskjell og fødebegrensning/vekst/bæreevne
- 2) miljøeffekter av havbeite
- 3) interaksjoner med andre brukerinteresser
- 4) sykdomsforebyggende driftsformer
- 5) genetikk og stedegethet



**Figur 2**  
Rett etter klekking (stadium I) av europeisk hummer (*Homarus gammarus*).  
Immediately after hatching (stage I) of European lobster (*Homarus gammarus*).

### STATUS FOR HUMMER

Noen av forutsetningene for å kunne drive havbeite med hummer som en næring er som hos kamskjell knyttet til flere fagområder. I klekkerifasen har det vært fokusert på teknologi, valg av egnede stamdyr, klekking, startfØring, og ikke minst oppvekstfasen inntil de produserte hummerungene er klare til utsetting i sjØen. Perioden fra hummerungene settes i sjØen til de gjenfanges, kalles havbeitefasen. Suksess er avhengig av kvaliteten pÅ den yngelen som settes ut, men ogsÅ av faktorer som egnede utsettingslokaliteter, hvordan og nÅr hummerungene settes ut samt god kontroll av rovdyr.

Den kommende nØringen organiserte seg i 2001 i *Norske Hummeroppdretteres Interesseorganisasjon*, som har hovedkontor i Stavanger. Totalt omfattet den 13 medlemsbedrifter i 2003, geografisk fordelt fra Nordland til Vestfold. Det er i dag kun et klekkeri som er operativt, og det drives av *Norwegian Lobster Farm AS* ([www.Norwegian-lobster-farm.com](http://www.Norwegian-lobster-farm.com)). Et stØrre klekkeri er planlagt bygd pÅ Tjeldbergodden av *Norsk Hummer AS* (e-post: [atyssoe@c2i.net](mailto:atyssoe@c2i.net)), men flere nØringsaktØrer som sØker havbeitekonsesjon med hummer har ogsÅ planlagt Å etablere sitt eget klekkeri. Klekkerifasiliteter som kan produsere hummerunger til havbeite er en klar begrensning slik som situasjonen er per i dag. NÅr det gjelder kunnskapen om produksjon er mye basert pÅ grunnlaget som ble lagt pÅ 1970–1980-tallet, og utfordringene ligger ikke bare i Å øke overlevelse og vekst, men ogsÅ i Å utvikle tekniske lØsninger som er tids- og kostnadseffektive. Havforskningsinstituttet har i samarbeid med *Norwegian Lobster Farm AS* fokusert pÅ fØrutvikling, vannkvalitet og tekniske lØsningsforslag.

Havforskningsinstituttet satte i perioden 1990 til 1994 ut i overkant av 128 000 hummerunger som var ca. ett År gamle. Utsettingene ble gjort pÅ KvitsØy, en Øygruppe i Boknafjorden i SØrvest-Norge. Alle hummerungene var merket ved utsetting, slik at de kunne identifiseres ved gjenfangst. Hovedmålet var Å se pÅ om slike utsettinger kunne øke den

lokale rekrutteringen og derved bestanden pÅ lang sikt. Det var ogsÅ et mÅl Å vurdere ut ifra den informasjonen som ble tilgjengelig om havbeite kunne vØre drivverdig som nØring. Overvåkningen av de kommersielle fangster, dvs. av hummer over minstemålet pÅ 25 cm total lengde eller 88 mm ryggskjoldlengde, ble gjort fra 1990–2001. Allerede i 1998 ble det konkludert med at det var mulig Å styrke den lokale bestanden ved utsettinger av produserte hummerunger. Havbeitehummeren kom som et tillegg til den ville, og erstattet den altsÅ ikke, og det ble pÅvist at havbeitehummer vokste og reproduserte seg som den ville hummeren. Det ble videre pekt pÅ at det var muligheter til Å kunne bedre gjenfangstene, f.eks. ved Å øke kvaliteten pÅ utsettingshummeren.

ForsØk som Havforskningsinstituttet har utført viser at bunnsubstrat og skjul er viktig i oppvekstfasen i klekkeriet for Å oppnÅ høy overlevelse og vekst. Det er ogsÅ funnet indikasjoner pÅ at hummerunger kan trenes til Å gjenkjenne ulike bunnforhold. De vil da raskere kunne sØke skjul og unngÅ Å bli spist. Prinsippet er Å kunne produsere hummerunger som er fØdt til Å leve i naturen. De skal bÅde se ut og oppfØre seg som vill hummer. Yngelproduksjonen har til nÅ vært basert pÅ vill rognhummer. Det er utviklet metoder for oppdrett av stamhummer, men det er tidkrevende (flere År) og kvaliteten, dvs. evnen til Å produsere egg reduseres med tiden i fangenskap. Det er ogsÅ funnet store forskjeller i overlevelse og vekst hos avkom fra ulike stamdyr, sÅkalte familievariasjoner. Hvis dette er en arvelig komponent, vil utvelgelsen av stamdyr klart kunne øke kvaliteten pÅ utsettingsdyrene. For fremtidig oppdrett og havbeite av hummer trenger en etter hvert Å avle fram hummer med egenskaper som gjør dem til gode stamdyr som kan produsere utsettingsdyr av Ønsket kvalitet. Dette er igjen en utfordring for en drivkraftig havbeitenØring.

Hummer vandrer, og det er viktig Å velge lokaliteter med en naturlig avgrenset bunntopografi. Kartlegging av egnete utsettingslokaliteter og bunnhabitater er ogsÅ viktig for Å øke gjenfangster og pÅ noe sikt den Økonomiske gevinsten. Den minste hummeren funnet i naturen av arten europeisk hummer, som er den vi har i vÅre farvann, er ikke stort stØrre enn ca. 10 cm total lengde. Det betyr antakeligvis at smÅ hummer ligger godt skjult. Evnen til Å kunne finne egnede skjul sÅ raskt som mulig blir derfor vurdert som avgjØrende for gjenfangstsuksessen. Her mangler dessverre mye kunnskap om hvilke bunntyper den minste yngelen eller hummerungene egentlig foretrekker. Selve utsettingsmetodene kan ogsÅ ha stor betydning, og i noen tilfeller kan det vØre aktuelt Å forbedre bunnhabitatet. Med hensyn til sykdom og helsekrav finnes det relativt begrenset kunnskap om europeisk hummer. BÅde ulike sykdommer og parasitter er studert pÅ amerikansk hummer, men vi vet som sagt lite om vÅr egen hummer.

## 3.2

## Miljøvirkninger av blåskjell dyrking

Tore Strohmeier, Pia Kupka Hansen, Øivind Strand og Arne Ervik,  
Havforskningsinstituttet

En stor framtidig blåskjellnæring vil bety mange utfordringer for både forvaltningen og næringen selv. Blant annet knytter det seg usikkerhet til hvordan skjell dyrking påvirker miljøet, og til behovet for å regulere næringen. Havforskningsinstituttet har derfor startet arbeidet med å fremskaffe kunnskap som kan legge grunnlaget for å utvikle en standardprosedyre for overvåkning av blåskjellanlegg, på samme måte som for fiskeoppdrett. Skjell dyrking skiller seg mye fra fiskeoppdrett hva angår miljøeffekter. I det videre arbeidet skal vi forsøke å klarlegge de ulike økologiske konsekvensene av skjell dyrking, både slike som kan være negative og de som kan øke artsmangfoldet og produksjonen langs kysten.

Blåskjell blir ikke føret slik som oppdrettsfisken, men det organiske avfallet kan også her bunnfelle og påvirke bunnforholdene. Avfallsmengden er likevel langt mindre enn under matfiskanlegg, og undersøkelser av en rekke skjellanlegg viser at påvirkningen er relativt liten. Nedfall av skjell fra anleggene kan imidlertid være et problem, og en økning i fremtidig skjellproduksjon kan bety økt påvirkning i forhold til det vi ser i dag. Det er derfor nødvendig å legge grunnlaget for å utvikle et overvåkningsverktøy, og å dokumentere tilstanden i og under anleggene. En voksende blåskjellnæring vil ha nytte av dette i forhold til marked og offentlighet.

#### BESKRIVELSE AV ET BLÅSKJELLANLEGG

Vi har undersøkt flere blåskjellanlegg på Vestlandet. Et av anleggene ble særlig grundig undersøkt, og resultater fra dette anlegget er gjengitt her. Anleggets utforming og plassering var slik at en kunne forvente store miljøeffekter, og det ble derfor vurdert egnet til innledende undersøkelser. Den skjellbærende delen av anlegget er 200 meter lang, og dypet under anlegget var fra 8–12 meter. Biomassen i skjellanlegget var anslagsvis 60–100 tonn (Bilde 1). Det ble gjennomført strømmålinger og bunnundersøkelser. I tillegg ble det gjort videooptak med fjernstyrt undervannsfarkost (ROV), både i og under anlegget og på tre andre anlegg i nærheten.

#### STRØMHASTIGHET OG SEDIMENT

Bunnen under anlegget var hovedsakelig dekket av nedfallsskjell (Bilde 2), det samme var tilfelle for de tre andre anleggene som ble undersøkt med ROV. Sedimentet på referansestasjonen var derimot upåvirket og bestod av sand og silt. Strømmålingene viste at strømmen i og under anlegget var svak. Det var også så grunt at noen blåskjellbånd var i kontakt med bunnen. Under slike forhold, med kort

**Tabell 1**

Dekningsgrad av sediment, antall av grupper, arter og individer per m<sup>2</sup> registrert under skjellanlegget og på referansestasjon. Sediment cover, number of groups, species and individuals each m<sup>2</sup> obtained by SCUBA and remote controlled underwater vehicle.

	Skjellanlegg	Referanse
<b>Dekningsgrad (%)</b>		
Skjell	100	20
Alger	-	80
Primærsediment	-	-
<b>BØRSTEMAKK</b>		
Flerbørstemakk ( <i>Terebellidae</i> )	13	
Flerbørstemakk uidentifisert	7	4
<b>LEDDYR</b>		
Strandkrabbe	1	
Porselenkrabbe	1	
<b>TUNIKATER</b>		
Sjøpung	1	7
<b>BLØTDYR</b>		
Kuskjell		2
Snegler uidentifisert	1	
Skallus		9
Glatt kjeglesnegl	1	
Teppeskjell	1	
Kongesnegl	1	
Skjell uidentifisert	1	1
Pelikanfotsnegl		4
Sjøtann		1
Sadelskjell	2	
<b>PIGGHUDER</b>		
Vanlig korstroll	11	1
Grønn kråkebolle	19	
Rød kråkebolle	2	1
Slangestjerner	1	1
<b>Individer/m<sup>2</sup></b>	<b>62</b>	<b>30</b>
<b>Arter/m<sup>2</sup></b>	<b>10</b>	<b>7</b>



**Bilde 1**  
Filtrende blåskjell i kultur.  
Blue mussels in culture.

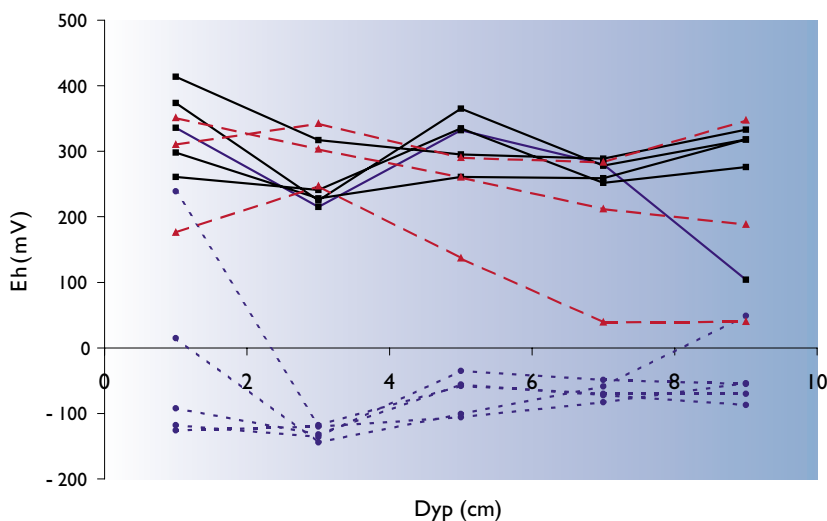


**Bilde 2**  
Nedfallsskjell under anlegget.  
Accumulation of dead mussels under the farm.

avstand fra skjell til bunn og lite strøm, vil det organiske materialet falle ut under eller like i nærheten av anlegget. Undersøkelser med dykkere og ROV bekreftet da også at det var en viss oppsamling av organisk materiale. Det organiske innholdet i sedimentet på referansestasjonen var om lag 1 %, mens det under skjellanlegget var 4–6 %. Sedimentet under skjellanlegget bar også preg av oksygenmangel med negative redoksverdier, mens tre gradientprøver inn mot land og referansestasjonen viser et positivt redokspotensial (Figur 1). Dette vil påvirke faunaen i bunnen.

### ENDRING I FAUNA

Faunaen under skjellanlegget og på referansestasjonen var forskjellig både med hensyn til artssammensetning, antall arter og antall individer (Tabell 1). De dominerende artene under skjellanlegget var grønn kråkebolle (*Strongylocentrotus droebachiensis*), vanlig korstroll (*Asterias rubens*) og mange arter flerbørstemark. Disse artene ble knapt registrert på referansestasjonen. Skallus og sjøpung var de to vanligste gruppene på referansestasjonen, men under anlegget ble det ikke registrert skallus. Det er altså flere grupper, arter og individer under skjellanlegget enn på referansestasjonen. Denne faunaendringen skyldes trolig større mengder nedfallsskjell og anrikning av organisk materiale. I det videre arbeid ønsker vi å klarlegge hva denne endringen i bunndyrsamfunnet betyr for produksjonen på bunnen. Det er også en viktig oppgave å avklare hvor utbredte endringene er, og om de er innenfor akseptable rammer.



**Figur 1**  
Redokspotensial (mv) i sedimentet under skjellanlegget (blå), gradientstasjon mot landside (rød) og referansestasjon (sort).  
Redox potential within the sediment and underneath the mussel farm (blue dotted line), gradient stations landwards (red) and reference station (black solid line).

### ENDRINGER I SUBSTRAT

De innledende undersøkelsene viser at nedfall fra blåskjellanlegg gir en bunnpåvirkning som er vesentlig forskjellig fra påvirkningen fra fiskeoppdrett. Under matfiskanlegg er det primært organisk materiale i form av fekalier og fôrrester som kan forårsake kjemiske endringer i sedimentet. Under blåskjellanlegg er endringene først og fremst fysiske. Dette skyldes større mengder av nedfallsskjell som endrer overflaten av sedimentet og gjør den mer ujevn, slik at den virker som en partikkelfelle. Et substrat av blåskjellrester kan også gi flere habitater og økt overflate. Dette kan være grunnen til at det ble registrert flere arter og individer under skjellanlegget. I tillegg kan nedfall av levende blåskjell trekke til seg rovdyr, som også kan bidra til at antallet av arter og individer øker. Det kan i denne forbindelse nevnes at det i prosjektet HASUT ([www.hasut.no](http://www.hasut.no)) er gjort undersøkelser som tyder på økt forekomst av taskekrabbe i tilknytning til blåskjellanlegg. Dersom det er en merkbar økning i tilførsel av organisk materiale fra skjellanlegget, slik som vi registrerte, kan det i tillegg resultere i kjemiske endringer i sedimentet, noe som også vil kunne påvirke faunasammensetningen.

En annen mulighet er at faunaendringene og den økte produksjonen på bunnen kanskje kan utnyttes i sammenheng med havbruk eller fiske. Oppe mellom blåskjellene er det også et mangfoldig dyreliv; vi vet fortsatt lite om hva dette betyr for produksjonen. Det er likevel trolig at blåskjellanleggene i kyst- og fjordstrøk fungerer som kunstige rev med svært mange arter (stort biologisk mangfold) og høy produksjon.

### VIDERE ARBEID

Vi vil videreføre undersøkelsene med å kartlegge utbredelsen av nedfallsskjell og analysere hvilken betydning dette har for miljøet. Det langsiktige målet er å utvikle en egnet overvåkningsmetode som kan beskrive miljøtilstanden under skjellanleggene, og å utarbeide forslag til grenseverdier for påvirkning. Dette kan gi grunnlag for å lage en standard for å overvåke bunnpåvirkningen fra skjellanlegg. Havforskningsinstituttet vil fremover også prioritere forskning rundt spørsmålet om hvilke økologiske konsekvenser blåskjell dyrking i stor skala vil kunne få i kystsonen vår. Dette må ses i forhold til så vel uønsket påvirkning som til de positive miljø- og ressursmessige sidene skjell dyrkingen kan ha.

## 3.3

## Prøvedyrking av østers i Sunnhordland

Øivind Strand og Stein Mortensen, Havforskningsinstituttet

Østersdyrking representerer en nisje i norsk oppdrettsnæring – det er en aktivitet drevet av en håndfull næringsaktører som opererer i utkanten av østersens naturlige utbredelsesområde. Vi har observert variasjoner både med hensyn til veksthastighet og kvalitet på norsk østers, og dette setter vi i forbindelse med ulikheter når det gjelder fødetilgang og temperatur. Fra gammelt av har østersdyrkingen vært knyttet til særlig velegnede lokaliteter. Også i dag ligger det store gevinster i å finne optimale lokaliteter. Det er forskjell på å bruke tre og seks år på å få frem et parti østers av egnet kvalitet.

Sunnhordland har historisk sett vært ett av kjerneområdene for østersdyrking i Norge. Området har flere poller med produksjon av yngel, som både er blitt levert lokalt og til dyrkere i andre deler av landet. For å samordne skjelldyrkingen og få til en felles utviklingsstrategi for denne regionen ble nettverket *Net-Skjell* etablert i slutten av 1990-årene av Samarbeidsrådet for Sunnhordland, i samarbeid med Sunnhordland Skjelldyrkarlag.

Vekstforholdene for østers på lokaliteter i Sunnhordland har vært fremholdt som blant de beste i landet, men mangel på dokumentasjon og kunnskap om kriterier for valg av lokaliteter førte til at en omfattende prøvedyrking hos østersdyrkere i regionen ble satt som høyeste prioritet i *Net-skjell*-samarbeidet. Den dokumentasjonen skjelldyrkerne er ute etter er også et nødvendig grunnlag for investeringer, og likeså for forvaltningens tilretteleggingsarbeid for å kunne utvikle østersdyrking i området. Havforskningsinstituttet har samarbeidet med *Net-skjell* om å gjennomføre denne prøvedyrkingen.

**UTPRØVING AV ULIKE LOKALITETSTYPER**

Somrene 2000 og 2001 ble det satt ut yngel på 20 lokaliteter i Sunnhordland. Lokalitetene ligger i ytre kyststrøk, i poller og i fjorder. Etter tre år, høsten 2003, var det på de fleste lokaliteter oppnådd gjennomsnittsvekter for østersen på over 60 g, som er vanlig konsumstørrelse. Overlevelsen på de fleste lokalitetene var på over 90 % per år. På flere av lokalitetene var det enkeltindivider på mellom 90 og 110 g, noe som illustrerer den store variasjonen i vekst. Dette understreker

**Figur 1**  
Flatøsters dyrket i kasser.  
*European flat oyster grown in cages.*



behovet for sortering i østersdyrking. Det kan også være et grunnlag for å velge ut hurtigvoksende individer slik det praktiseres blant franske østersdyrkere, og viser kanskje potensialet for fremtidig avl på flatøsters.

Allerede i 2002 ble det på den beste lokaliteten registrert gjennomsnittsvekt på over 60 g. Selv om somrene 2002 og 2003 var uvanlig varme, er dette meget gode resultater, og dokumenterer at konsumøsters i Sunnhordland kan dyrkes frem på under fire år, og ned i tre år i pollene. I lønnsomhetsmodeller for produksjon av østers utviklet i nettverket er det benyttet fire år. Forutsatt at det kan oppnås tilsvarende resultater i fullskala-anlegg, styrker dette muligheten for å kunne utvikle en norsk østersnæring.

Det er ikke store vekstforskjeller mellom de ulike lokalitetene. Imidlertid er det tydelig at høy sommer- og høsttemperatur er avgjørende for god vekst. Best vekstresultater har vi i poller som er varmere enn fjordvannet utenfor. På fjordlokaliteter med god strøm viser det seg imidlertid at det er tilnærmet like god vekst som i pollene.

Når det gjelder påslag av begroing og rovdyr, er det store forskjeller på lokalitetene. Det er derfor ikke sikkert at en lokalitet der østersen vokser godt, er den mest optimale

dyrkingslokaliteten. Begroing og rovdyr påvirker arbeidsinnsatsen, og det etableres derfor egne røkt rutiner for hver lokalitet. Sterk begroing av rur og kalkrørsorm vil også påvirke kvaliteten av skjellene som konsumvare.

#### HØY SPISEKVALITET

Ved avslutningen av prøvedyrkingen i desember 2003 ble det samlet inn østers også til en kvalitetsevaluering. Det ble brukt et graderingssystem som er under utvikling, og som baserer seg på både fyllingsgrad, skjellmatens utseende og smak. Resultatene viste at det aller meste av østersen hadde en overraskende høy kvalitet. Det ser imidlertid ut til at det er forskjeller i smak mellom ulike lokaliteter.

Undersøkelsen støtter oppunder konklusjonene basert på vekstmålingene. Det finnes mange lokaliteter i regionen hvor det kan dyrkes frem konsumøsters på tre år, og der det kan etableres en modell med at den største østersen høstes og den minste videredyrkes i ett år til. Forhåpentligvis kan resultatene også fra denne delen av undersøkelsen brukes som et utgangspunkt for å identifisere særlig interessante lokaliteter som kan bli kjernepunkter i en regional østersproduksjon. Vi vil forsøke å følge opp resultatene fra desember med prøver på noen av lokalitetene utover i vekstsesongen. Dette er bokstavelig talt matnyttig utviklingsarbeid!



Foto: Stein Mortensen

**Figur 2**  
Østersyngel.  
Oyster spat.

## 3.4

## Kvalitet på østers, kamskjell og blåskjell

Stein Mortensen, Havforskningsinstituttet  
Arne Duinker, NIFES

Det finnes noen gode – og en hel del dårlige – skjell på markedet i Norge. Problemet er å skille “klienten fra hveten”. Og for å klare det trenger vi et hensiktsmessig system for å gradere skjellene på kvalitet. I tillegg er det behov for næringsaktører som ønsker å fokusere på produktkvalitet og har disiplin nok til å sortere bort alt som ikke holder mål. En del skjellprodusenter er nå inne i en god utvikling med hensyn til kvalitetsarbeid, og vi håper flere vil følge etter...

#### KVALITETSGRADERING AV ØSTERS

Hjemmemarkedet for østers er beskjedent, og østers er det skjellet norske forbrukere har minst kunnskaper om. Norsk østers har tradisjonelt blitt solgt uten størrelses-, arts- og kvalitetsangivelse. Dette er ikke holdbart hvis norsk østers skal bli vurdert som et høyverdig produkt ute i dagens markeder. Østersprodusentene må lære av den krisen blåskjellnæringen nå er inne i, og passe på å ikke forsyne markedet med skjell av en kvalitet kundene *ikke* setter pris på. Det er vanskelig å kvitte seg med et dårlig rykte!

Ved Havforskningsinstituttet og NIFES har vi derfor startet arbeidet med å utvikle et kvalitetsgraderingssystem for østers (Figur 1). Utfordringen ligger i å gjøre en slik gradering holdbar, samtidig som den er mest mulig brukervennlig. Målet er at østersdyrkerne skal kunne evaluere sine egne produkter og avgjøre om de kan slippes ut på markedet eller ikke. Første del av dette arbeidet ble gjort for et par år siden, i forbindelse med to studentoppgaver som ble gjennomført som et samarbeid mellom Havforskningsinstituttet, Veterinærinstituttet, NORCONSERV, Fiskeridirektoratet og Landbrukshøgskolen. Andre del av arbeidet er gjort som en del av prøvedyrkingsprosjekt for østers i Sunnhordland, beskrevet i artikkelen foran.

Det er flere forhold som spiller inn når det gjelder å utforme et system for kvalitetsgradering. I dette arbeidet ser vi på noen av de parametrene som er relevante.

**SKALL.** Østersen skal ha “passe tykt” skall. Det ideelle er østers med en vekt på mellom 60 og 120 g, som ikke har brukt alt for mange år på å nå denne vekten. Gammel østers har mye skall i forhold til bløtdeler, og kundene er ikke interesserte i å kjøpe skall. Formen på skallet er også viktig. Jo dypere det er, jo mer bløtdeler er det plass til. Selv flatøsters bør derfor ikke være for flat. I tillegg er det en fordel at skallet er rimelig fritt for begroing.

**BLØTDELER.** Det første viktige punktet er naturligvis matinnhold. Høy fylningsgrad betyr mye mat for pengene – og i tillegg vanligvis god smak. Bløtdelene i østers med lav fylningsgrad er vannholdige og gjennomskinnelige. Vi bruker derfor utseendet på bløtdelene som kvalitetskriterium.

**LUKT.** Vi har vist at definerte luktkomponenter kan brukes som målekriterier, først og fremst for å skille mellom ferske og mindre ferske østers. Dette er mest relevant i forbindelse med kvalitetsvurdering av østers under lagring og transport.

**SMAK.** Smaksanalyse er vanskelig, men med trening er det mulig både å påvise og gradere viktige smakskomponenter i østersen. Flatøstersen har en ganske kraftig smak, og østers vurderes som “god” når det er balanse mellom søte og metalliske/mineralske smakskomponenter.



Figur 1

Lisbeth Harketstad fra Havforskningsinstituttet og Kristin Hopkins fra Veterinærinstituttet Bergen åpner, veier, måler og tar prøver av østers - før smakstesting.

Lisbeth Harketstad from the Institute of Marine Research and Kristin Hopkins from the Veterinary Institute Bergen open, weigh, measure and collect samples from oysters before the sensoric testing.



**Figur 2**

Et åpent kamskjell slik vi gjerne vil se det – med stor muskel og fylt gonade.

*An opened scallop as we prefer it – with a large adductor muscle and filled gonad.*

Når datasettet fra østersen fra prøvedyrkingsprosjektet er ferdig opparbeidet, vil vi presentere både kvalitetskriterier for østers og utkast til et måle- og graderingssystem for østersdyrkere. Dette kan brukes både til selvstudier, opplæring og kurs.

### KAMSKJELL – ET VARIABELT PRODUKT

Kamskjell er av flere grunner et helt annet produkt enn østers. Kamskjellene er fra naturens side ikke tilpasset tørrlegging. De taper vann og dør relativt raskt. Kamskjell er derfor definitivt ferskvarer, og bør omsettes få dager etter at de er tatt opp av vannet. Kvaliteten forringes svært raskt når skjellet dør. Frosset muskel og gonade tåler imidlertid godt en tids lagring.

Forholdet mellom vekst av skall og muskel er ikke konstant gjennom kamskjellets livsløp. De første årene investerer skjellet mye i skallvekst og har en relativt liten lukkemuskel. Når skallet er passert om lag 10 centimeter, begynner skallveksten å stagnere. I denne fasen øker imidlertid muskelstørrelsen relativt sett mye. I praksis betyr dette at et kamskjell på 12 centimeter gir mye større matutbytte enn ett på 10 – kort sagt en god grunn til å satse på høsting av store skjell og la de små ligge et år ekstra!

Gytingen er alltid avgjørende for kvalitet og matinnhold i skjell. Vi er interessert i en stor, søt muskel og en fyldig gonade hos kamskjellene (Figur 2). Det gjelder derfor å unngå gyteperioden, og bruke skjellene når de har gode energilagre og i alle fall en viss fylning av gonadene. Gyting og oppbygging av energilagre varierer en del langs kysten, så sesongen for kamskjell er noe forskjellig fra sted til sted. Dette er ikke så komplisert, og kamskjellbedriftene vet når skjellene har bra matinnhold. Utfordringen ligger antakelig i å få grossister og forbrukere til å stille krav til hva de ønsker å kjøpe. Først når det kommer krav herfra, vil skjellene bli kvalitetsgradert slik de bør. Også for kamskjell er det mulig å

definere en standard, basert på skallstørrelse, vekt og muskel- og gonadestørrelse.

### SPISEKVALITET AV BLÅSKJELL

Kvalitet av blåskjell har fått stor oppmerksomhet det siste året. Norske blåskjell har fått et dårlig rykte i markeder i Europa. Denne negative omtalen er dels fortjent, dels noe som er “hjulpel” frem av våre konkurrenter. Konsekvensen er at våre skjell er vanskelige å selge. Det er derfor viktigere enn noensinne å få frem til markedet gode skjell av jevn og definert kvalitet (Figur 3).

Resultater fra praktisk blåskjelldyrking og fra forskning i skjellanlegg viser klart at kontroll med tetthet (tynning) og størrelsessortering som oftest er en forutsetning for akseptabel kvalitet og vekstrate. Mange nye dyrkere mangler fremdeles både utstyr, erfaring og ofte motivasjon til å tynne, så det er åpenbart en utfordring å få dette budskapet ut til næringsutøverne.

Det er positivt at næringen nå ser ut til å ta kvalitet på alvor, og at dette er koblet til biomasseregistrering og sikring av forutsigbare leveranser. Næringen vet hva som er gjort galt, og den har et stort potensial dersom den drives riktig. Skal blåskjellnæringen komme videre må næringsaktører, investorer, myndigheter og forskning dra sammen og få en felles forståelse av hva som er veien å gå.

Fra forskningens side har vi fokusert på å få frem sammenhengen mellom god vekst og god fylningsgrad, raskere avgiftning og raskere oppbygning etter gyting. Oppsummert blir det kortere perioder med høstestopp dersom anleggene drives riktig og skjellene har god vekst. Videre har vi utviklet en metode for måling av farge på innmaten til blåskjell, og vi har vist at det er klare forskjeller mellom ulike lokaliteter. Dette har også næringen begynt å kartlegge gjennom arbeidet med biomasseregistrering og kvalitet.



**Figur 3**

Spennet i matinnhold og andre kvaliteter av blåskjell kan være stort. Utfordringene ligger i å holde en jevn kvalitet. Da må vi faktisk unngå både de verste og de beste skjellene.

*The span in meat yield and other quality aspects of mussels can be large. The challenge is to obtain a stable quality. This implies avoiding both the worst and the best mussels.*

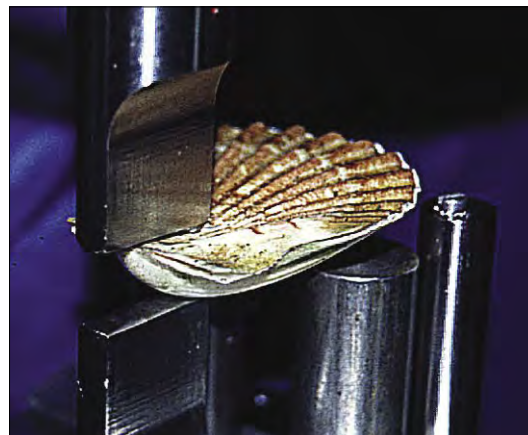


## 3.5 Skallets styrkeegenskaper – viktig i skjell dyrking?

Ellen Sofie Grefsrud, Havforskningsinstituttet

I arbeidet med å utvikle havbeite med kamskjell (*Pecten maximus*), har høy dødelighet som følge av predasjon fra taskekrabbe (*Cancer pagurus*) vært et hovedproblem. Kamskjellet forsvaret seg på ulike måter overfor predatorer. Sjøstjerner utløser en aktiv flukt hos kamskjellet, ved at skjellet enten svømmer eller hopper vekk når sjøstjernen kommer i kontakt med skjellens kapperand. Nærvær av krabbe fører til at kamskjellet lukker seg og blir liggende. Ved krabbeangrep vil derfor skallet være kamskjellens viktigste forsvar, og skallets egenskaper vil være avgjørende for om krabben lykkes i å knuse og spise kamskjellet.

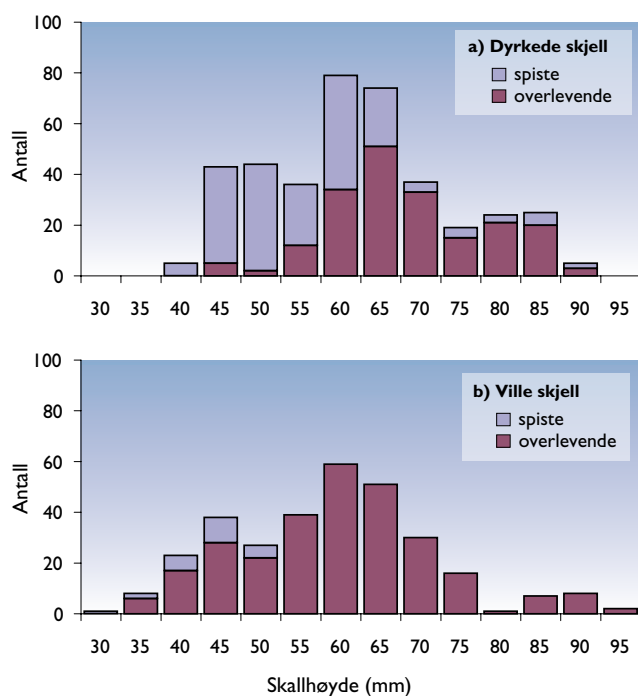
Predasjonsforsøk med ville (fra naturlige bestander) og dyrkede (fra hengekulturer) kamskjell i størrelsesgruppe 30–99 mm skallhøyde, viser at krabbe spiser flere og større dyrkede skjell sammenlignet med ville (Figur 1). Det var ingen ville skjell større enn 50 mm som ble spist, mens krabben spiste dyrkede skjell helt opp til 95 mm skallhøyde. Skallstyrken er en viktig faktor når krabben velger bytte, og vi fattet gan-



**Figur 2**

Måling av skallstyrke (Newton) med kunstig krabbeklo festet til et instrument av typen Instron 1193.

Measure of shell strength (Newton) using an Instron 1193 instrument equipped with an artificial crab claw.



**Figur 1**

Størrelsesfordeling av antall spiste og overlevende individer av a) dyrkede og b) ville kamskjell brukt i predasjonsforsøk med taskekrabbe i årene 1997–2001.

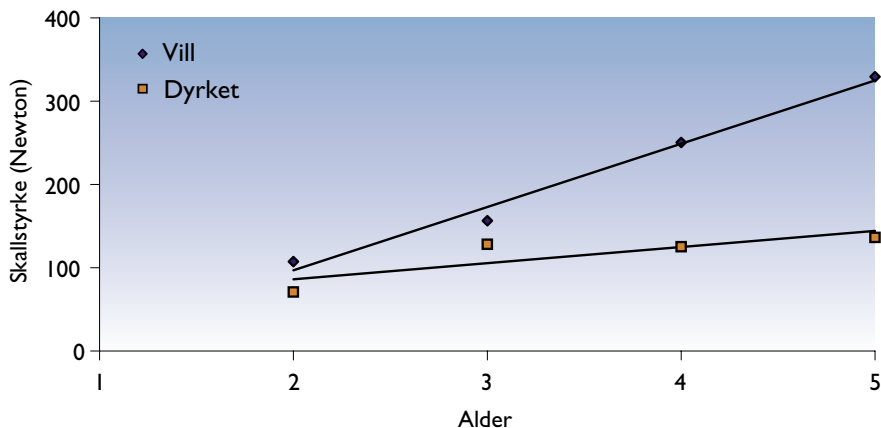
Shell height (mm) and number of eaten scallops of a) cultured and b) wild *Pecten maximus* used in predation experiments with the crab, *Cancer pagurus*, in the years 1997–2001

ske snart interesse for om forskjeller i skallet kunne forklare krabbens sterke preferanse for de dyrkede skjellene.

### SKALLSTYRKE

I perioden 1998–2001 ble skallstyrke målt på ville og dyrkede kamskjell fra ulike lokaliteter langs kysten, fra Rennesøy i Rogaland til Brønnøysund i Nordland. Målingene ble utført ved hjelp av Instron; et instrument som målte kraften (i Newton) som skulle til for å knuse skallet. For å etterligne krabbens knusemetode, laget vi en kunstig krabbeklo (Figur 2). Skjellet ble plassert slik at “kloen” knuste området på det flate skallet som ligger like nedenfor hengselen, det området krabbene vanligvis først angriper for å knuse skjellet. Resultatene viste stor variasjon i skallstyrke hos kamskjell med samme skallhøyde, både hos ville og dyrkede skjell. Skjellene fra noen dyrkingsanlegg var betydelig svakere enn de ville, mens andre var like sterke.

Fra to av områdene (Rennesøy og Uksnøy) ble det samlet inn skjell fra alle årsklassene fra 1996–1999 (to til fem år gamle), for å sammenligne utviklingen av skallstyrke over tid (Figur 3). Dyrkede skjell som var tre år og eldre viste liten eller ingen økning i skallstyrken, mens skallstyrken i de ville skjellene økte jevnt hvert år. Dette kan ikke forklares med endring i skallstørrelse eller tykkelse. Det ble også observert forskjeller i bruddflatene der skallet var knust. Vi ønsket derfor å studere mikrostrukturer i skallet hos ville og dyrkede kamskjell for å belyse forskjeller i oppbyggingen.

**Figur 3**

Utvikling av gjennomsnittlig skallstyrke med økende alder hos kamskjell fra Rennesøy (vill) og Uksnøy (dyrket). Development of mean shell strength with increasing age in scallops from Rennesøy (wild) and Uksnøy (cultured).

### SKALLSTRUKTUR

Hos skjell kjenner vi til seks forskjellige typer skallstrukturer: *enkel prismatisk*, *sammensatt prismatisk*, *perlemor*, *bladformet*, *krysslamellert* og *homogen* struktur. Alle er bygget opp av krystallinsk kalsiumkarbonat og fiberdannende proteiner. De fiberdannende proteinene er karakterisert av en høy grad av kryssbindinger, noe som har betydning for skallets mekaniske egenskaper og motstandsdyktighet mot oppsprekking. Stort kamskjell har skall med *bladformet* struktur, som er den svakestes av de seks variantene når det gjelder bruddstyrke ved sammentrykking.

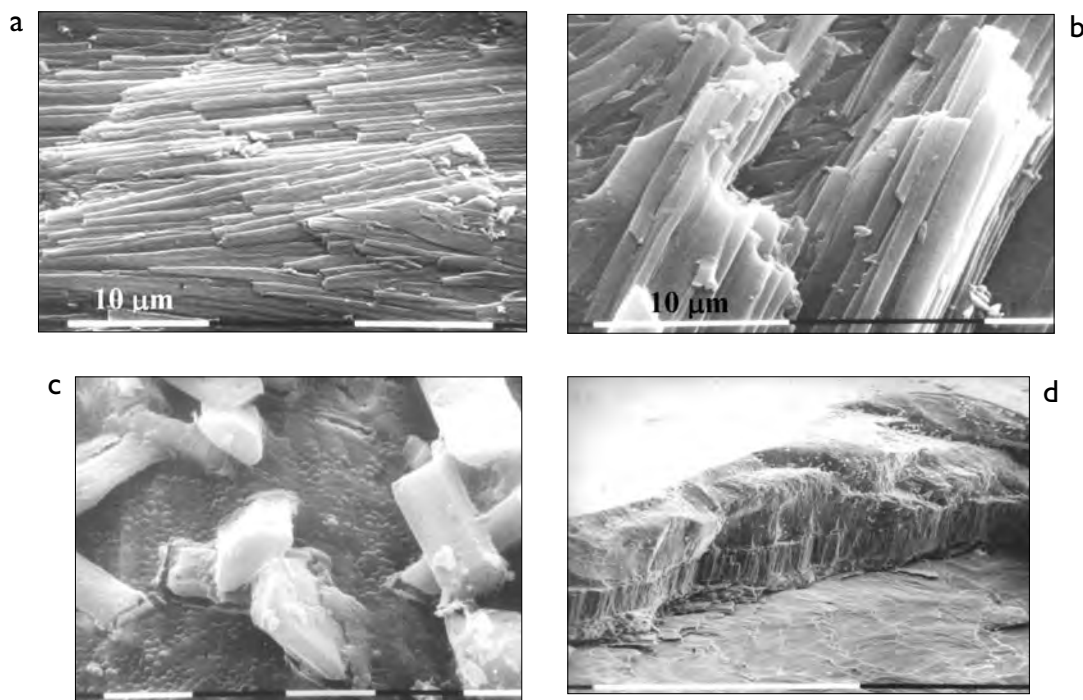
Det er påvist at sykdom, parasitter, forurensing og fôr påvirker sammensetning (aminosyrer, mineraler) og oppbygging (struktur) av skallet hos skjell. Dyrkede kamskjell lever under andre betingelser enn ville skjell med hensyn til blant

annet mangel på substrat, temperatur, fôr og predasjonsrisiko. Dette er faktorer som kan påvirke utviklingen av skallet.

### BILATERALT FORSKNINGSSAMARBEID

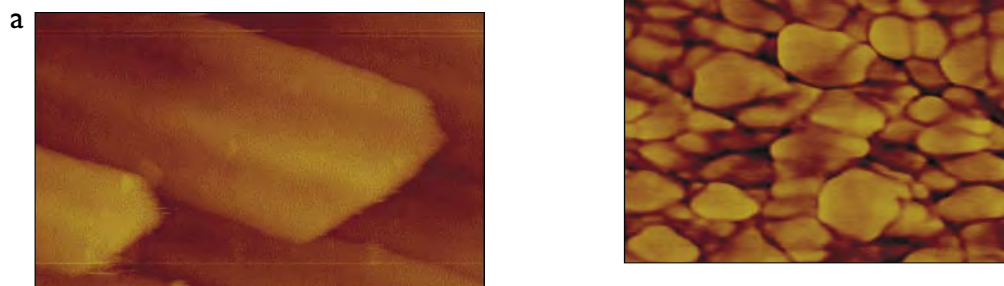
Med støtte fra Fransk-Norsk Stiftelse har vi i perioden 2001–2003 samarbeidet med en gruppe forskere ved universitetet i Paris som studerer mikrostruktur og biomineralisering i fossile skjell og koraller. Målet vårt var å undersøke mikrostrukturen i bruddflatene på skall fra sterke og svake individer av ville og dyrkede kamskjell. I arbeidet ble det benyttet to ulike metoder: Scanning Electron Microscopy (SEM) og Atomic Force Microscopy (AFM).

Bildene fra SEM gjorde det mulig å se på mikrostrukturen i skallene (Figur 4). Skall fra ville kamskjell viste en normal bladformet struktur, og det var ingen klare forskjeller mellom

**Figur 4**

Mikrostrukturen i skallet hos sterke og svake individer av ville og dyrkede kamskjell, undersøkt ved hjelp av Scanning Electron Microscopy (SEM). Ville: a) struktur fra sterkt individ, b) struktur fra svakt individ. Dyrkede: c) struktur fra sterkt individ, bakterier kan ses i bakgrunnen, d) struktur fra svakt individ, det øverste laget mangler den typiske bladformete strukturen som kan observeres i lagene under.

Microstructure in samples of strong and weak shells in wild and cultured scallops using Scanning Electron Microscopy (SEM). Wild: a) structure in a strong shell, b) structure in a weak shell. Cultured: c) structure in a strong shell with bacteria, d) structure in a weak shell, the upper layer of the structure lacks the typical foliated structure seen in the lower layers.



**Figur 5**

Mikrostrukturen i skallet hos ville og dyrkede kamskjell, undersøkt ved hjelp av Atomic Force Microscopy (AFM).

a) stav hos vilt kamskjell,

b) overflaten av stav hos vilt kamskjell og

c) overflaten av stav hos dyrket kamskjell.

*Microstructure in the shell of wild and cultured scallops using Atomic Force Microscopy (AFM).*

*a) a lath of a wild scallop,*

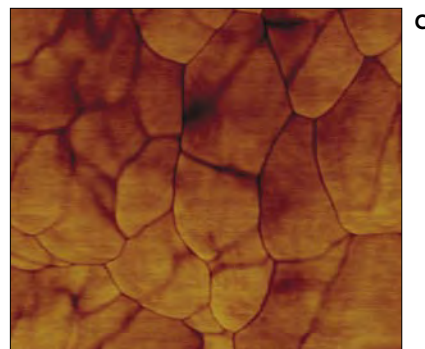
*b) the surface of a lath of a wild scallop,*

*c) the surface of a lath of a cultured scallop.*

sterke og svake individer (Figur 4a og b). Skall fra dyrkede kamskjell ga derimot mer varierende resultater. Skjell som hadde vært kort tid i hengekultur hadde stort sett en normal bladformet struktur. Derimot fant vi avvik i strukturen i skall fra skjell som hadde vært flere år i hengekultur. Hos flere individer fant vi ulik grad av deformasjoner, både hos sterke og svake individer (Figur 4c og d). Hos ett individ hadde det ytterste laget ingen struktur i det hele tatt, mens lagene under viste en normal bladformet struktur (Figur 4 d). I noen av skallene fant vi bakterier både på overflaten og i selve strukturen. Videre undersøkelser for å identifisere bakteriene er planlagt.

Med AFM var det mulig å undersøke oppbyggingen og overflaten på stavene i strukturen. Avlesning av overflater med AFM krever svært jevne overflater, med dybdeforskjeller på mindre enn 3  $\mu\text{m}$ . Siden innsiden av skallet hos stort kamskjell er svært jevnt, er det mulig å bruke AFM direkte, uten omfattende preparering av prøvene. Hos ville skjell kunne vi se at hver stav bestod av tre krystaller, og overflaten av krystallene bestod av granuler omgitt av et tynt lag med organisk materiale (Figur 5 a og b).

Å undersøke de dyrkede kamskjellene viste seg å være vanskeligere. Overflaten var mykere og ikke så jevn som hos de ville individene. Dette gjorde avlesningen svært tidkrevende, da det var vanskelig å finne områder med god nok overflate. Ved å etse prøvene med enzymet trypsin ble de lettere å avlese, sannsynligvis fordi trypsinet fjernet en del av det organiske materialet på overflaten. Bildene vi (omsider) fikk av krystallene viste at granulene var større og mer uregelmessige enn hos de ville kamskjellene (Figur 5 c). En forbedring av metoden ville være å finne et mer spesifikt enzym til preparering av prøvene.



## VIDERE FORSKNING OG UTVIKLING

Det er vanskelig å vite i hvilken grad forskjellene vi ser har betydning for styrkeegenskapene i skallet, men hvis styrken i skallet avhenger av hvor godt lagene i skallet sitter sammen, kan uregelmessig struktur føre til at lagene lettere glir fra hverandre. Dette vil igjen kunne gjøre skallet svakere og mer sårbart ved angrep fra taskekrabbe. For å kunne si noe mer sikkert om det er sammenheng mellom forskjeller i skallstruktur hos ville og dyrkede kamskjell og dyrkingsmiljøet, trenger vi å videreføre dette arbeidet med et større antall skjell.

Vi ønsker å øke vår kunnskap om skallets oppbygging og sammenhengen mellom struktur og skallets styrkeegenskaper. Dette er et viktig grunnlag for senere å kunne studere mekanismer for skalldannelse og hvordan disse påvirkes av miljøet. I arbeidet med å utvikle havbeite med kamskjell er problemet med taskekrabbe som rovdyr en utfordring, og denne kunnskapen vil være viktig for å sikre utsetting av kamskjell med best mulig overlevelsessevne.

Det er imidlertid ikke bare kamskjellnæringen som vil kunne dra nytte av økt kunnskap om hvordan dyrkingsmiljøet påvirker utvikling av skallet. Ved dyrking av blåskjell får hurtigvoksende skjell tynne skall, noe som fører til at skjellene er mer sårbare ved håndtering og transport. Et sterkt skall er derfor et klart kvalitetskriterium. Også hos flatøsters er skallets form og utseende viktig i kvalitetsvurderingen. Økt kunnskap om dannelse av skall hos skjell, mekaniske egenskaper og oppbygging sett i sammenheng med dyrkingsmetoder, vil derfor kunne være et viktig element i det videre forsknings- og utviklingsarbeidet innen skjellnæringen.

## 3.6

## Oppdrett av hummer – en ny næring i utvikling

Asbjørn Drengstig, Norwegian Lobster Farm AS  
Tore S. Kristiansen, Havforskningsinstituttet

I 2000 ble det etablert et brukerstyrt forskningsprosjekt der målet var å utvikle og evaluere løsninger for intensiv landbasert produksjon av porsjonshummer (21 cm/300 g) i resirkulert sjøvann. Prosjektet gjennomføres ved Kvitøy Hummerklekkeri, og er støttet av SND-Rogaland, Rogaland fylkeskommune og FUNN-ordningen i NFR. Prosjektet ledes av Norwegian Lobster Farm AS (NLF), og er et samarbeid med Havforskningsinstituttet, Høgskolen i Stavanger og Rogalandforskning. Resultatene er lovende, og dokumenterer at det lar seg gjøre å produsere porsjonshummer av god kvalitet i løpet av 24–30 måneder. Basert på erfaringene bygger nå NLF en prototyp på et patentert automatisert hummeroppdrettsanlegg, med sikte på fullskalaproduksjon. Flere andre selskaper planlegger også å starte med oppdrett og havbeite med hummer.

Hummer er en relativt enkel art å oppdrette. I liten skala behersker vi både yngel- og porsjonshummerproduksjon godt. Hummeren er imidlertid kannibalistisk og må holdes i enkeltbur samt at den har en optimal vekst ved ca. 20 °C. Arten stiller derfor store krav til teknologiske løsninger, og krever i tillegg oppvarmet vann.

#### NY TEKNOLOGI

NLF har tatt ut patent på et nytt modulbasert oppdrettskonsept for kannibalistiske krepsdyr som innfrir hummerens krav til oppdrettsmiljø, er arealintensivt og har et fornuftig investeringsbehov. En prototyp av dette anlegget er nå under utprøving, og selskapet planlegger å bygge ut et begrenset antall moduler i fullskala for først å få de nødvendige erfaringer med denne type storskaladrift. Ved å starte med en relativt liten fullskalaproduksjon, som ikke påvirker hummerprisen, vil man kunne utnytte den høye prisen på hummer og dermed tåle høyere produksjonskostnader i utviklingsfasen.

#### HUMMERFØR EN FLASKEHALS

Den kanskje mest sentrale flaskehalsen for hummeroppdrett i dag, er å få utviklet et hummerfôr som gir god vekst, normal pigmentering, opprettholder en god fysisk konsistens og sikrer god produktkvalitet. Fôret som skal anvendes i intensive produksjonssystemer må også kunne føres ut i nøyaktige mengder, slik at føring og rengjøring kan automatiseres. Resultater fra fôringsforsøk med ulike typer formulert fôr til hummer (de fleste til amerikansk hummer) har bare gitt 50–80 % av vekstraten til en variert diett med naturlig fôr

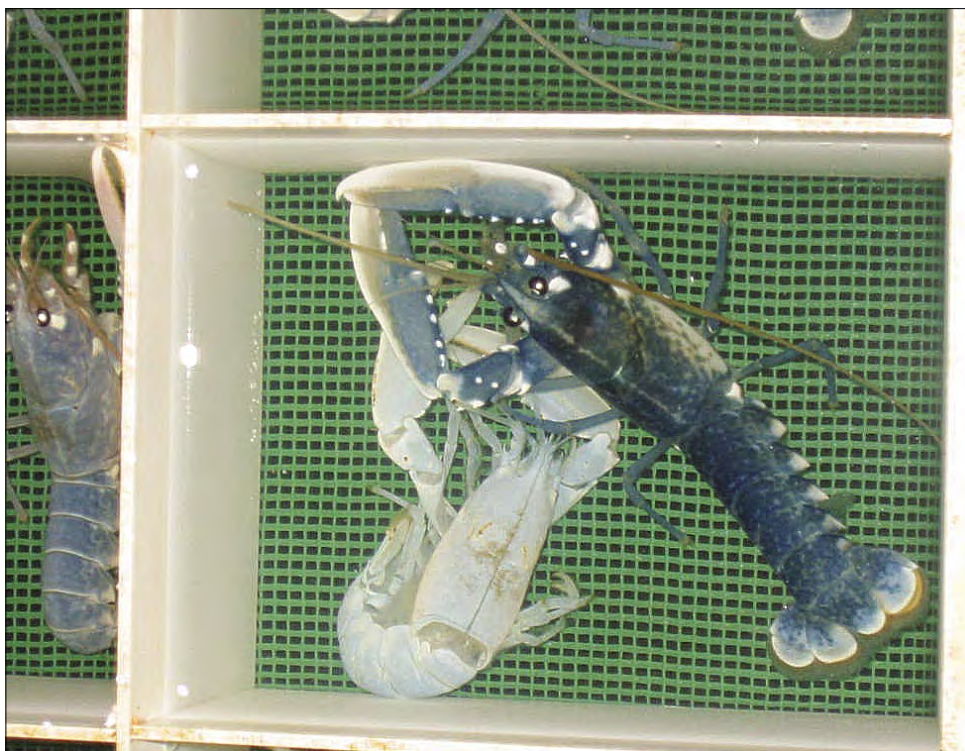


Foto: Ashlem Drengstig

**Figur 1**

Hummer som har endret farge fra lys til mørk blå når den skifter skall. Hummeren var tidligere gitt torskefôr uten pigmenter. Allerede ved første skallsifte etter at den har vært føret med et nytt hummerfôr tilsatt astaxanthin, endres fargen betydelig.  
*Moulting lobster changing colour from light to dark blue after it has been fed a new lobster feed added astaxanthin. The lobster had earlier been given a feed without astaxanthin.*

eller levende *Artemia*. I forsøk på Kvitsøy hadde hummeren som ble gitt tørrfôr beregnet på marin fisk 80–90 % av vekten til hummer fôret med krepsdyr. I tillegg ble hummeren etter hvert lyseblå, og viste tegn på svekket vitalitet etter lang tids fôring med tørrfôr.

For å forsøke å løse dette problemet fikk vi laget tre typer tørrfôr (produsert av SSF/Fiskeriforskning), med økende mengder av pigmentet astaxanthin. Resultatene viste at hummerne endret farge fra lys til mørk blå etter ett til to skallskift, og 50 mg astaxanthin per kg fôr så ut til å være tilstrekkelig (Figur 1). Fôret ble testet ut under intensive betingelser og gav gode resultater med hensyn til både vekst, vitalitet, fôrfaktor og produktkvalitet. Fôret hadde imidlertid vesentlige mangler når det gjaldt fysisk konsistens, men dette kan enkelt påvirkes gjennom ekstruderingsprosessen. I det videre arbeidet er Dana Feed knyttet til prosjektet, og fokus rettes mot å utvikle et godt formulert fôr til hummer. For å kunne lage et optimalt hummerfôr trenger vi mer grunnleggende kunnskap om hummerens ernæringsbehov.

### NÆRINGSSTRUKTUR

I 2000 ble det vedtatt en havbeitelov som skal sikre rettighetene til gjenfangst av krepsdyr, bløtdyr og pigghuder innen geografisk avgrensede konsesjonsområder (Ot. prp. 63). De endelige forskriftene ble godkjent i august 2003, og loven trådte i kraft 1. januar 2004. Med den nye havbeiteloven har interessen for hummeroppdrett økt kraftig, og utsettinger av hummeryngel er blitt mer aktuelt på kommersiell basis. I løpet av de siste to årene er blant annet et titalls havbeiteselskaper blitt etablert, og venter på å søke konsesjon for å starte utsettinger. De mest sentrale aktørene innenfor arbeidet med å utvikle metoder for havbeite er Norsk Hummer AS, som ønsker å bygge et storskala settehummeranlegg på Tjeldbergodden, og Aegir Havbruk AS, som arbeider med utsettingsmetodikk.

I 2001 etablerte næringen Norske Hummeroppdretteres Interesseorganisasjon (NHI), med hovedkontor i Stavanger. NHI hadde totalt 13 medlemsbedrifter i 2003, men flere bedrifter er nå under etablering med formål å starte hummeroppdrett. Medlemsbedriftene er geografisk spredt fra

Nordland til Vestfold, men med en konsentrasjon av bedrifter i Rogaland og Hordaland.

### UTFORDRINGER FOR FREMTIDEN

Det er nå svært viktig å fokusere på de næringsmessige utfordringene som hummeroppdrett står ovenfor. Disse utfordringene kan deles inn i seks ulike deler: produksjonsvilkår, markedsføring og distribusjon, teknologi, fôr, utsettingsmetodikk for havbeite og genetikk/avl. Konsulentselskapet KPMG Fiskeri og Havbruk gir i sin rapport "Planmessig igangsetting av nye marine arter i oppdrett" et forenklet estimat over kapital som er nødvendig for å bygge opp en viss produksjonskapasitet på sisteleddet (konsumstørrelse), og estimerer størrelsesorden på kapitalbehovet for ti nye arter i oppdrett.

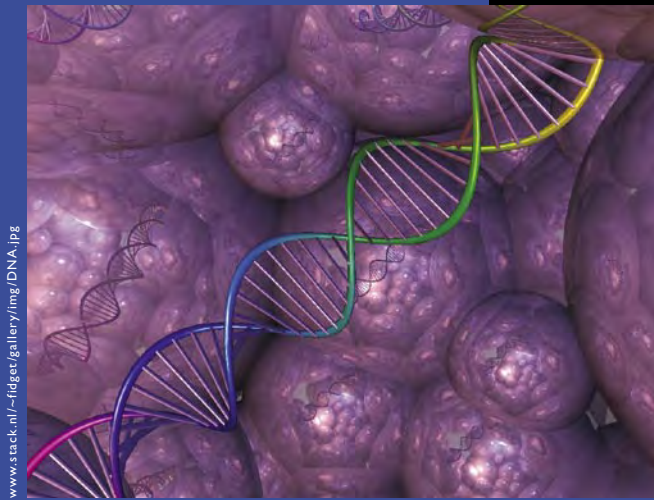
For å etablere et årlig produksjonsvolum av hummer på 1 000 tonn (verdi ca. 200 mill. kroner), anslås et kapitalbehov på ca. 450 millioner kroner, hvorav 200 millioner i investeringer, 125 millioner i biomasse og 125 millioner kroner i risikokostnader. KPMG presiserer i rapporten at det er behov for en sterkere grad av offentlig finansiering i utviklingsarbeidet, spesielt i pilot- og oppskaleringfasen. Den viktigste grunnen til dette er at avkastningskravet ikke bør være for høyt i disse fasene, fordi det kan bidra til at selskapenes gjeldsgrad øker i perioder hvor det er vanskelig å generere inntekter.

### TRENGER EGET FoU-PROGRAM FOR HUMMER

Som for alle nye oppdrettsarter trenger vi et minimum av biologisk og teknologisk kunnskap før vi har mulighet til å foreta en vellykket kommersialisering. Som i lakseoppdrettets barndom har en på grunn av den høye prisen på hummer en mulighet for å lykkes, selv om produksjonsmetodene ennå ikke er fullt utviklet. Utviklingen av laksenæringen ble likevel en smertefull prosess for de første gründerbedriftene. Det samme vil skje i hummernæringen om vi ikke får i gang et tilstrekkelig offentlig engasjement for å etablere en nødvendig kunnskapsbasis og gode nok rammevilkår. Det bør nå etableres et eget langsiktig og godt koordinert FoU-program for hummer, med tette relasjoner mellom forskning og næring for riktig prioritering av forskningsbehov og effektiv implementering av resultater. Lykkes vi med dette, kan vi være på vei mot en stor kystnæring.

# Kapittel 4

Tema: Bioteknologi og genetikk



[www.stack.nl/~fidge/gallery/img/DNA.jpg](http://www.stack.nl/~fidge/gallery/img/DNA.jpg)

## 4.1

## Bioteknologi og det marine potensialet

Trond Ø. Jørgensen, Norges fiskerihøgskole, Universitetet i Tromsø

Med full sekvensering av genomet (DNA-molekylene) hos mennesket, startet en ny æra innen biologisk forskning, den såkalte “funksjonelle genomforskningen”. Dette innebærer at en har fått en biologisk forståelse av samtlige gener hos mennesket, hvilken funksjon genproduktene (les proteinene) har, og hvordan genuttrykkene er regulert. I kjølvannet av den humane genomforskningen er et stort antall bakteriegenomer, i tillegg til en rekke plante- og dyrearter inklusive fisk, blitt karakterisert. Utviklingen innen DNA-teknologien har vært eksplosiv og gjort slike studier mulig innenfor rimelig tid og akseptable økonomiske rammer. Eksempelvis kan tusenvis av genuttrykk studeres på en liten glassplate, og relateres til biologiske aktiviteter få trodde var mulig bare for fem år siden. Store deler av den marinbiologiske og bioteknologiske forskningen har tatt på alvor den utfordringen som DNA-teknologien representerer, noe artikkelen gir ulike eksempler på.

Det er nå ca. 50 år siden forskerne Watson og Crick og medarbeidere beskrev strukturen og funksjonen til DNA-molekylet. Siden den gang har kunnskapsmengden om dette molekylet økt enormt. Kort tid etter at strukturen ble bestemt, ble også den “genetiske koden” løst; dvs. hvordan rekkefølgen av byggesteinene i DNA-molekylet (nukleotidene) bestemmer oppbyggingen av proteinmolekyler, og i neste trinn hvordan DNA-molekylet eller arvestoffet koder for bestemte egenskaper. Denne kunnskapen er i ettertid utvidet til også å omfatte hele proteinsyntese-maskineriet i en celle (fra bakterier til pattedyr). I den senere tid har en også klarlagt hvordan en celle tar imot signaler utenfra og overfører dem til genene via molekyler som regulerer en bestemt genaktivitet, og som deretter initierer en proteinproduksjon.

**STOR AKTIVITET**

Den samlede kunnskapen om DNA-molekylet og dets funksjoner, og om hvordan gener kan overføres på tvers av arter, har ledet frem til det en kaller “rekombinant DNA-teknologi”. Slik teknologi anvendes i bred skala både i forskningslaboratorier og i industri, der en f.eks. kan produsere proteiner fra mennesket i bakterier, gjærceller osv. Produksjon av menneskets insulinmolekyl i tarmbakterien *E. coli* er ett av mange eksempler på dette. Det siste trinnet på denne stigen, så langt, er en storstilt aktivitet knyttet til genkartlegging av en rekke terrestriske og marine organismer. Som kjent ble nylig samtlige gener (genomet; 5 milliarder nukleotider) hos mennesket kartlagt. I kjølvannet av denne aktiviteten (teknologien) har en nå kartlagt ca. 130 bakteriegenomer og ca. 20 genomer fra plante- og dyrearter, og flere kommer etter hvert.

Det som driver denne kartleggingsprosessen er problemstillinger knyttet til hvilke biologiske mekanismer som er relatert til genetikken hos et individ. Dette omfatter blant annet mekanismer som regulerer utviklingen av et individ (ontogenese), dets muligheter for god helse og overlevelse – med andre ord, alt som finnes av gode og dårlige egenskaper og som overleveres til neste generasjon via egg og spermier.

Når det marine miljø for tiden tiltrekker seg oppmerksomhet fra moderne bioteknologisk forskning og industri, henger dette sammen med at organismer i dette miljøet er antatt å ha et betydelig potensial både som forskningsmodeller og i industriell utnyttelse. Diversiteten eller mangfoldet av marine organismer er stort. Bare fisk er representert med over 20 000 arter og har et stort spekter av tilpasninger til et liv i det marine miljø, og som vi kan se med det blotte øyet. De genetiske egenskapene som ligger til grunn for disse tilpasningene er derimot lite klarlagt, og det er først nå vi har kunnskap og teknologi som gjør en omfattende kartlegging av disse genetiske ressursene mulig. La oss nå se hvorfor bioteknologi er et særdeles viktig forskningsfelt, både for å kunne utvikle norsk havbruk og for en fremtidig marin bioindustri der DNA-teknologi anvendes.

**HVA ER BIOTEKNOLOGI?**

Bioteknologi generelt omfatter en rekke biologiske og biokjemiske disipliner uten noen skarp avgrensning, men begrepet *bioteknologi*, tillegges ofte en betydning der en “*anvender teknologi for å utnytte organismer, celler, deler av celler og/eller molekyler for produksjon av produkter eller tjenesteyting*”. Denne teknologien er nå med full tyngde på vei inn i den marine sektor, og begrepet “marin bioteknologi” har fått et eget ståsted med utgangspunkt i bioteknologi anvendt på marint biologisk materiale. Et sentralt område for denne industrien er utnyttelse av biprodukter fra fiskeri og fiskeoppdrett. Riktignok anvender denne industrien teknologier som spenner fra tradisjonell prosesseteknologi til bioteknologi, men utviklingen fremover vil åpenbart gå i retning av et produktspekter basert på bioteknologiske produksjonsformer.

**HVA ER POTENSIALET?****Avlsarbeid**

Et viktig nedslagsfelt for DNA-teknologisk forskning og industri er videreutvikling av arter som inngår i den eksisterende og fremtidige oppdrettsnæringen. Avl betyr i praksis at en prøver å tilpasse en oppdrettsart til å produsere muskelmasse med en bestemt kvalitet og effektivitet, i tillegg til at dyret skal ha gode helseegenskaper osv. Dette er såkalte

avlsmål. For at et avlsprogram, for eksempel på torsk, skal ha noen verdi, må de samme egenskapene som en ønsker å avle frem eller forbedre være uttrykt som en rekke alternative gener (alleler) i en populasjon. Klassisk avl eller utvelgelse av alternative genetiske egenskaper etter ønskede avls mål (gitt som bedre veksthastighet, bedre førtutnyttelse, bedre muskelkvalitet, bedre motstand mot infeksjonssykdommer osv.), fører over generasjoner til at arten vil få en rekke egenskaper som i sum er forskjellig fra utgangspunktet, villtorsken eller villtypen. Her er det imidlertid viktig å være klar over at den avlete eller “nye” oppdrettstorsken ikke har fått noen genetiske egenskaper som ikke allerede eksisterte hos villtorsken. De ønskede egenskapene (allelene) er kun blitt anriket hos oppdrettsfisken.

Et alternativ til klassisk seleksjon eller kvantitativ avl er at de spesifikke genene som koder for de ønskede egenskapene overføres direkte til en ny generasjon ved at genene (allelene) påvises, karakteriseres og så føres videre via fiskeegg, ved hjelp av rekombinant genteknologi. Derved vil den “nye” genetiske egenskapen inkorporeres i det arvematerialet som allerede var i fiskeegget og komme til uttrykk som en ny egenskap hos fisken. Resultatet er en genmodifisert organisme (GMO). Det sier seg selv at den siste metoden er langt mer presis (en vet hva som overføres) og raskere enn kvantitativ avl.

En tredje avlsstrategi er å utnytte en kombinasjon av klassisk avl og molekylærbiologiske teknikker. Dette krever at en på forhånd lager et genetisk kart over interessante genetiske egenskaper og analyserer for de samme egenskapene i et klassisk avlsmateriale (markørbasert avl). Dette gjør utvelgelsen av stamfisk enklere og mer presis, og uten at fisken på noen måte er genmodifisert.

Jeg skal her ikke ta stilling til de etiske og markedsmessige sidene knyttet til de tre strategiene, men det er den sistnevnte strategien som per i dag er den mest aktuelle innen norsk fiskeoppdrett. Dette krever imidlertid at den arten en ønsker å sette i oppdrett (domestisere) er genetisk beskrevet (kartlagt) mht. de genetiske egenskapene som en ønsker å bruke som mål for denne avlen. Det krever et stort og omfattende forskningsarbeid der klassiske (kvantitative) avlsforskere samarbeider med molekylærbiologer. Slike oppgaver bør gjerne løses gjennom internasjonalt samarbeid.

### Genetisk kartlegging

Til nå er kun to fiskearter i sin helhet genetisk kartlagt, det er sebrafisk og fugu. Den siste er en populær japansk oppdrettsart. En annen kandidat er atlantisk laks, der en rekke land har interesse av å produsere fisk med optimale produksjons-egenskaper, og hvor det nå foregår et kappløp mht. å beskrive gener og genmarkører som kan anvendes for avlsformål. Selv om en er langt fra en total genetisk kartlegging av laksen (som har like stort genom som mennesket), er det fra norsk side etablert et forskningsprogram (Salmon Genome Project) som tar sikte på å beskrive (sekvensere) iallfall deler av genomet hos denne arten.

Et annet eksempel er torsk, som genetisk sett er langt mindre studert enn laks, men som forventes å bli vår neste store

oppdrettsart. Her er det inntil videre færre “interessenter” på banen, men utviklingen går raskt og avlsarbeidet er allerede startet (Fiskeriforskning, Tromsø). Også her har en gruppe forskere ved forskningsinstitusjoner i Bergen og Tromsø argumentert for at torsken bør beskrives genetisk, både ut fra et avls- og oppdrettshensyn. Det er også et poeng at vi vet lite eller ingenting om de genene som er relatert til generelle utviklingsmessige og fysiologiske egenskaper hos Norges antatt viktigste fiskeart. Det er derfor viktig at Norge mobiliserer så vel klassiske avlsforskere og fiskefysiologer som molekylærbiologer. Det vil kunne gi oss et kunnskapsmessig og avlsmessig forsprang på land som i fremtiden vil bli våre argeste konkurrenter, også på oppdrettsmarkedet for torsk.

### NYE PRODUKTER

Det er nærmest en allmenn sannhet at Norge i kraft av sin beliggenhet har en unik tilgang på marine ressurser. Sett i forhold til den totale marine biomassen som produseres i norske farvann, utnytter vi imidlertid bare en brøkdel av disse ressursene innen tradisjonelle fiskerier og oppdrett. Selv med en årlig norsk eksportverdi av fisk og fiskeprodukter på ca. 30 milliarder NOK (2002), består denne eksporten utelukkende av tradisjonelle produkter med til dels liten foredlingsgrad. Når en så tar i betraktning at mangfoldet av organismer og molekylære tilpasninger i det marine miljøet trolig er langt større enn det som finnes på landjorda, gir dette visjoner om en bedre utnyttelse av disse ressursene og generering av en ny type bioindustri basert på marin bioteknologisk kunnskap og prinsipper. Et godt eksempel på slik industri er produksjon og utnyttelse av marine enzymer, som i enkelte tilfeller har bedre bruksegenskaper enn tilsvarende produkter isolert fra varmblodige dyr. Som eksempel kan nevnes at ett slikt enzym som isoleres fra reke er et av de mest kostbare produkter som produseres i Norge. Det selges for ca. 1,0 mill. NOK – per gram!

Rekombinant DNA-teknologi vil etter hvert prege denne industrien. Gener fra marine organismer overføres til bakterier og gjær, og produktene fermenteres frem istedenfor å utvinnes direkte fra den marine kilden. For eksempel produseres komponenter i dagens fiskevaksiner i bakterier med basis i gener fra marine fiskepatogene virus. Videre finnes det på forskningsstadiet en rekke marine rekombinant produserte molekyler som enten har enzymaktivitet, dreper bakterier og virus eller dreper kreftceller. Forhåpentligvis vil noen av disse finne veien frem til apoteket og medisinsk anvendelse. Som et siste eksempel i dette avsnittet kan nevnes at et stort spekter av DNA-teknologiske metoder anvendes ved påvisning og karakterisering av marine bakterier og virus, og står helt sentralt i det diagnostiske og epidemiologiske arbeidet innen fiskehelse.

Jeg håper at dette innlegget illustrerer hvordan DNA-teknologien etter hvert har fått en sentral plass innen marin forskning, og at denne satsingen er nødvendig og må styrkes. Teknologien er rett nok kompetanse- og kapitalkrevende, men her ligger også fascinerende utfordringer og muligheter som appellerer til en ny generasjon forskere. Denne utfordringen bør den marine sektoren (fra departement til industri) ta på alvor ved at det etableres virkemidler som tilgodeser en slik satsing innenfor det som har vært beskrevet som “*det vi skal leve av når oljen er solgt*”.



## 4.2

## Vaksineutvikling på gennivå

Audun H. Nerland, Havforskningsinstituttet  
Ingunn Sommerset, Intervet Norbio AS

**Utvikling og bruk av effektive vaksiner er en av hovedgrunnene til at vi i dag har industrielt oppdrett av laksefisk. For å mestre oppdrett av nye arter vil nye vaksiner være helt essensielt. Bioteknologi vil spille en viktig rolle i vaksineutviklingen.**

#### BEHOV FOR VAKSINER I INDUSTRIELL AKVAKULTUR

Akutte infeksjonssykdommer som kan føre til fullstendig kollaps i et oppdrettsanlegg er vanskelige å leve med for næringen. De medfører ikke bare tap av den fisken som dør, men skaper også vanskeligheter med finansiering og forsikring. Behandling med antibiotika er mulig for bakterielle sykdommer, men lite ønskelig både av miljøhensyn og i forhold til renommeet i markedet. For virus sykdommer finnes ingen behandlingsmetoder for fisk som allerede er smittet. Vaksiner som hindrer spredning og utbrudd av smittsomme sykdommer er derfor helt nødvendig for oppdrett i industriell målestokk.

I dag produseres det effektive vaksiner mot flere av de sykdommene som var et mareritt for lakseoppdrettere for 10–15 år siden (f.eks. vibriose og furunkulose). Men også innenfor oppdrett av laksefisk er det fremdeles en del sykdommer (ILA, PD, BKD) der en mangler kommersielt tilgjengelige vaksiner. For oppdrett av nye marine arter vil effektive vaksiner være minst like viktige som for laksenæringen. Mens laksefisk tilbringer den første delen av sin livssyklus i ferskvann, der antall mikroorganismer er forholdsvis lavt, lever marin fisk hele livet i sjøvann som kan betegnes som en suppe av mikroorganismer. Ved intensivt oppdrett med stor tetthet, må vi i framtiden regne med at det dukker opp infeksjonssykdommer som ikke tidligere har vært påvist hos disse artene.

Vaksiner baseres på den spesifikke delen av immunsystemet. *Ved vaksineutvikling er målet å finne fram til de riktige komponenter av en mikroorganisme, og deretter presentere disse for immunsystemet på en slik måte at det dannes spesifikke hukommelsesceller.* Disse hukommelsescellene vil ved en senere infeksjon gjenkjenne den patogene mikroorganismen og bli aktivert enten til å direkte hemme det patogene agens, eller til å stimulere andre beskyttende celler/mekanismer. Hvilke cellyper og hvilken immunrespons som gir best beskyttelse avhenger av den patogene mikroorganismen, og det er derfor viktig å lage vaksiner som stimulerer immunsystemet til den rette type respons.

#### “TRADISJONELLE VAKSINER” I AKVAKULTUR

Krav om effektivitet er bare ett av mange krav til vaksiner som skal brukes innenfor fiskeoppdrett. Det hjelper lite å ha en effektiv vaksine dersom den koster så mye å produsere at oppdretteren ikke ser seg råd til å vaksinere fisken. I tillegg må vaksinen følge kravene til sikkerhet, bivirkninger og administrasjon. For eksempel bør vaksinen kunne administreres til fisken på enklest mulig måte og gi minimalt med stress, og vaksinekonseptet bør være forenelig med andre vaksiner, slik at man unngår vaksinerings i flere omganger.

Tradisjonelt er vaksiner gjerne blitt delt i to kategorier: “drepte” og “levende”, basert på bruk av hele mikroorganismer i vaksinen. De fleste vaksinene som brukes innen akvakultur i dag er fremstilt av drepte mikroorganismer. Den patogene mikroorganismen blir dyrket opp i store mengder og deretter inaktivert (drept), vanligvis ved hjelp av formalin. Dette er tilstrekkelig for å lage gode vaksiner som virker både ved bad, dypp og injeksjon mot for eksempel bakteriesykdommene vibriose og kaldtvannsvibriose. For *Aeromonas salmonicida*, som forårsaker furunkulose, må de drepte bakteriene i tillegg blandes (emulgeres) i olje og injiseres i fiskens bukhule for å gi en tilfredsstillende beskyttelse. Når det gjelder virus sykdommer har det vært påvist beskyttelse ved injisering av drepte/inaktiverede virus, men problemet her er ofte å få dyrket opp store nok mengder virus (dette må gjøres i cellekulturer). Det er heller ikke alle virus som lar seg isolere eller dyrke opp. Drepte vaksiner er sikre, men det er ofte nødvendig med høye doser for å få god effekt, og spesielt for virusvaksiner kan dette være kostnadskrevenne.

Levende vaksiner er oftest basert på at den sykdomsfremkallende mikroorganismen blir svekket (attenuert) på en slik måte at den ikke lenger kan gi sykdom, men likevel er i stand til å stimulere en immunrespons. Ved en slik subklinisk infeksjon utnyttes naturens egen måte å gi immunitet på; den kan være svært effektiv og vare livet ut. Attenuerte vaksiner har vært i bruk innenfor humanmedisin i lang tid, særlig mot virus sykdommer (f.eks. poliovaksinen mot poliomyelitt), men også mot bakteriesykdommer (f.eks. BCG-vaksinen mot tuberkulose). En innvending mot bruk av attenuerte mikroorganismer i akvakultur er likevel knyttet til sikkerheten. Selv om faren for at mikroorganismen skal reversere til patogen form kan reduseres til et minimum, vil en mikroorganisme som er ikke-patogen i én vert ikke nødvendigvis virke på samme måte overfor alle andre organismer i nærmiljøet. Det sistnevnte kan være vanskelig å teste ut i et naturlig

akvatisk miljø. I kontrollerte og “lukkede” innendørs kar bør slike vaksiner likevel være sikre. Siden den attenuerte mikroorganismen kan formere seg i fisken, kan man vaksinere med svært liten dose sammenlignet med drepte vaksiner. I tillegg kan vaksinen også ha god effekt gitt i før eller ved badvaksinering, noe som medfører mindre stress på fisken og mulighet for administrasjon på tidlige yngelstadier der injeksjon er vanskelig.

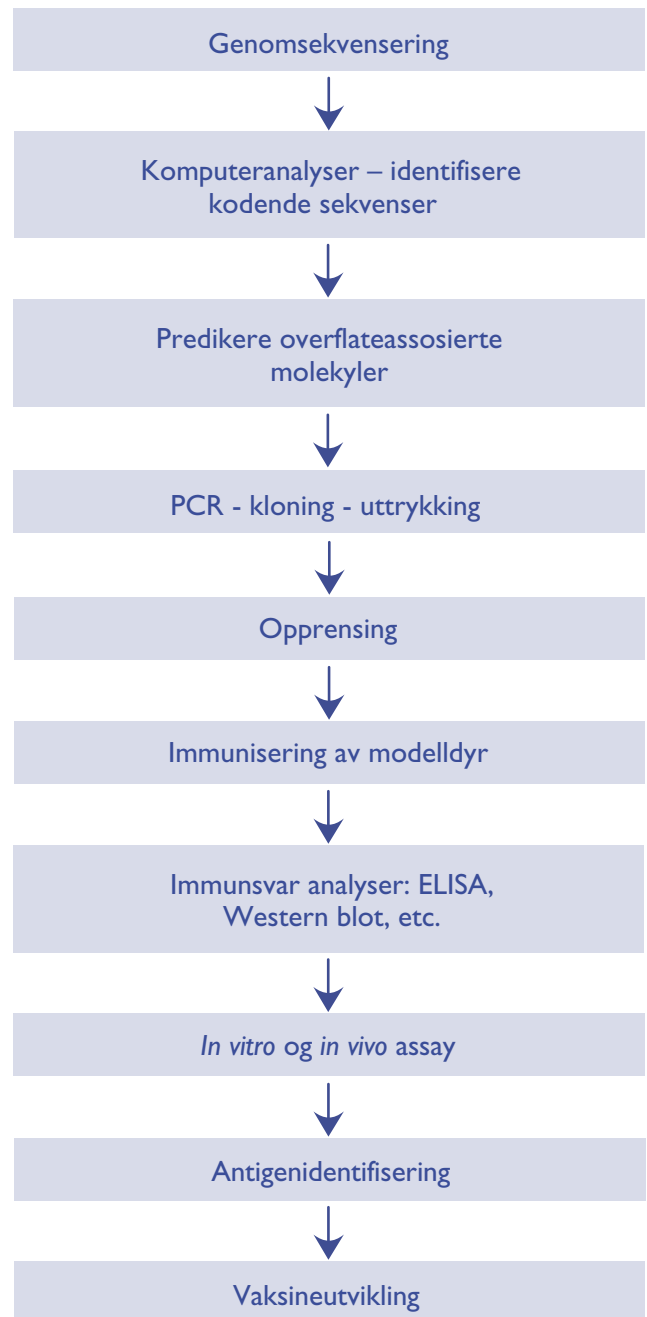
### REKOMBINANT DNA-TEKNIKK OG DE “NYE VAKSINENE”

Vaksiner av “drepte/inaktiverte” eller “levende/attenuerte” mikroorganismer er avhengig av at man kan dyrke dem i laboratoriet. Der dette ikke er mulig eller ønskelig, har de siste tiårs utvikling av rekombinant DNA-teknikk gitt nye og viktige verktøy i utviklingen av vaksiner til både mennesker og dyr. Ved å kartlegge genene i det eller den sykdomsfremkallende viruset, bakterien eller parasitten, kan man finne de genene som koder for proteiner som vertens immunsystem danner en beskyttende reaksjon mot. For enkle patogene agens som virus er det ofte få gener det dreier seg om, mens det er langt mer omfattende å identifisere disse genene hos bakterier og parasitter. Men prinsippet er det samme; en genombasert tilnærming (også kalt “revers vaksinologi”) der man i den patogene organismens arvestoff leter etter sekvenser som koder for potensielle vaksine kandidater. Disse genene isoleres og kan uttrykkes rekombinant i “proteinfabrikker” som f.eks. *E. coli*-bakterier, hvor de videre renses opp og testes ved å immunisere modelldyr (Figur 1). Med dagens teknologi er det mulig å sekvensere hele genomet til en mikroorganisme, og bruke dataverktøy (bioinformatikk) for å analysere og lete etter interessante gener.

#### Rekombinante subenhetsvaksiner

I vaksinesammenheng var det tidlig kjent at et fåtall komponenter (subenheter) av en patogen mikroorganisme kunne være nok for å gi en beskyttende immunrespons, og disse ble ofte splittet opp og renses fra mikroorganismer i kultur. Ved bruk av rekombinant DNA-teknologi kan disse subenheterne i dag bli produsert i store mengder i bakterier, gjærceller, insektceller eller andre typer celler i kultur. Dette gjøres ved at genet for det ønskede proteinet blir satt inn i en vektor (ofte et plasmid) rett bak en promotorsekvens, som gir cellene beskjed om å uttrykke mye protein fra genet. Det rekombinante proteinet kan så renses opp og eventuelt tilsettes olje eller annen adjuvant (stoff som hjelper til å stimulere immunsystemet).

Rekombinante subenhetsvaksiner kan være lette å produsere i store kvanta, og er dermed relativt rimelige. Sikkerheten med slike vaksiner er i tillegg svært god, de er ikke-infeksiøse og består av relativt veldefinerte proteinprodukter. De kan også gi færre bieffekter enn ved bruk av drepte hele patogener, men injeksjon ser ut til å være den eneste administrasjonsmetoden som fungerer på fisk. Flere rekombinante subenhetsvaksiner har vært prøvd ut på fisk i laboratorieforsøk, (f.eks. mot VHS, *Piscirickettsia*, HIRAME rhabdovirus og nodavirus). Så langt er bare en vaksine tilgjengelig for markedet (mot virussykdommen IPN), og denne er utviklet i Norge. Det er sannsynlig at flere rekombinante subenhetsvaksiner vil bli gjort kommersielt tilgjengelig for akvakultur i fremtiden.



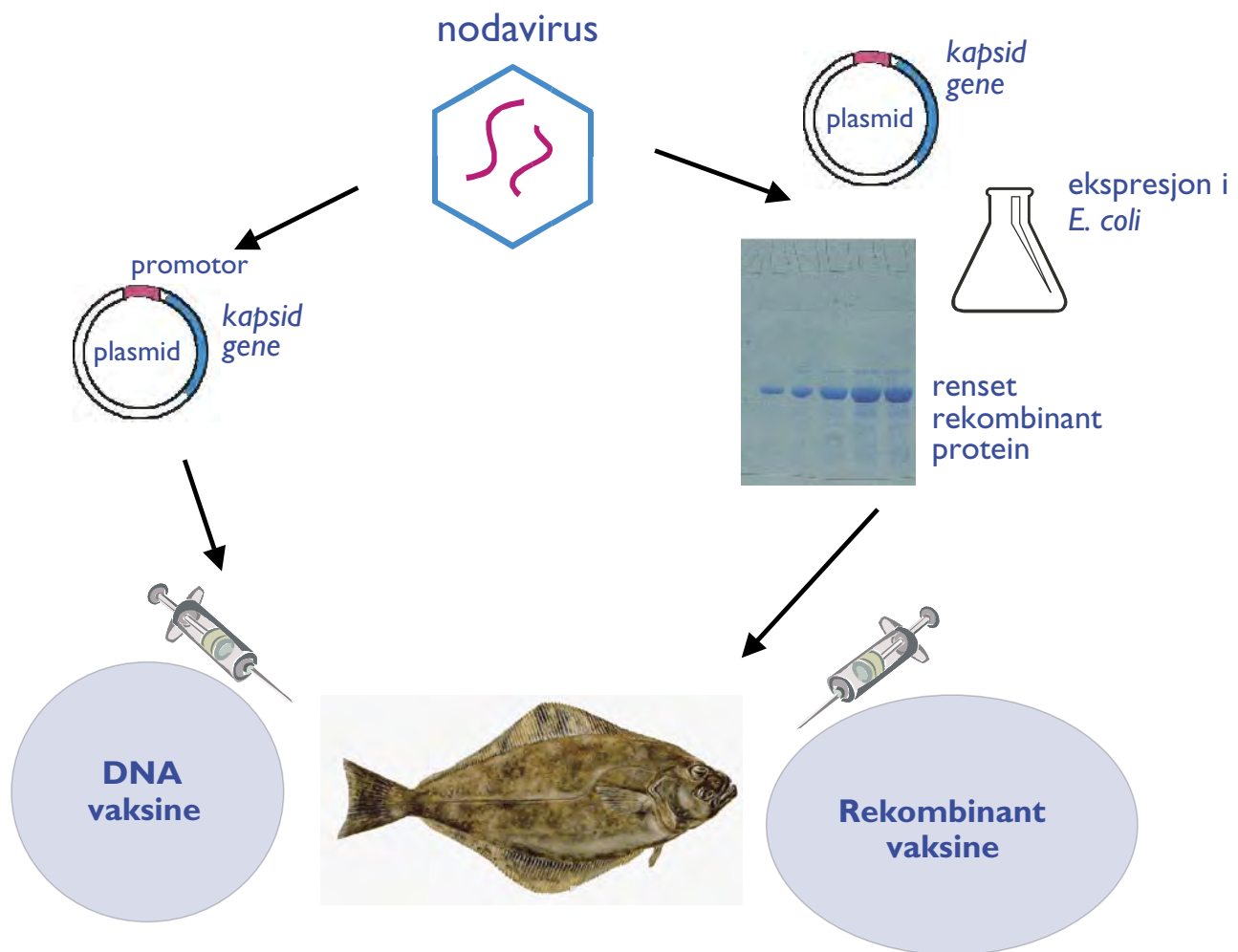
**Figur 1**

Flytdiagram som viser genombasert tilnærming til vaksineutvikling. Denne tilnærmingen involverer *in silico*-analyse av mikrobielle genomsekvenser, etterfulgt av uttrykking av interessante gener. Rekombinante proteiner brukes for immunisering av modelldyr som f.eks. mus, kanin eller fisk, etterfulgt av post-immuniseringsanalyser av sera for å vurdere den kvantitative og kvalitative immunresponsen proteinet er i stand til å gi. Figuren er modifisert fra Mora et al. Reverse vaccinology. *Drugs Discovery Today* 2003; 10:459-64. *Flow chart of genome-based approach to vaccine development. This approach involves in silico analysis of microbial genome sequences followed by expression of the genes of interest. The recombinant proteins are then applied to immunize model animals like mice, rabbits and fish followed by post-immunization analysis of sera to assess the ability of the proteins to elicit a quantitative and qualitative immune response. Modified from Mora et al. Reverse vaccinology. Drugs Discovery Today 2003; 10:459-64.*

## DNA-vaksiner

Prinsippet for DNA-vaksinering er å la det vaksinerte dyret selv produsere det proteinet (subenheten) det skal rettes en immunrespons mot, ved å injisere kodende DNA. Dermed oppnår man det samme som ved en naturlig infeksjon med virus og intracellulære bakterier; dvs. ved at proteiner blir syntetisert inne i vertscellene, og man får stimulert en "riktigere" type immunrespons mot disse patogenene. Vaksinen vil da bestå av et lite sirkulært DNA-molekyl (plasmid) der gener fra den patogene organismen er klonet bak en sterk promotor. DNA-vaksinen injiseres ofte i muskulaturen på dyret, da det har vist seg at muskelvev har størst evne til å ta opp DNA og produsere protein som dette koder for. De

første DNA-vaksinene som ble testet på fisk var laget mot rhabdovirus-sykdommene VHS og IHN. Disse vaksinene er basert på uttrykking av det virale glykoproteinet som sitter på yttersiden av virusene. VHS- og IHN-vaksinene viste en overraskende god beskyttelse som startet bare få dager etter vaksinering og varte opptil et år etter vaksinasjon. Man har senere testet DNA-vaksiner mot andre virussykdommer på fisk, men ingen vaksiner har så langt gitt like god beskyttelse som VHS- og IHN-vaksinene. Sikkerheten ved bruk av DNA-vaksiner er god, og man har frem til i dag ikke kunnet påvise potensielle negative effekter som integrering av DNA-vaksinen i genomet, autoimmunitet osv. Det er også blitt utført flere DNA-vaksinasjonsforsøk på mennesker. Det



**Figur 2**

Utvikling av DNA-vaksine og rekombinant vaksine mot nodavirus. Begge vaksinene var basert på genet som koder for viruskapsidet. For DNA-vaksinen ble dette genet klonet inn i et plasmid bak en eukaryot promotor som så ble injisert i fiskens muskelvev. For den rekombinante vaksinen ble genet klonet inn i et plasmid som gav høy ekspresjon i bakterieceller. Deretter ble rekombinant protein grovrenset (bilde av gel viser renheten til proteinet) og blandet med olje. Denne vaksinen ble injisert i fiskens bukhole.

*Development of a DNA vaccine and a recombinant vaccine against nodavirus. Both vaccines were based on the gene encoding the viral capsid. For the DNA vaccine this gene was cloned into a plasmid vector behind a eukaryotic promoter and then injected into muscle tissue of the fish. For the recombinant vaccine the gene was cloned into a plasmid allowing high expression in bacterial cells, followed by a crude purification of protein (picture of gel showing the purity of the protein) and mixed with oil. The DNA vaccine was injected intraperitoneally.*

er likevel en generell skepsis mot bruk av DNA-injisering på matfisk, og bare fremtiden vil vise om dette kan bli en akseptert vaksineringsmetode innenfor akvakultur.

### Virale og bakterielle vektorsystemer

En kan benytte infeksjøs, men ikke-sykdomsfremkallende mikroorganismer som leverandører (vektororganismer) for vaksinekomponenter. Komponentene kan enten være plasmider, som i en DNA-vaksine, eller beskyttende subenheter fra andre patogene virus/bakterier. Dersom man benytter vektororganismer som kan ta seg inn i verten enten via tarm eller gjeller, vil dette muliggjøre en effektiv oral- eller badvaksinering. I laboratorieforsøk har man testet apatogene *E. coli*-bakteriers evne til å levere IHN-glykoproteingenet til lakseceller, noe som så langt virker lovende. Man vil i akvakultursammenheng likevel kunne støte på de samme problemer som ved bruk av attenuerte vaksiner, da man ikke kan garantere at vaksinevektorene er apatogene for alle mulige organismer i vannmassene.

### Rekombinante virus og viruslignende partikler (VLP)

Ved å bruke såkalt "revers genetikk" kan man isolere alle genene for et patogent virus, slå ut de genene som fører til at viruset fremkaller sykdom, og sette hele eller deler av det virale genomet inn i vertsceller. Vertscellene produserer fra instruks av de tilførte virusgenene virale proteiner og eventuelt viralt DNA eller RNA, slik at kunstige, rekombinante virus blir satt sammen. Disse kan brukes til vaksiner, helt uten at virusene er avhengige av å dyrkes frem i cellekultur. I et slikt system er det også svært lett å bytte ut gener og dermed få vaksiner som er tilpasset ulike, aktuelle stammer av viruset. Man kan også bare inkorporere de genene som koder for selve virusstrukturen (f.eks. viruskapsidet) i cellekulturen, slik at man får satt sammen og produsert ikke-infeksiøse viruslignende partikler (VLP). Slike VLP er blitt laget for et nodavirus som gir sykdom hos tropisk fisk, og det viste seg at de hadde evne til å utkonkurrere naturlig virus når det gjaldt å binde seg til mottakelige celler i kultur. Siden disse VLP-ene ikke kunne infisere celler, virket de som en blokkade for de sykdomsfremkallende virusene, i tillegg til deres potensial som effektive immunstimulatorer.

### UTVIKLING AV VAKSINER MOT NODAVIRUS-INFESJON I KVEITE (VER): ET EKSEMPEL PÅ BRUK AV BIOTEKNOLOGI INNEN VAKSINEUTVIKLING

Ved Havforskningsinstituttet har vi hatt et NFR-støttet prosjekt for utvikling av vaksiner mot nodavirus. Dette er et

RNA-virus som angriper nervesystemet og er et av de største sykdomsproblemene i verden innenfor oppdrett av marin fisk, inkludert kveiteoppdrett i Norge.

Først ble hele genomet til viruset som gir sykdom hos atlantisk kveite sekvensert. Basert på genet som kodet for kapsidprotein til viruset, ble det laget både en rekombinant subenhetsvaksine og en DNA-vaksine. Den rekombinante vaksinen ble laget ved at genet ble klonet inn i en vektor for uttrykking i *E. coli*, og det rekombinante kapsidprotein ble så emulgert i olje. DNA-vaksinen ble fremstilt ved at det samme genet ble klonet inn i et egnet plasmid (Figur 2). Begge vaksinene ble benyttet til vaksinering av piggvaryngel (2–4 g). Ti uker etter vaksineringen ble fisken smittet med nodavirus. Resultatet viste at DNA-vaksinen ikke gav noen beskyttelse, mens den rekombinante subenhetsvaksinen gav høy beskyttelse (65–70 % RPS).

DNA-vaksiner mot rhabdovirus sykdommene VHS og IHN har som nevnt gitt høy beskyttelse i laks og ørret. I samarbeid med en dansk forskningsgruppe ble det testet om DNA-vaksinen som er basert på glykoproteinet hos VHS-viruset kunne gi noen form for beskyttelse mot nodavirus i piggvar. Overraskende nok viste det seg at vaksinen gav svært god beskyttelse allerede få dager etter vaksinering. Beskyttelsen avtok etter noen uker, noe man også ville forvente av en uspesifikk immunreaksjon.

### BEDRE KUNNSKAP OM FISKENS IMMUNSYSTEM VIL GJØRE DET LETTERE Å DESIGNE GODE VAKSINER

I tillegg til å være viktig for å kunne konstruere effektive og kostnadssvarende vaksiner innenfor oppdrettsnæringen, vil bruk av genteknologi også være vesentlig for uttestingen av slike vaksiner.

Vi har i dag relativt liten kunnskap om immunsystemet til fisk. Det gjør at vi ikke har testsystemer som viser hvilke deler av immunsystemet en vaksine stimulerer. Kloning og sekvensering av gener som koder for forskjellige signal- og effektor-molekyler i immunsystemet (cytokiner) og deres reseptorer, ville gjøre oss i stand til å lage slike testsystemer. Dette vil også gi oss en helt ny mulighet til å optimalisere vaksineringsstrategier med hensyn til for eksempel vaksinetidspunkt og vanntemperatur. Kunnskap helt ned på gennivå både når det gjelder oppdrettsarter og de tilsvarende sykdomsfremkallende organismer (virus, bakterier, parasitter) er viktig, og i mange tilfeller helt nødvendig, for å løse både dagens og morgendagens sykdomsproblemer innenfor akvakultur.

## 4.3

## Marin funksjonell genomforskning

Audun H. Nerland, Havforskningsinstituttet

**Funksjonell genomforskning kan gi svar på hvordan komplekse biologiske funksjoner som larveutvikling, kjønnsmodning, vekst og sykdomsresistens fungerer og reguleres. Kunnskap om dette kan være avgjørende for om vi vil klare å utvikle oppdrett av nye arter til økonomisk lønnsomme og konkurransedyktige næringer.**

**HVA ER FUNKSJONELL GENOMFORSKNING?**

Fra 1977, da metoden for DNA-sekvensering ble publisert, har mengden sekvensdata økt eksponentielt. I 1995 var hele genomet (den totale genetiske informasjon) til en levende organisme (bakterien *Haemophilus influenzae*) fullstendig sekvensert, og året var det samme tilfellet for genomet til den første encellede eukaryote organismen (gjærcellen). I 1998 sekvenserte man så genomet til en flercellet eukaryot (rundormen *Caenorhabditis elegans*), og i 2003 hadde man kartlagt hele sekvensen til det menneskelige genomet. I dag er genomet til et titalls eukaryote og et hundretalls prokaryote organismer sekvensert.

Selv med all denne sekvensinformasjonen, betyr det ikke at man dermed fullt ut forstår hvordan den genetiske infor-

masjonen benyttes i livsprosessen, men kunnskapen åpner for muligheten til å studere dette videre. Det er det man kaller funksjonell genomforskning. *Det vil si at man studerer samspillet mellom genene og hvordan de forskjellige genene blir regulert og uttrykt, slik at de muliggjør livsprosessen for enkeltceller og for kompliserte flercellede organismer.*

**GENREGULERING**

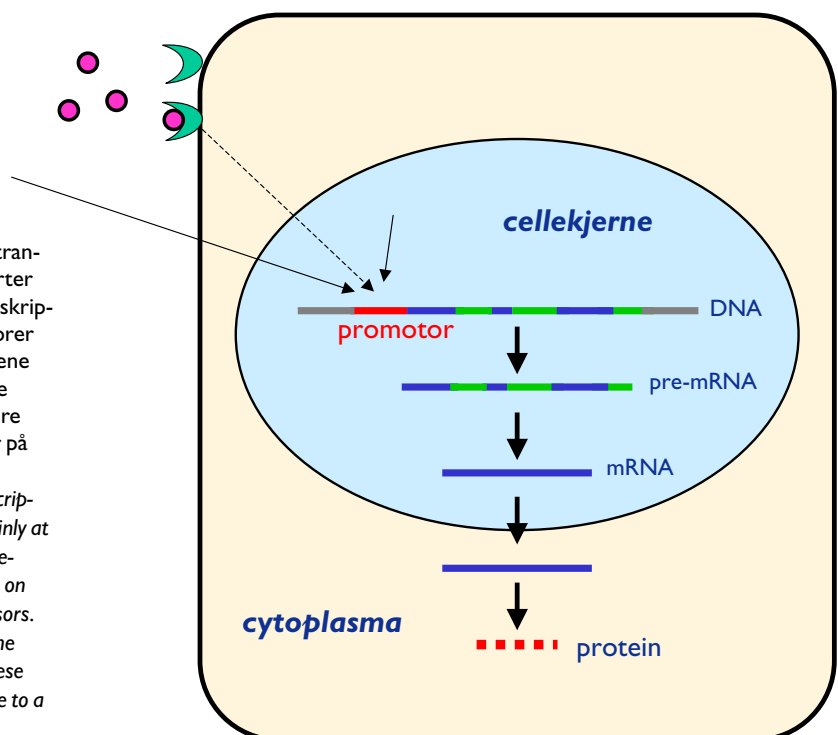
I en høyerestående organisme som for eksempel en fisk vil (med noen få unntak) alle typer celler (leverceller, muskelceller osv.) i organismen inneholde den samme genetiske informasjonen. Hele genomet utgjør omkring 1 milliard basepar og inneholder 20 000–30 000 forskjellige gener, men bare et fåtall av disse genene er til enhver tid i aktivitet. Hvilke gener som er aktivisert avhenger av celletype, vevstype, utviklings-trinn og ytre og indre stimuli.

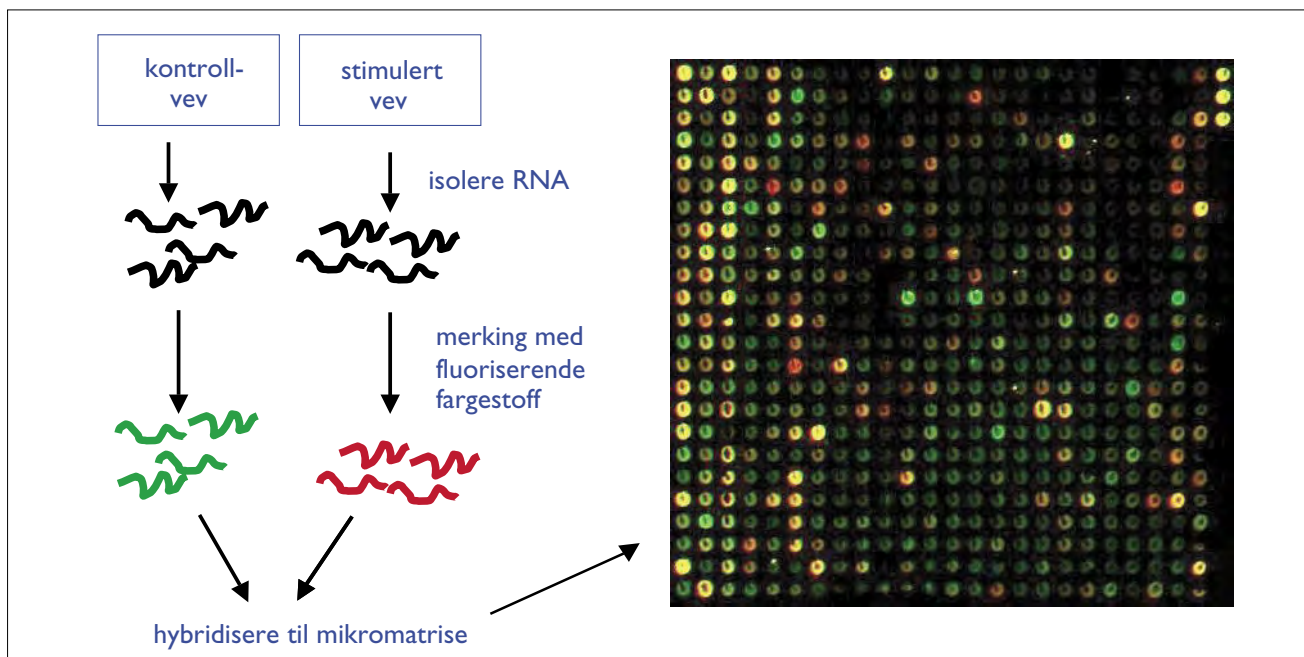
Hvert gen består av en promotor, etterfulgt av sekvensen som koder for proteinet. Promotoren er bryteren der genet kan bli slått på eller av. Uttrykking av genet skjer ved at RNA-polymerasen binder seg til promotoren og starter transkripsjon av mRNA. Dette skjer i cellekjernen. Etter en del modifiseringer

**Figur 1**

Genetisk informasjon i en celle går fra DNA til mRNA (transkripsjon) til protein (translasjon). Genkontrollen ligger hovedsakelig på transkripsjonsnivå. I hvilken grad RNA-polymerasen starter transkripsjonen fra promotoren, er avhengig av transkripsjonsfaktorer, aktivatorer, koaktivatorer og repressorer (undertrykkende faktorer). Disse reguleringsfaktorene kan enten være syntetisert inne i cellen, eller komme utenfra. Syntesen av reguleringsfaktorer kan ofte være resultatet av at et hormon binder seg til en reseptor på cellens overflate.

*Genetic information is going from DNA to mRNA (transcription) to protein (translation). The gene control occurs mainly at the level of transcription. To what degree the RNA polymerase starts the transcription from the promoter depends on transcription factors, activators, coactivators and repressors. The regulation factors can either be synthesised inside the cell or enter the cell from the outside. The synthesis of these factors may often be a result of the binding of a hormone to a receptor on the cell surface.*





**Figur 2**

Ved bruk av mikromatriseteknologi kan transkripsjonsreguleringen av et stort antall gener studeres på samme tid. For å lage en mikromatrise må man ha isolert et stort antall enkeltgener fra den aktuelle organismen, og små mengder DNA for hvert enkeltgen blir lagt på en overflate. RNA isoleres fra celler/vev som skal studeres og fra en tilsvarende kontrollprøve. RNA omdannes til DNA, samtidig som det merkes med fluoriserende fargestoff. Deretter blandes disse og hybridiseres til mikromatrisen. De genene prøven binder seg til fremstår som røde, de genene kontrollprøven binder seg til fremstår som grønne, mens de som binder seg til begge ser gule ut.

*By using the micro array technology the regulation of the transcription of a large number of different genes can be studied simultaneously. To make a micro array a large number of genes from the organism in question must have been isolated and spotted on a solid support. To conduct the assay, RNA is isolated from the sample and from a relevant control. The RNA is converted to DNA, labelled with fluorescent dyes, mixed and hybridised to the micro array. The genes binding the probe from the sample appear red, the genes binding the probe from the control appear green, and those binding both appear yellow.*

av mRNA (spleising) blir denne transportert ut i cellens cytoplasma hvor proteinsyntesen finner sted (Figur 1).

Genreguleringen skjer hovedsakelig på transkripsjonsnivå, det vil si i hvilken grad RNA-polymerasen "får lov" til å transkribere det aktuelle genet. Dette avhenger av hvorvidt transkripsjonsfaktorer, aktivatorer, koaktivatorer og represorer binder seg til regionen omkring promotoren. Slike reguleringsfaktorer kan være proteiner som er kodet fra et annet gen (som igjen er regulert), eller det kan være mer lavmolekylære forbindelser. Reguleringsfaktorene kan være syntetisert inne i cellen eller komme inn i cellen utenfra. Ofte blir reguleringsfaktorer produsert inne i cellen som et resultat av at cellen får et signal utenfra (f.eks. et hormon binder seg til reseptor på cellens overflate).

Vi vet i dag en god del om hvordan noen enkeltgener blir regulert. Men de fleste biologiske prosesser blir styrt av flere gener. Energimetabolismen i kroppen utgjør for eksempel omkring 500 forskjellige biokjemiske reaksjoner med tilhørende enzymer. For å forstå komplekse biologiske prosesser er vi derfor interessert både i hvilke gener som er involvert, og hvordan reguleringen av disse foregår som en helhet.

#### FORSKNING PÅ FORSKJELLIGE NIVÅER

Funksjonell genomforskning foregår på flere nivåer. På det første nivået studerer man *hvilke* gener som er involvert i en

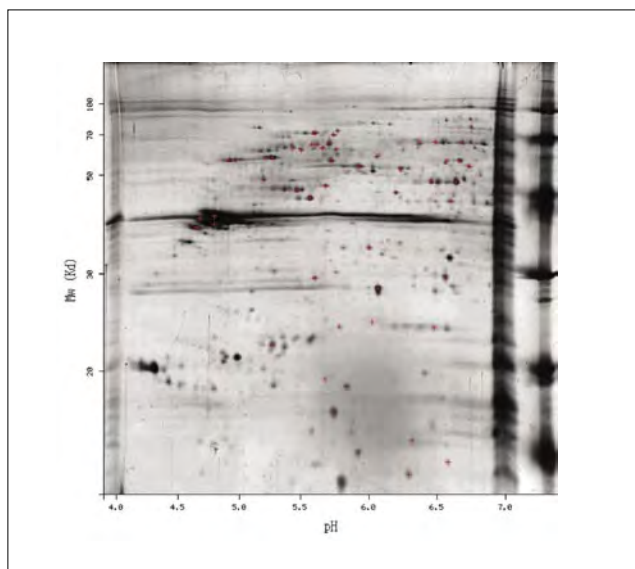
biologisk prosess. Dette kan gjøres enten ved å undersøke opp- eller ned-regulering av mRNA, eller tilsvarende undersøkelser av proteinsyntesen. Sentrale metoder her er henholdsvis mikromatriseteknologi (Figur 2) og todimensjonal gelelektroforese (Figur 3).

For å etablere mikromatriseteknologien må man først kjenne sekvensen til den kodende delen av majoriteten av genene til organismen man skal studere. Dette gjøres ved å isolere mRNA fra organismen, omdanne denne til DNA som så kan sekvenseres (cDNA-sekvensering eller EST-sekvensering).

På det neste nivået studerer man *hvordan* genene som er involvert blir regulert. Da må man ha tilgang på sekvensinformasjon som omfatter promotoren til genene, hvilket innebærer sekvensering av genomisk DNA. Dette muliggjør studier av DNA-protein og interaksjoner mellom proteiner.

#### NYTTEVERDI

Går man i dybden i enhver biologisk problemstilling, kommer man før eller senere ned på gennivå. Funksjonell genomforskning vil derfor være grunnleggende for forskning innenfor de fleste aspekter av akvakultur. Det er ikke vanskelig å finne eksempler der dette vil ha en nytteverdi, eller kanskje være avgjørende for å få en økonomisk lønnsom og konkurransedyktig næring.



**Figur 3**

Ved todimensjonal gelelektroforese blir proteinmolekylene i en prøve spredd utover en gel. Ved å sammenligne to geler der den ene kommer fra celler før stimulering og den andre fra celler etter stimulering, kan man studere opp- og nedreguleringen av syntesen av enkeltproteinene.

*In 2D-gel electrophoresis the protein molecules in a sample are spread on a gel. By comparing two gels where one is from cells before stimulation and the other is from stimulated cells, the up- and down-regulation of the synthesis of the individual proteins can be studied.*



Forståelse av genetisk regulering ved kjønnsmodning kan være viktig både for laksnæringen og i oppdrett av nye marine arter; likeledes forståelsen av hvordan lysmanipulering regulerer produksjonen av vekstregulerende hormoner. Marine arter har ofte en lang larve- og yngelfase som det har vist seg vanskelig å mestre, med høy dødelighet og feilutvikling som resultat. Funksjonell genomforskning kan gi viktig informasjon om hvordan miljøet (lys, temperatur, fôr, etc.) kan innvirke på f.eks. skjelettutvikling hos torsk og øyevandring og pigmentering hos kveite. En forståelse av hvordan immunsystemet hos fisk reguleres vil kunne gjøre det lettere å lage effektive vaksiner. Det kunne også gjøre det mulig å optimalisere vaksineringsstidspunktet med hensyn til fiskestørrelse, vanntemperatur osv.

Kartlegging av hvilke gener som er med på å styre viktige biologiske prosesser som kjønnsmodning, kroppsform, vekst og sykdomsresistens vil også kunne nyttes til å gjøre avlsarbeid mer målrettet.

Funksjonell genomforskning vil imidlertid ikke bare være nyttig hva angår selve oppdrettsorganismen. Tilsvarende forskningsaktivitet og økt kunnskap om forskjellige sykdomsfremkallende organismer som virus, bakterier og parasitter kan sette oss i stand til å finne svake punkter i livssyklusen til den patogene organismen, noe som igjen kan benyttes i sykdomsbekjempelse. De største internasjonale laboratoriene vil i dag bare bruke noen få måneder til å sekvensere hele genomet til en fiskepatogen bakterie. Dersom man har slik informasjon tilgjengelig, kan man ved sekvensanalyse finne de komponentene av bakterien som vil være mest egnet i en vaksine mot denne bakterien.

#### FORSKNINGSSTRATEGI

På slutten av 1990-tallet så norske forskningsmiljøer faren for at de ble akterutseilt innenfor funksjonell genforskning. Det ble derfor tatt initiativ til å etablere et eget forskningsprogram innenfor dette feltet, og i 2001 startet Norges forskningsråd FUGE-programmet med spesielt fokus på human medisin og marin forskning.



**Figur 4**

Hele genomet til sebrafisk, fugu og medaka er fullstendig sekvensert.

*The entire genomes of zebrafish, fugu and medaka are sequenced.*

Første fase av programmet gikk ut på å etablere teknologiplattformer som var nødvendige for slik forskning, eksempelvis mikromatriseteknologi, proteinanalyse og bioinformatikk. Andre fase var støtte til konkrete forskningsprosjekter.

Innenfor human medisin er som nevnt genomet til mennesket sekvensert. Det er også genomet til mus, det dyret som er mest brukt som modell innenfor human medisinsk forskning. Grunnlaget for funksjonell genomforskning forelå derfor allerede ved starten.

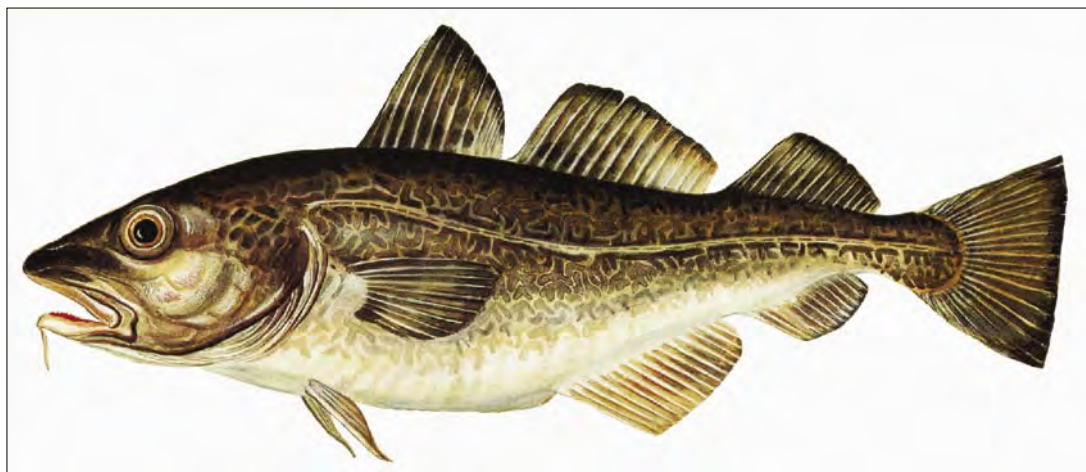
Innenfor marin forskning er forutsetningene dårligere. Riktignok er genomet til sebrafisk, fugu og medaka ferdig sekvensert (Figur 4). Sekvensen for disse fiskene kan være til stor hjelp for å kartlegge tilsvarende gener fra fisk relatert til norsk fiskeri og akvakultur. Slike modellfisker er fordelaktige ved at de har kort generasjonstid, og fordi de krever relativt små ressurser. Men for å få i gang funksjonell genomforskning på våre oppdrettsarter må det først gjøres et grunnleggende arbeid for å skaffe til veie relevante sekvensdata.

Ved Norges veterinærhøgskole har det foregått en genkartlegging av atlantisk laks (Salmon Genome Project), som mellom annet innbefatter EST-sekvensering (Figur 5). I et samarbeidsprosjekt mellom Havforskningsinstituttet, Universitetet i Bergen og Universitetet i Tromsø har man startet et tilsvarende prosjekt for atlantisk torsk (Figur 6). Tanken er at dette skal danne grunnlaget for en storstilt funksjonell genomforskning på torsk i årene framover.



**Figur 5**

Et stort antall EST-er er sekvensert fra atlantisk laks (*Salmo salar*).  
A large number of ESTs are sequenced from Atlantic salmon (*Salmo salar*).



**Figur 6**

Norske forskningsmiljøer ønsker å gjennomføre en storstilt funksjonell genomforskning på atlantisk torsk (*Gadus morhua*).

Norwegian scientists want to carry through a large-scale functional genomic on Atlantic cod (*Gadus morhua*).



## 4.4

## Lakselusresistens hos atlantisk laks

Kevin A. Glover og Frank Nilsen, Havforskningsinstituttet

**I oppdrett av laks og regnbueørret i dag er lakselus et stort problem, det gjelder både miljømessig og økonomisk. En måte å kontrollere infeksjonsnivået på kan være å redusere fiskens sårbarhet med hensyn til lakselusinfeksjon gjennom selektiv avl. Denne artikkelen diskuterer muligheten for en slik løsning, og introduserer noe av bioteknologien som kan benyttes i et slikt avlsprogram.**

To arter av lus – skottelus (*Caligus elongates*) og lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) – er vanlig å finne på oppdrettet og vill laksefisk. Lusen ernærer seg av slim, skinn og blod, og kraftig infisert fisk kan få åpne sår som igjen kan resultere i dødelighet.

#### BEHOV FOR EFFEKTIVE OG MILJØVENNLIGE METODER

Per i dag kontrolleres lusenivået i oppdrett ved bruk av kjemiske avlusningsmidler og i mindre grad også ved bruk av leppefisk. Disse medisinene er dyre, kan skade miljøet og bidra til en generell negativ holdning til oppdrettsnæringen. Det er også vist at lakselus kan bli resistent mot avlusningskjemikalier, for eksempel hydrogenperoksid og dicloros. For å kunne kontrollere lusenivået hos fisk i oppdrett er det nødvendig å utvikle kostnadseffektive metoder som også er miljøvennlige og bedrer næringens renommé. En slik metode er å øke laksens immunrespons mot lakselusinfeksjoner, via selektiv avl eller vaksiner.

Siden oppdrettsnæringen ble etablert i Norge på 1960-tallet, har langsiktig avlsarbeid på atlantisk laks og regnbueørret fått frem egenskaper hos fisken som har vært av avgjørende betydning for næringens suksess. I tillegg til f.eks. økt vekst og redusert kjønnsmodning, er selektiv avl blitt brukt for å få fram fisk med økt sykdomsresistens. Ved å bruke genetiske markører i arbeidet med selektiv avl undersøker Havforskningsinstituttet i Bergen, i samarbeid med Aquagen, nå mulighetene for å redusere sårbarheten for lakselusangrep hos oppdrettet atlantisk laks.

#### HVORFOR MOLEKYLÆRE MARKØRER I AVL?

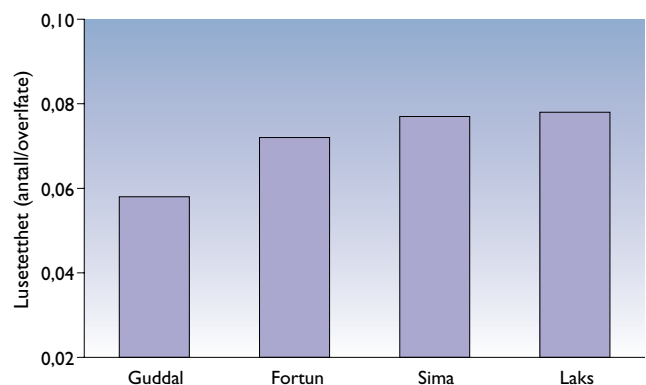
Avl innen norsk oppdrett har tradisjonelt bygget på å velge ut søskengrupper og/eller individer med egenskaper som god vekst, lav andel kjønnsmodning, etc. Det er teoretisk mulig å utføre et lignende avlsprogram ved å selektere fisk med redusert sårbarhet for lakselusinfeksjoner. Dette kan for eksempel gjøres ved å velge de individer som har lavest lusepåslag ved slaktning. Det er imidlertid flere faktorer som kan redusere effektiviteten ved bruk av en slik metode, som

f.eks. naturlige variasjoner i antall lus i sjøen. I år med lite lus vil det være redusert smitterisiko, og dermed har man mindre mulighet til å identifisere fisk med lav sårbarhet. I motsatt fall, hvis lusenivået er høyt, må oppdretterne bruke kjemikalier for å avluse fisken, noe som igjen vil kunne innvirke på seleksjonen. Forsøk under kontrollerte forhold (i tanker med egenprodusert lakselus) kan være en mulig løsning, men dette er ressurskrevende og vil ikke nødvendigvis reflektere det samme familieinfeksjonsmønster som i en merd. Tellinger av lus krever også et stort antall fisk på årlig basis, og dette er ekstremt ressurskrevende.

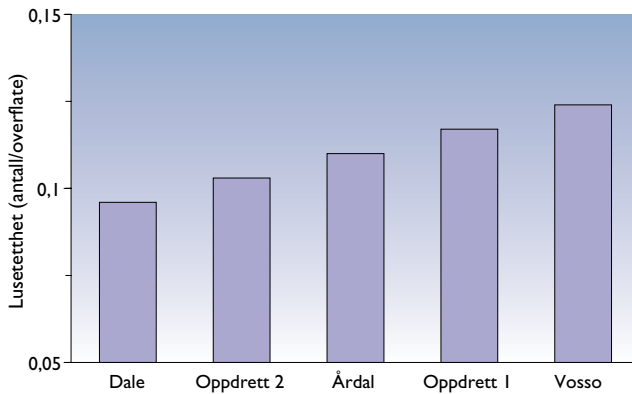
Ved å identifisere de gener som påvirker laksens motstandsdyktighet mot lakselusinfeksjon kan man håpe å oppnå resultater som lar seg reproducere. Dette vil gjøre det enklere å gjennomføre et avlsprogram for denne egenskapen. Muligheten til å undersøke individer og familier for spesielle alleler (genvarianter) knyttet til motstandsdyktighet mot luseinfeksjoner, gjør at årlige smitteforsøk ikke lenger vil være nødvendige.

#### GENETISK VARIASJON MHT. SÅRBARHET – HVA VET VI?

Forsøk gjort ved Havforskningsinstituttet har vist at det er forskjeller mellom populasjoner når det gjelder sårbarhet overfor lakselusinfeksjoner. Dette er tilfelle både for sjøørret og atlantisk laks. Det første smitteforsøket ble utført på sjøørret, og viste at blant de populasjonene som ble testet var det en



**Figur 1**  
Lusetetthet målt som antall lus per overflate for ørret fra Guddal, Fortun og Sima samt en laksestamme.  
Lice density measured as number of lice per surface area for sea trout from Guddal, Fortun and Sima, and one Atlantic salmon population.



**Figur 2**

Luseitetthet målt som antall lus per overflate for vill atlantisk laks fra Dale, Årdal og Vosso, og oppdrettslaks fra to anlegg.

*Lice density measured as number of lice per surface area for wild Atlantic salmon from Dale, Årdal and Vosso, and salmon from two farms.*

forskjell på 35 % i infeksjonsnivå (Figur 1). Videre er det vist at lignede forskjeller i sårbarhet med hensyn til luseinfeksjoner også finnes mellom ulike laksepopulasjoner (Figur 2). Selv om mekanismene som kontrollerer slike forskjeller ikke er identifisert eller karakterisert, er det sannsynlig at dette gjenspeiler genetiske forskjeller.

I et pågående forsøk ved Havforskningsinstituttet har laks fra avlstaasjonen ved Kyrksæterøra (AquaGen) gått i merd i sjøen og blitt naturlig eksponert for lakselus. Materialet omfatter 1500 fisk fra 30 halvøskenfamilier. Antall lus hos hver enkelt fisk ble registrert, og DNA- og RNA-prøver ble tatt. Dette forsøket gir informasjon om arveegenskaper med hensyn til sårbarhet for infeksjon av skottelus og lakselus. Det gir også et genetisk materiale som kan brukes i jakten på de genene som er involvert, for å finne variasjoner i denne egenskapen mellom og innen familier.

## RESPONS I LAKSENS IMMUNSYSTEM VED INFEKSJON

Til tross for at det er mange vertsspesifikke faktorer som kan påvirke infeksjonsgraden hos enkeltfisk i merd, f.eks. fiskens størrelse og stressnivå, er det vist at laksens immunsystem er viktig. Nøyaktig hvilke mekanismer det dreier seg om er ikke påvist, men det er funnet bevis for at både spesifikke og ikke-spesifikke komponenter av immunsystemet er involvert.

I det videre arbeidet er det viktig å identifisere laksens immunforsvar mot luseinfeksjon, karakterisere den genetiske sårbarheten funnet for disse trekkene hos laks, og velge ut genetiske markører i kombinasjon med et avlsprogram. Målet er å kartlegge genetiske markører i laksegenomet som er direkte kodet for eller alternativt koblet mot andre gener, og som "bestemmer" graden av sårbarhet med hensyn til

luseinfeksjon. Spørsmålet er hvilke gener vi skal studere, og hvordan vi skal finne dem?

## KANDIDATGENER TIL HJELP I AVL

For å kunne avdekke kandidatgenet som kan brukes i avl må det relevante området på genomet identifiseres. Slike områder eller regioner blir kalt QTL (Quantitative Trait Loci) og inneholder informasjon om den ønskede egenskapen. Identifisering av QTL gjør det mulig å velge ut markører knyttet til den ønskede egenskapen. Slike markører, for eksempel mikrosatellitter, kan brukes i et avlsprogram. Målet er å identifisere genet eller genene som gir den ønskede fenotypen. Per i dag kjenner man ikke til hvilke gener som er involvert eller assosiert med motstandsdyktighet mot lakselusinfeksjoner.

Identifisering av kandidatgener kan oppnås på flere måter. Hvis et fysisk genkart for den ønskede arten er tilgjengelig, kan markører som brukes i et avlsprogram lokaliseres og definere et mer begrenset område av genomet. I denne prosessen kan en region definert som en eller flere BAC-kloner (kloner som inneholder en større mengde DNA, for eksempel 100–200 kp) identifiseres og sekvenseres. Genet eller genene som er identifisert vil videre bli forsøkt koblet til en funksjon eller egenskap, og den genvarianten som er involvert kan da selekteres ved bruk av markør i et avlsprogram. En annen tilnærming er å analysere aktiviteten til mange gener for å identifisere genene i QTL. Ved mikromatriser kan man undersøke aktiviteten til mange tusen gener eller genfragmenter samtidig. Ved å sammenligne et stort antall gener i et dyr, med og uten en spesifikk egenskap, kan det genet eller genene som er involvert identifiseres.

## KAN GI VERDIFULL INFORMASJON

MHC (Major Histocompatibility Complex) klasse I- og II-gener er deler av immunsystemet, og gjenkjenner antigener (non-self substances). Disse genene er meget variable, og deres del i immunsystemet er påvist for en rekke patogener hos mange ulike organismer. Tradisjonell tenkemåte har antatt at for et gitt individ vil en høy grad av variasjon innenfor disse genene gi individet best beskyttelse mot en rekke sykdommer.

Det er likevel funnet at noen genvarianter gir bedre beskyttelse mot spesifikke patogener enn andre. Hos atlantisk laks for eksempel, er noen MHC-alleler knyttet til økt beskyttelse mot visse sykdommer. Seleksjon av fisk fra en domestisert stamme som har det ønskede allelet vil sannsynligvis øke motstandsdyktigheten overfor den sykdommen det er snakk om. Det er ikke påvist at MHC er involvert i motstandsdyktighet mot luseinfeksjoner. Imidlertid kan undersøkelser av disse genene, via sekvensering inn i laksefamilier som uttrykker lav og høy motstandsdyktighet mot luseinfeksjoner, gi verdifull informasjon som kan brukes i et avlsprogram.

## 4.5 Lakselus – vaksineutvikling

Petter Frost og Frank Nilsen, Havforskningsinstituttet

Ved Havforskningsinstituttet er det nylig utført forsøk som klart indikerer at det er mulig å vaksinere mot lakselus. I jakten på de rette komponentene i en lakselusvaksine brukes en rekke molekylærbiologiske angrepsvinkler. Til sammen skal dette gjøre oss i stand til å identifisere noen få gener (av lakselusens totalt 15 000-20 000 gener) som koder for proteiner involvert i biologiske prosesser i lusen og som kan blokkeres via vaksinasjon.

Utvikling av vaksiner har vært en av de viktigste faktorene til suksessen i norsk lakseoppdrett. I dag har man effektive vaksiner mot de fleste bakteriesykdommene og i tillegg vaksine mot virussykdommen IPN. Helt siden starten har oppdrettsnæringen hatt problemer med lakselusinfeksjoner, og store mengder medikamenter har vært og blir stadig benyttet for å kontrollere infeksjoner med lus. Dette er ugunstig ut ifra flere synspunkter, og man bør i stedet satse på å få frem gode forebyggende tiltak. Leppefisk blir i dag en del benyttet i lakse-

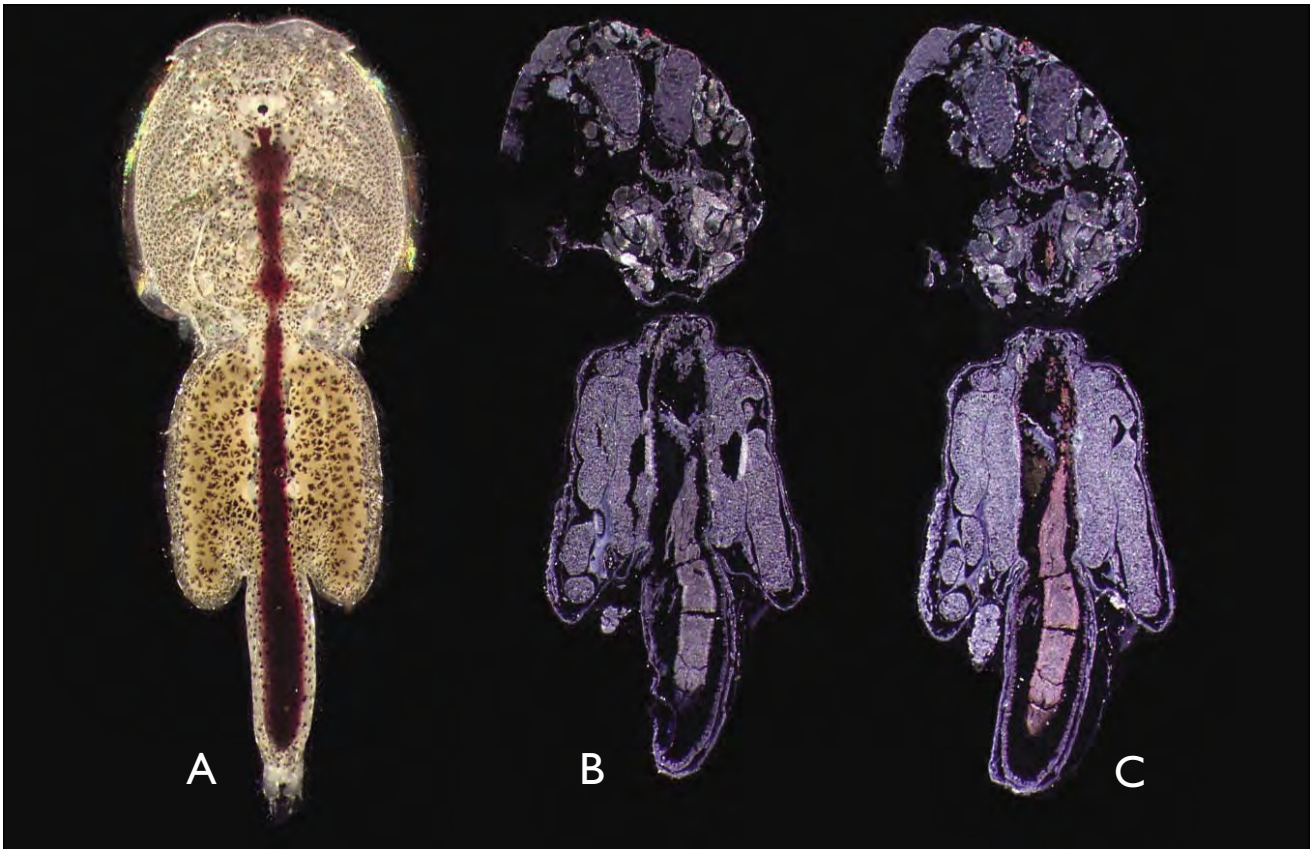
luskontroll, og fører til en reduksjon i antall behandlinger, men er ikke godt nok som kontrolltiltak alene.

### ER DET MULIG Å VAKSINERE MOT LAKSELUS?

I dag eksisterer det få vaksiner mot parasitter og bare én kommersiell vaksine mot ektoparasitter (parasitter som lever på utsiden av verten). Denne blir brukt mot sydlig kveglått (*Boophilus microplus*) og effekten er en ca. 90 % reduksjon i reproduksjonen av lått på vaksinert kveg. Studier fra lått og andre parasitter har vist at skal man lykkes med å lage vaksine, må denne baseres på ett eller noen få effektive antigener (protein som brukes som vaksine) som er essensielt i en eller flere viktige biologiske prosesser. Parasittvaksiner baserer seg på antigener som finnes inne i parasitten og som vertens immunsystem derfor ikke “ser” i et naturlig vert-parasitt-forhold. For at vaksineeffekt skal oppnåes må antistoffer eller andre komponenter i vertens immunsystem derfor komme inn i parasitten og nå fram til



**Figur 1**  
Lakselus samler seg ofte i tette klynger og kan forårsake store skader.  
*Salmon lice are often found close together in high numbers, and can cause severe damages.*



**Figur 2**

Lakselus med lakseblod i tarmen har også antistoffer fra laksen i tarmen.

A. Voksen lakselus hunn med lakseblod i tarmen.

B-C. Vevssnitt gjennom lakselus, med lakseblod i tarmen, analysert for tilstedeværelse av lakseantistoffer ved immunohistokjemi.

Bilde C viser påvisning av rester av lakseantistoffer i tarmen (røde områder), bilde B viser en negativ kontroll.

*Salmon lice with salmon blood in the intestine have also salmon antibodies in the intestine.*

*A. Adult female salmon louse with salmon blood in the intestine.*

*B-C. Tissue sections through salmon louse, with salmon blood in the intestine, analysed for presence of salmon antibodies by immunohistochemistry.*

*Picture C shows detection of salmon antibodies in the intestine (red areas), picture B shows a negative control.*

det proteinet som er benyttet i vaksinen, i en konsentrasjon som kan blokkere den aktuelle biologiske prosessen. Hos laks har det lenge vært et spørsmål om antistoff finnes på overflaten av fisken der lusene lever. Lakseblodet inneholder imidlertid antistoffer, og siden lakselus spiser blod (særlig voksne hunner) vil dette trolig være den viktigste kilden for antistoff fra verten og inn i parasitten. Ved Havforskningsinstituttet har vi påvist at lakseblod i lakselusens tarm inneholder lakseantistoffer.

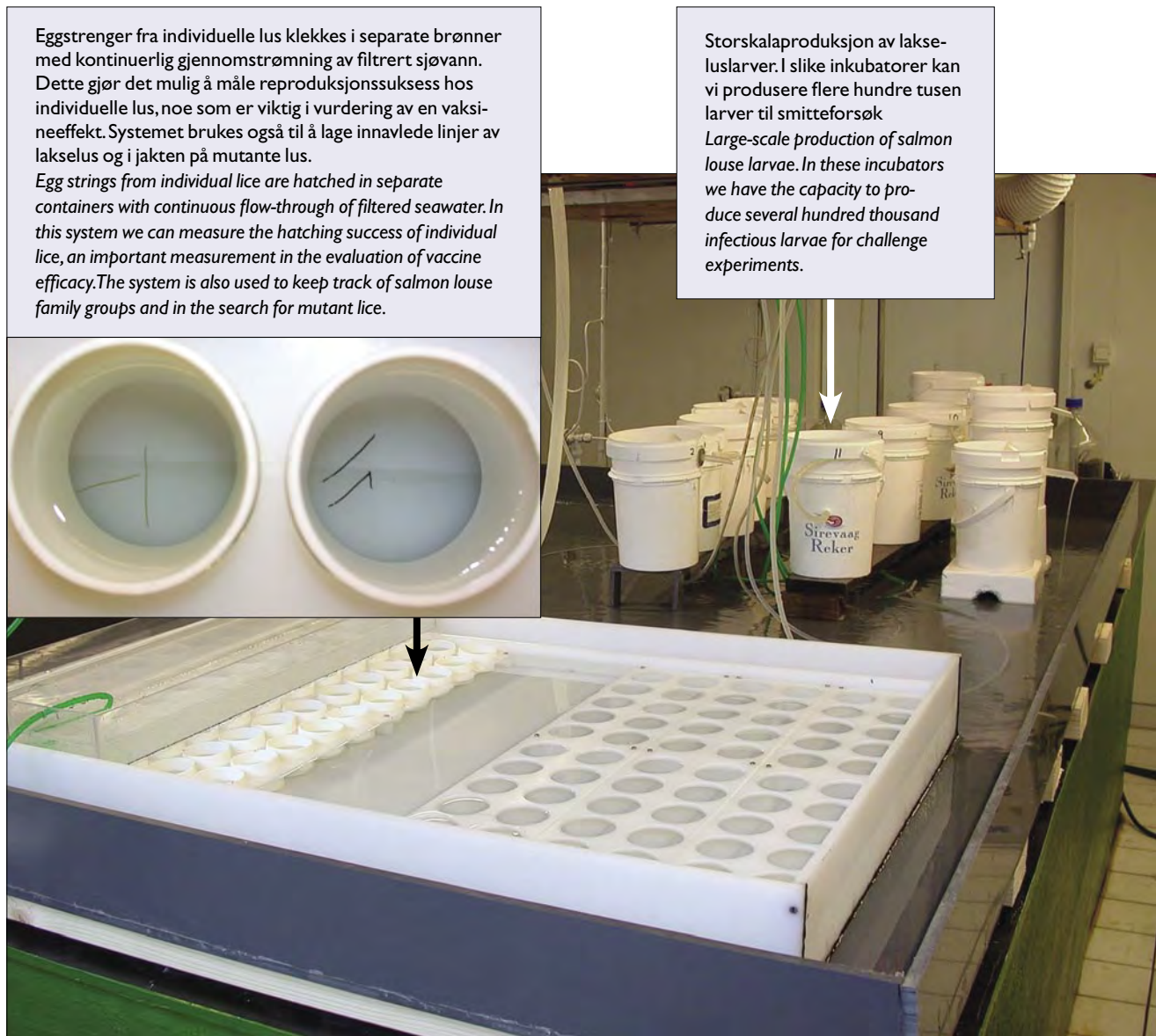
Blokkering av prosesser i lusetarmen er derfor en mulig angrepsvinkel. Siden det særlig er voksen hunn som spiser mye blod vil prosesser knyttet til reproduksjon, for eksempel eggproduksjon, også være et aktuelt angrepspunkt. Havforskningsinstituttet har nylig avsluttet det første forsøket med vaksinerings av atlantisk laks mot lakselus. Forsøket, som ble utført for å teste et nyopprettet system for å vurdere effekten av fremtidige kandidatvaksiner mot lakselus, indikerte klart at det er mulig å vaksinere mot lakselus.

En lakselus antas å ha 15 000-20 000 gener. Å identifisere og finne funksjonen til enkeltgener involvert i viktige biologiske

prosesser, som for eksempel fordøyelse og reproduksjon, krever koordinert anvendelse av en rekke molekylærbiologiske metoder.

#### **BIBLIOTEK OVER LAKSELUSENS AKTIVE GENER (EST-SEKVENSERING)**

I dag finnes det metoder der man kan studere mange tusen gener samtidig. Utgangspunktet for gensekvensene kan enten være arvestoffet som finnes i cellekjernen (genomisk DNA) eller kun gener som er aktive. Har man sekvensen til all genomisk DNA i én organisme (genomet), kan man også finne de fleste genene. For å identifisere gener i genomisk DNA benytter man seg av bioinformatiske metoder. For å verifisere et gen funnet på denne måten må man ha biologiske funn som viser at det genet er aktivt. Hos de fleste flercellede organismer består storparten av genomet av deler som ikke koder for gener. Dette betyr at man ved denne strategien bruker store ressurser på å sekvensere DNA som ikke koder for gener. Alternativet er å sekvensere utelukkende de aktive genene, ved å isolere mRNA (stadiet mellom et gen og det proteinet genet koder for når genet er aktivt) og kopiere dette til DNA som kan sekvenseres. Slike gensekvenser kalles EST



Figur 3

(uttrykte sekvensbiter), og representerer til sammen en samling av alle organsimens aktive gener på prøvetidspunktet. Dette kalles et genbibliotek.

Ved å sekvensere mange EST-er vil man få en oversikt over hvilke gener som er aktive ved de betingelsene biblioteket er laget fra, for eksempel utviklingsstadier i lusens liv, organ, eller vevstype. Avhengig av genaktivitet og hvor mange EST-er man sekvenserer, kan man på denne måten identifisere mange av de uttrykte genene. Fra lakselus er det laget flere genbiblioteker, over 5000 EST-er er rensert og ca 3 400 av disse er sekvensert. Indikasjon om funksjon til genene som de sekvenserte EST-ene representerer kan man få ved å sammenligne med gener fra andre organismer der funksjonen er kjent (datasøk i Genbank). Resultater viser at over 45 % av EST-ene fra lakselus ikke har signifikant treff i Genbank, noe som indikerer at disse genene er "nye" i forhold til informasjon som allerede finnes i tilgjengelige databaser. Videre analyser av EST-ene fra lakselus tyder på at de representerer omtrent 1 500 ulike gener, altså inntil 10 % av lakselusens aktive gener.

En samling av EST-er kan benyttes til flere formål. Man kan for eksempel, basert på Genbanks foreslåtte funksjon for et identifisert gen, studere disse prosessene i lakselusen og få bekreftet eller avkreftet om genet er involvert i denne prosessen. Havforskningsinstituttet har på denne måten påvist og detaljstudert en rekke lakselusgener, involvert i både fordøyelse og reproduksjon.

Indikasjon om funksjon til gener i slike samlinger av EST-er kan også fåes ved at EST-ers grad av uttrykking sammenlignes i to ulike prøver, for eksempel to ulike utviklingsstadier av lusens. Ved hjelp av mikromatriseteknologi kan uttrykingsgraden til alle EST-ene analyseres samtidig. Man kan da også få indikasjon om funksjon til de EST-ene som ikke gir signifikant treff i Genbank, og som da potensielt vil være "nye" gener.

#### **MED MIKROMATRISER KAN TUSENVIS AV GENER ANALYSERES SAMTIDIG**

Mikromatriser inneholder tusenvis av mikroskopiske flekker som hver tilsvarer DNA-sekvensen til en enkelt EST

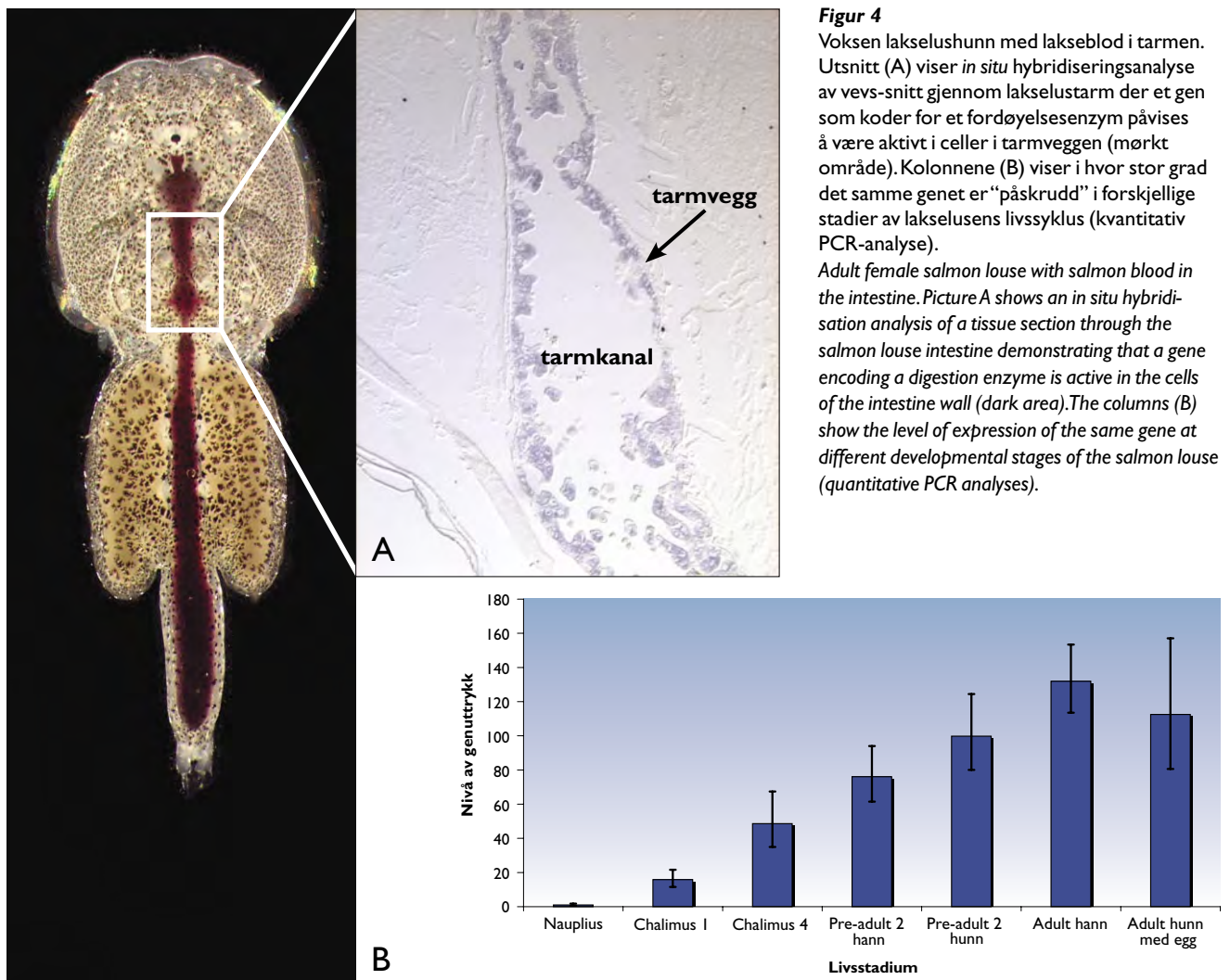
eller et enkelt gen. Disse brukes til å analysere hvilke av genene på mikromatrisen som er ulikt "påskrudd" i to ulike biologiske prøver, f.eks. ulike stadier av lakselus. Ved Havforskningsinstituttet etableres nå mikromatriseteknologi på lakselus i samarbeid med FUGE-plattformen til Det Norske Mikroarraykonsortium. I et prosjekt finansiert av Norges forskningsråd brukes mikromatriser blant annet til å identifisere om noen av genene i EST-samlingen er involvert i de strukturelle endringer voksne lakselushunner gjennomgår for å kunne produsere egg.

#### GENJAKT VIA AVL OG MUTANTE LAKSELUS

Som beskrevet tidligere kan gener isoleres "blindt" ved å sekvensere tilfeldige kloner i et genbibliotek. Å få karakterisert alle aktive gener i en organisme på denne måten er imidlertid svært ressurskrevende, og de fleste slike EST-samlinger representerer derfor bare en liten andel av organismens gener. Jakten på genfunksjon basert på slike klonsamlinger, f.eks. ved mikromatriser, vil derfor bare kunne indikere funksjon til de gener som faktisk er i samlingen. Det er derfor viktig å søke etter gener og genfunksjon på alternative måter. Funksjonen til gener er i mange tilfeller påvist ved identifikasjon av et ødelagt (mutert) gen i individer med endret egenskap (fenotype) i den prosessen man studerer, f.eks. skyldes arvelige sykdommer muterte gener.

Mutasjoner forekommer naturlig i alle organismer, men er vanskelig å oppdage i naturlige populasjoner. Dersom man lager innavlede linjer av en aktuell organisme i laboratoriet, er sjansen til å oppdage slike mutanter langt større. Mutasjoner som gir en synlig defekt i en biologisk prosess kan være en veiviser til gener som styrer denne prosessen, helt uavhengig av genbibliotek, EST-er og storskala DNA-sekvensering. Ved Havforskningsinstituttet har vi etablert flere innavlede linjer av lakselus, og i denne sammenhengen har vi oppdaget flere slike spontane mutasjoner som gir opphav til avvikende fenotyper.

Spontane mutasjoner er imidlertid sjeldne selv i innavlede familier, og det er svært tidkrevende å identifisere hvilke gener som er defekte. Ved å benytte moderne genteknologiske metoder kan imidlertid gener muteres med høy frekvens og på en måte som i tillegg gjør det relativt enkelt å identifisere de muterte gener. Via tildeling fra Forskningsrådets FUGE-program skal Havforskningsinstituttets forskningsgruppe for genomforskning, i samarbeid med SARS-senteret i Bergen, nå starte et prosjekt der det skal lages muterte lakselus og identifisere muterte gener i individer med "interessante" fenotypavvik. Metoden som skal benyttes baserer seg på tilfeldig innsetting av en DNA-bit med kjent sekvens. Dersom denne DNA-biten blir satt inn i et gen, vil funksjonen til genet





**Figur 5**

En normal lakselus og en lus med strukturelt avvik (deformert gonadekompleks). Slike avvik kan skyldes et defekt gen og "vise vei" i jakten på gener involvert i viktige biologiske prosesser.

*A normal salmon louse and a louse with structural abnormalities (deformed gonad-complex). Such defects can be due to gene defects and "show the way" in the identification of genes involved in important biological processes.*

bli ødelagt samtidig som et gen i den innsatte DNAbiten blir aktiv, på samme tid og sted som det ødelagte genet ville ha vært aktiv. Da vil man få et signal (fluorescens) som sier at dette individet er mutert.

Lakselusene er gjennomskiktig også i voksne stadier og vi kan relativt enkelt se hvor i dyret og når i livssyklusen det muterte genet er aktivt. Ved å spesifikt avle på muterte individer kan man få frem homozygote individer for den aktuelle mutasjonen (termen homozygot mutant forteller at genet er ødelagt i kopien fra både mor og far). Selv om man kan ha fenotypiske avvik når en mutasjon opptrer i heterozygot tilstand (termen heterozygot mutant betyr at genet er ødelagt i en av kopiene, enten den fra mor eller den fra far), vil totaleffekten generelt først komme klart frem når den opptrer som homozygot. Siden sekvensen til DNA-biten som er innsatt er kjent, fungerer den som en merkelapp (markør), og det mutete genet kan relativt enkelt identifiseres i individer med en interessant fenotype (f.eks at mutasjonen i homozygot form er dødelig). Når genet er identifisert må man få bekreftet at gendefekten

og fenotypen hører sammen. Dette kan gjøres ved å "skru av" det samme genet i en normal lus og observere hva som skjer.

#### **HVORDAN "SKRU" AV ET GEN I EN LEVENDE LAKSELUS**

RNA-interferens er en relativt nyoppdaget biologisk prosess som er funnet i ulike organismer, fra mark til menneske. Trolig er RNA-interferens en evolusjonsmessig "gammel" form for immunrespons mot virusangrep. Dersom en celle "oppdager" dobbeltrådig RNA, noe som i naturen primært skjer ved virusinfeksjon, angriper RNA-interferens systemet denne RNA-en. Deretter vil systemet gjenkjenne og angripe all RNA i cellen som har lik sekvens. Genet blir altså "skrudd av" ved at utelukkende dette genets mRNA ødelegges.

I moderne genteknologi kan vi nå lage dobbeltrådig RNA, injisere dette i celler og dermed skru av et av cellens egne gener. I høyerestående organismer fungerer, av ulike grunner, dette kun på tidlig embryostadiet eller i cellekulturer. I en del laverestående dyr, blant annet malariamykk, fungerer RNA-interferens på hele den levende voksne organismen ved en enkelt injeksjon av RNA. I disse organismene kan man derfor skru av et gen, observere konsekvensen av at dette skjer, og på denne måten finne genets funksjon. Denne metoden skal nå etableres på lakselus, i samarbeid med EMBL i Heidelberg, som har etablert denne teknikken på malariamykk. Det er ingen åpenbare grunner til at RNA-interferens ikke skal fungere minst like bra i lakselus som i malariamykk.

Med etablert RNA-interferens på lakselus kan vi relativt enkelt få indikasjon om funksjonen til lakselusgener. Teknikken tenkes brukt på gener som er funnet interessante via EST-sekvensering/Genbank søk, mikromatrisestudier eller funn i mutante lakselus. Dette er en effektiv måte å evaluere en stor mengde genprodukter/prosesser som eventuelt kan angripes via vaksinasjon. Dersom det å "skru av" et gen hemmer og kanskje dreper lusen, vil en effektiv blokkering av det samme genets genprodukt (det aktive proteinet), for eksempel ved vaksinasjon, resultere i det samme.

Kliniske vaksinasjonsforsøk vil derfor primært bli gjort med proteiner der forsøk indikerer at proteinet er essensielt for en biologisk prosess i lusen som potensielt kan blokkeres ved vaksinasjon, for eksempel i fordøyelse og/eller reproduksjon. Veien frem til en effektiv vaksine avhenger derfor av hvor mange gener som må testes før man finner gener som koder for slike nøkkelproteiner og i tillegg lar seg produsere som vaksine. Løsningen ligger der et sted, i genene.

# Kapittel 5

Tema: Framtidsvyer





## 5.1 Miljøstatus for norsk havbruk

Marius Dalen og Marius Holm, Miljøstiftelsen Bellona

**Store framskritt for havbruksnæringens miljøtilstand har gått folk hus forbi, og myter og misforståelser preger opinionens bilde. Bellona avliver mytene, men må slå fast at norsk fiskeoppdrett ikke har den største miljøutfordringen under kontroll: Rømningstallene er fortsatt svært høye.**

Konkurser, strukturendringer og nedskjæringer har preget stemningen i næringen de siste to årene, og fokus har mer vært rettet mot å overleve enn på miljøspørsmål. Etter et par magre år for norsk havbruk, kan vi nå se tegn til stabilisering og konsolidering av en ung industri. Aktører kan gjøre opp finansiell status, og rette blikket framover. Parallelt med denne tøffe prosessen blant næringens utøvere, har Bellona gjort opp status på miljøsidan. Arbeidet har pågått over flere år, og resulterte i rapporten "Miljøstatus for norsk havbruk", som ble lansert sommeren 2003. Vår ambisjon har vært å skape et nøkternt, vitenskapelig basert faktagrunnlag, i en form som er tilgjengelig for både beslutningstakere og andre interessenter.

I denne prosessen har vi involvert en rekke sentrale fagmiljøer for å kvalitetssikre våre vurderinger. Ikke minst har næringen selv vært imøtekommende, og mange aktører har vist engasjement og vilje til miljømessige forbedringer. Det skal med andre ord ikke stå på viljen. Hvordan står det da til med evnen? Hvordan er miljøtilstanden i norsk havbruk ved utgangen av 2003? Vi ønsker med denne artikkelen å oppsummere hvordan Bellona vurderer havbruksnæringen, med hensyn til ressursbruk, forurensning og påvirkning av biologisk mangfold.

### LAKSEN RØMMER SOM ALDRI FØR

I 2002 ble det registrert over 600 000 rømte oppdrettslaks fra norske anlegg. Dette var nærmest en dobling fra året før. Foreløpige tall for 2003 er også urovekkende, med hele 350 000 rømlinger før utgangen av oktober. Det synes nå forholdsvis klart at rømlingene hybridiserer med villaks, og at avkommet fra slik hybridisering er dårligere tilpasset livet i elva, med lavere overlevelseshastighet enn sine ville fettere og kusiner. For svake bestander kan en slik svekkelse være kritisk, ved at den blir svært sårbar både for naturlige og menneskeskapte påkjenninger.

Tidligere kunne man høre lakseoppdrettere avfeie problemet med at oppdrettslaks på rømmen var et bidrag til økte laksebestander i elven. Dette er det nå lenge siden vi har hørt. Oppdrettsnæringen erkjenner at rømt laks er til skade for villaksbestandene, og fokuserer nå på hvordan problemet

best kan løses. Det er nærliggende å beskytte villaksen ved å verne viktige leveområder i form av oppdrettsfrie soner. I en viss utstrekning er et slikt vern etablert gjennom opprettelsen av nasjonale laksefjorder. Under den politiske behandlingen av laksefjordene hevdet oppdrettsnæringen at tiltak for å redusere omfanget av rømning på hvert enkelt anlegg ville gi villaksen en bedre beskyttelse enn oppdrettsfrie soner. Siden verneomfanget i nasjonale laksefjorder er dramatisk mindre enn det faginstansene anbefalte, er det absolutt nødvendig at rømningstallene reduseres.

Fiskeridirektoratets statistikk viser at anleggssvikt, propellskader og håndtering av fisk står for storparten av rømningstilfellene. Dette er årsaksforhold som oppdretterne har kontroll over, og som det dermed bør være teknisk mulig å gjøre noe med. Problemet er at oppdretterne åpenbart ikke har tilstrekkelige incentiver til å forebygge rømning. Selv om enkelte rømningstilfeller etter politianmeldelse fra Bellona og Fiskeridirektoratet har endt i strafferettslige reaksjoner, er risikoen for straff såvidt liten at den ikke kan forsvare store ekstra investeringer og kostnader til sikring mot rømning. En ny teknisk standard for flytende oppdrettsanlegg er nå vedtatt. Den vil forhåpentligvis resultere i at de tekniske løsningene blir bedre tilpasset lokale belastninger, men for det første vil resultatene ikke komme før om lang tid, og for det andre vil de avhenge av gode rutiner for kontroll og sanksjoner. Det er derfor naivt å tro at den tekniske standarden vil eliminere rømningproblemet. Bellona mener at omfanget av oppdrettsfrie soner må økes, dersom man ikke snarest lykkes med å begrense rømningstallene.

### LAKSELUSA – TO ONDER I ETT

Bekjempningen av lakselus med legemidler har vist seg såvidt effektiv at oppdretterne stort sett klarer å holde lusa under kontroll. Problemfritt blir det likevel ikke. For det første er antall oppdrettsfisk så stort at selv svært få lus per fisk i merdene fører til at villaksen på sin veg til havet må passere et stort antall lus. For det andre er bekjempningen av lus i seg selv problematisk. Bellona har gjennomgått den tilgjengelige miljødokumentasjonen for de vanligste legemidlene. Stoffene brytes langsomt ned, men er dog nedbrytbare. De er giftige for flere arter, men den toksiske effekten er forholdsvis lokalt avgrenset. Bellona mener bruken av slike legemidler er uheldig, men for øyeblikket dessverre nødvendig for å holde spredningen av lakselus lavest mulig. Bruken av slike legemidler bør på kort sikt reduseres ved å kombinere legemidler med for eksempel leppefisk. Det langsiktige målet for havbruksnæringen må være at forbruket nærmest elimineres.

### LAKSEOPPDRETT IKKE RESSURSSLØSING

Spørsmålet om hvorvidt fiskeoppdrett gir effektiv ressursutnyttelse, er gjenstand for en viss debatt. Særlig har bruken av fiskemel og fiskeolje vært i fokus. Det er blitt hevdet at lakseoppdrett er å betrakte som matdestruksjon, snarere enn matproduksjon, all den tid det går med 4–5 kg villfisk til produksjonen av ett kg oppdrettslaks. Her må man for det første slå fast at forholdstallet har endret seg i den senere tid. Laksefôr inneholder en økende andel vegetabiliske råvarer, som raps, soya og mais, slik at det riktige tallet ofte ligger nærmere 2–3 kg villfisk per kg laks. Samtidig kan vi konstatere at fiskeråstoff også benyttes i fôr til landdyr, som gris og kylling. Dermed konkurrer landbruk og havbruk om de samme råvarene i verdensmarkedet, noe som gjør det relevant å sammenligne ulike husdyr med hensyn til fôrutnyttelse. Siden laks utnytter både energi og protein i fôret langt mer effektivt enn andre husdyr, er lakseoppdrett relativt effektivt ressursbruk.

Dersom lakseoppdrett skal kunne kalles bærekraftig, er det et viktig kriterium at ressursene som brukes til fôr er høstet på bærekraftig vis. På verdensbasis er de fiskebestandene som inngår i fiskefôr per i dag fullt utnyttet, og det finnes ikke rom for økt beskatning. En eventuell global produksjonsvekst i fiskeoppdrett må derfor være basert på andre forklarer enn fiskeolje og fiskemel.

### OPPHEV MYTER OM FORURENSNING

Det er blitt hevdet at et stort oppdrettsanlegg tilfører fjorden like mye forurensning som en by med 10 000 innbyggere, i form av ekskrementer og fôrspill. Her er det etter Bellonas oppfatning behov for refleksjon omkring hva vi legger i begrepet forurensning. En nærliggende definisjon i denne sammenhengen er at forurensning er utslipp som forårsaker redusert miljøkvalitet i resipienten. Nedbrytning av organisk

materiale som tilføres vannmassene fra fiskeoppdrett kan føre til oksygenmangel i fjordmiljøet. Utslipp av nærings-salter forsterker dette, ved at biomasseproduksjonen i vannet gjødsles.

Endret miljøkvalitet i vannet kan ha stor effekt på biologisk mangfold. Men slike lokalt skadelige effekter gjør seg først gjeldende når lokalitetens bæreevne overskrides. For en del år siden var dette tilfelle for mange oppdrettsanlegg i Norge. I dag, derimot, ligger anleggene med få unntak på dype lokaliteter med god vannutskiftning, og problemet med overbelastning av fjordområder er minimalt. Dermed faller utslippene av organisk materiale og nærings-salter fra fiskeoppdrett i hovedsak utenfor Bellonas definisjon av forurensning. Likevel, dersom framtidig vekst i produksjonen fører til mer intensiv bruk av fjordarealene, bør man etablere et fast, obligatorisk system som sikrer at produksjonen er tilpasset bæreevnen.

### NYE ARTER GIR NYTRØBBEL

Selv om bruken av antibakterielle legemidler i lakseoppdrett nærmest er eliminert, er det grunn til å opprettholde fokus på denne problematikken. Oppdrett av torsk antas å vokse raskt i årene som kommer, og med nye arter vil man også få nye sykdomsproblemer. Siden torsken tilbringer hele livssyklusen i saltvann, vil man ikke ha naturlige barrierer mot smitte mellom generasjoner av fisk, slik man har for laks. Reduksjonen av antibiotikaforbruket i lakseoppdrett skyldes i stor grad bruken av gode vaksiner. Utviklingen av slike vaksiner er svært ressurskrevende, og tar lang tid. Dette gir i seg selv grunnlag for å “skynde seg langsomt” i satsingen på torskeoppdrett. I tillegg vet man lite om hvilke konsekvenser rømning vil ha på de lokale torskebestandene. Det man vet, er at torsken har en atferd som vil gjøre omfanget av rømning stort.

## 5.2 Utfordringer ved havbruk utaskjærs

Leif Magne Sunde og Arne Fredheim, SINTEF Fiskeri og havbruk AS

I en humoristisk betraktning over norsk lakseoppdretts barndom, er det sagt at det viktigste kriteriet for valg av lokalitet var at oppdretteren skulle kunne gå til anlegget og hjem til lunsj – “i tøfler”. Gradvis er oppdrettsanleggene flyttet fra beskyttede vik og poller til nye områder med bedre vannkvalitet og produksjonsbetingelser, men samtidig med den konsekvensen at de fysiske påkjenningene er blitt større for både fisk, folk og anlegg. Norge har siden begynnelsen av 1970-årene ledet an i utviklingen av en ny industri; sjøbasert oppdrett av laks. Det sjøbaserte oppdrettet har vært selve kjernen i det som har gjort den norske oppdrettsnæringen til det den er i dag. SINTEF Fiskeri og havbruk ønsker her å presentere noen tanker vedrørende status og utfordringer i arbeidet med å vinne nye og mer eksponerte arealer for framtidig havbruksaktivitet.

Økt press på kystsonen fra ulike interesser gjør at de tilgjengelige sjøarealer for oppdrett er i ferd med å begrenses. I enkelte regioner har hensyn til vern, fiskeri, transport, turisme, friluftsliv m.v., gitt begrensninger i tilgangen på beskyttede lokaliteter egnet for oppdrett av fisk.

### TRE VEIER TIL ØKT PRODUKSJONSKAPASITET

Med videre ekspansjon innen merdoppdrett av laks og regnbueørret, samt introduksjon av nye arter som torsk, kveite, blåskjell m.v., øker også behovet for produksjonsareal i sjø. For å kunne realisere videre vekst er det mulig å heve produksjonskapasiteten på tre måter: gjennom bedre utnyttelse av eksisterende arealer, samlokalisering/sonedoppdrett eller ved å ta i bruk nye, mer eksponerte områder – “gå utaskjærs”.

Oppdrett på mer eksponerte lokaliteter vil innebære et oppdrett som er mer utsatt for strøm, bølger og vind. Dette medfører nye utfordringer både av biologisk, teknologisk og økonomisk art. SINTEF Fiskeri og havbruk er i dag involvert i og arbeider med forskjellige prosjekter og aktiviteter, der målet er å utvikle grunnleggende kunnskap, teknologi og prosedyrer for hvordan nye og mer eksponerte lokaliteter kan tas i bruk til kultivering av marin biomasse.

### HVA ER EN EKSPONERT LOKALITET?

Dagens sjøbaserte oppdrett foregår i stor grad på det som betegnes som skjermmede lokaliteter; sjøområder som er i skjul bak holmer, øyer eller inne i fjorder – områder som er beskyttet mot større bølger og i stor grad strøm. Med eksponerte lokaliteter forstås lokaliteter som er relativt sterkt påvirket av miljøkrefter som strøm (styrke og retning), bølge

(høyde/retning/periode), vind (styrke/retning), is m.v. De mest ekstreme former for eksponering fremkommer i de tilfeller da flere former for påvirkning skjer samtidig, for eksempel på lokaliteter med høye bølger og sterk strøm.

En lokalitet vil ikke være enten skjermet eller eksponert. Derfor blir det riktiger å bruke begrepet eksponeringsgrad. Eksponeringsgraden vil måtte relatere seg til bruksområdet for lokaliteten, og generelt vil det være unaturlig å bruke samme eksponeringsbegrep for oppdrett av akvatiske organismer og fysiske installasjoner som for moloer og oljeplattformer. Det vil også være aktuelt å skille mellom eksponeringsgradering for forskjellige typer marine arter, da de respektive arters toleranse for ulike miljøparametere er varierende. Definisjon av eksponeringsgrad vil følgelig være forskjellig fra art til art. For eksempel vil laks – en aktiv, pelagisk art – ha større toleranse for strømhastighet sammenlignet med bunnlevende arter som kveite, og antas derfor å ha bedre biologiske forutsetninger for å oppdrettes under mer utsatte miljøbetingelser.

### VURDERING AV EKSPONERINGSGRAD

I forbindelse med arbeidet med å lage den nye tekniske standarden for krav til flytende oppdrettsanlegg, “NS9415 Flytende oppdrettsanlegg; Krav til utforming, dimensjonering, utførelse, installasjon og drift”, ble det definert et sett med lokalitetsklasser basert på strømhastighet og bølgehøyde på lokalitet. Klassene har fått betegnelsene liten, middels, stor, høy og svær eksponering. Alle lokaliteter som benyttes til oppdrett vil få en kode og en betegnelse avhengig av strømhastighet og bølgehøyde. I denne forbindelse oppfattes en lokalitet med en signifikant bølgehøyde på mer enn 1,0 [m] som å ha stor eksponering eller sterkere, og tilsvarende har en lokalitet med strømhastighet på mer enn 0,5 [m/s] stor eksponering.

Det er også naturlig å inkludere varighet av strøm og sjøtilstand når man vurderer graden av eksponering på en lokalitet, både i kort (døgn) og langt (år) perspektiv. Ikke minst vil dette være viktige vurderinger med tanke på drift og operasjon av en lokalitet. Her er det store variasjoner mellom Norge og f.eks. områdene i Middelhavet. I Norge vil en lokalitet med høy eksponering, eventuelt utaskjærs, normalt bety at det er mye dårlig vær hele året, noe som kan gi vanskelige driftsforhold. Samtidig kan man i Middelhavet ha virkelig sterke stormer, men disse opptrer bare i enkelte perioder av året og er av begrenset varighet, slik at det normalt er relativt enkelt å drifte en utaskjærs lokalitet.



Foto: Leif Magne Sunde, SINTEF Fiskeri og havbruk / SINTEF Fisheries and aquaculture

**Figur 1**  
Havbruksanlegg og oppdrettsfartøy i uvær.  
*Fish farm and service vessel in stormy weather.*

### UTVIKLINGSTREKK

Norsk lakseoppdrettsnæring karakteriseres historisk av stor dynamikk, både med hensyn til struktur og produksjonsmodeller. I den senere tid er sentralisering av slakteri og settefiskanlegg endringer som har påvirket produksjonskonseptene i sjø. Stadig større anlegg for å kunne øke produksjonen er tiltak for å redusere produksjonskostnadene og bedre konkurransevnen for norsk lakseproduksjon. En økning i gjennomsnittlig produksjon per årsverk fra 58 tonn i 1990 til 342 tonn i 2002, dokumenterer den effektiviseringen som skjer i sjøbasert matfiskoppdrett av laks (Kilde: Fiskeridirektoratet).

Endringer i reguleringssystemer fra det offentlige kan åpne for større produksjon på spesielt egnede lokaliteter. Det er indikasjoner på at mer eksponerte lokaliteter kan gi bedre produksjonsresultater. Mange oppdrettere ønsker å kunne bruke stadig dypere lokaliteter, med bedre vannutskiftning for å holde større biomasse per lokalitet. Biomasseproduksjon i størrelsesorden 5 000–10 000 tonn er av oppdrettselskaper angitt som realistiske produksjonsvolumer for framtidens anlegg. Mer eksponerte lokaliteter kan være nødvendig for å framskaffe areal for anlegg av denne størrelse. Det er følgelig en rekke forhold som medvirker til at oppdrett på mer eksponerte lokaliteter i stadig økende grad aktualiseres.

### UTFORDRINGER OG UTVIKLINGSOMRÅDER

De eksisterende tekniske løsninger tilfredsstillende i begrenset grad kravet til miljøbetingelser som framtidige eksponerte lokaliteter vil kreve (Figur 1). En realisering av vekstpotensialet krever videreutvikling av eksisterende konsepter, nyutvikling og behov for økt kompetanse på en rekke områder. For å etablere løsninger for mer eksponerte lokaliteter er det spesielt viktig å ha en helhetlig forståelse, da delkomponentene ikke kan betraktes som separate deler. Denne kompleksiteten stiller store krav til utviklingsarbeidet. Teknologiske utfordringer og utviklingsområder relatert til oppdrett på eksponerte områder er i vesentlig grad uavhengig av oppdrettsart. Med introduksjon av sertifiseringsordningen NYTEK for nye havbruksanlegg fra 1.1.2004, vil det også forventes en utvikling mot et større mangfold av løsninger, ettersom disse skal klassifiseres i henhold til de lokalitetene de skal anvendes på.

Flere typer anleggskonsepter for oppdrett av fisk på relativt eksponerte omgivelser er i dag i kommersiell bruk, samtidig som flere konsepter markedsføres som løsninger for utaskjærs oppdrett. Disse kan grovt deles inn følgende tre kategorier: stive konstruksjoner ( gjerne i stål), fleksible konstruksjoner ( gjerne i plastmateriale) og nedsenkbare konstruksjoner. Dette representerer tre forskjellige tilnær-

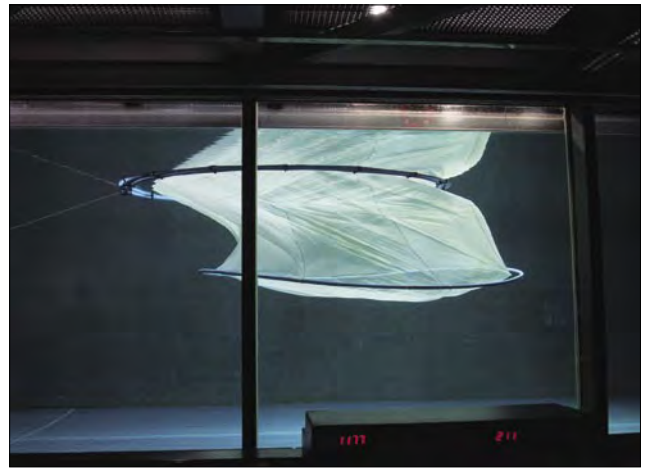
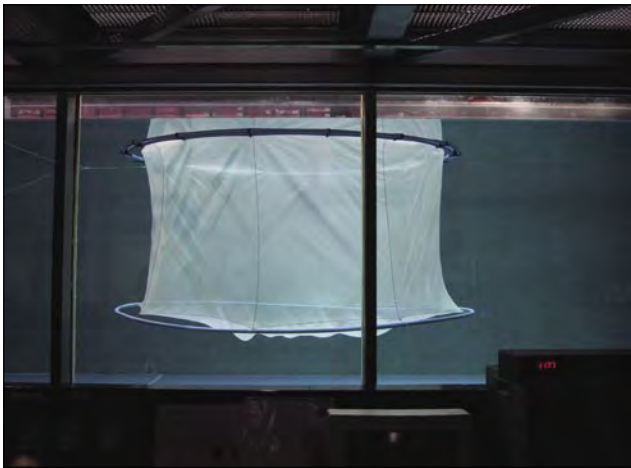


Foto: SINTEF Fiskeri og havbruk / SINTEF Fisheries and aquaculture

**Figur 2**

Modelltesting av merd med not under ulike strømbetingelser i sirkulasjonstank, Hirtshals, Danmark.

*Testing of net-pen model under different current regimes in flume-tank, Hirtshals, Denmark.*

mingler for å løse problemet med større miljøkrefter som oppstår når man tar i bruk sterkt eksponerte lokaliteter, henholdsvis å:

- bygge konstruksjonen så sterk og stiv at den motstår kreftene,
- bygge konstruksjonen fleksibel slik at den arbeider med bevegelsene fra bølger og strøm og dermed reduserer påkjenningene,
- fjerne konstruksjonen fra området med størst miljøkrefter ved å senke den under bølgesonen.

Utover å bygge en konstruksjon som tåler de økte påkjenningene, er den store utfordringen ved oppdrett på eksponerte

lokaliteter å opprettholde og gjøre tilgjengelig et effektivt volum i nøtene for fisken. Ved store strøm- og bølgepåkjenninger vil det oppstå spesielle utfordringer med å få nota til å "stå" i sjø. Denne problemstillingen vises tydelig i Figur 2, hvor en modell av en not er utsatt for sterk strøm i en sirkulasjonstank i Hirtshals, Danmark.

#### BEHOV FOR AUTOMATISERING OG FJERNSTYRING

Et annet kritisk moment for å lykkes med oppdrett utaskjærs, vil være muligheten for effektiv, sikker drift og operasjon av anleggene. Dette inkluderer tilsyn, føring, vedlikehold og marine operasjoner, slike som transport av fisk, fiskefôr,

**Tabell 1**

Utfordringer relatert til teknologiutvikling for eksponerte lokaliteter.

*Challenges related to fish farming technology for weather exposed sea areas.*

TEKNOLOGI	BESKRIVELSE/OPPGAVE	HOVEDUTFORDRING/KOMMENTAR
Flytekrage	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Holde notposen utspent</li> <li>• Fungere som feste for forankring</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Merdkonsepter som tåler høy eksponering og samtidig er kostnadssvarende</li> <li>• Rømmingsfare</li> <li>• Hjelpeløsninger som ivaretar arbeidsmiljø og sikkerhet for personell som skal betjene anlegg på eksponerte lokaliteter</li> </ul>
Not	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Holde fisken innenfor et begrenset område</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Nota er en av de innsatsfaktorene som p.t. sterkt begrenser muligheter til oppdrett på lokaliteter som er påvirket av sterk strøm</li> <li>• Opprettholdelse av et effektivt volum ved sterk strøm</li> <li>• Dimensjonering og konstruksjon av store nøter</li> </ul>
Marine operasjoner	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Transport av fisk, fiskefôr, utstyr og personell</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Løsninger som reduserer liggetid ved anlegg (lasting/lossing) og muliggjør operasjoner over store distanser</li> <li>• Løsninger for sikre anløp og unngå skade på fortøyning/not under vanskelige værforhold</li> </ul>
Fortøyning	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Holde merdanlegget i posisjon</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Løsninger for fortøyning på lokaliteter med varierende bunntopografi</li> </ul>

utstyr og personell. I en industriell produksjon er størst mulig grad av regularitet viktig, og med mer ekstreme miljøbetingelser vil det være nødvendig å kunne foreta marine operasjoner mest mulig uavhengig av de til enhver tid gjeldende miljøbetingelser.

Fartøyaneløp er risikabelt med hensyn til risiko for skade på både fortøyning, anlegg, mennesker og fisk. Spesielt utsatt er man for skader på not (som gir økt rømmingsrisiko). Konsekvensen vil bli at man må forutse flere dager da det av HMS-hensyn (helse, miljø og sikkerhet) er uaktuelt å være på eller legge til anlegg. Løsningen på dette vil være å utvikle automatiserte og fjernstyrte driftsløsninger for føring, overvåking og biomassekontroll. Sentrale utfordringer for teknologiutviklingen er sammenstilt i Tabell 1.

Det kan sannsynliggjøres at utvikling av avansert teknologi innen dette området også generelt vil frigjøre personell fra produksjon, slik at det blir mulig å øke mengden av fisk produsert per ansatt. Selv om en stadig større del av arbeidet vil bli foretatt ved hjelp av teknologi, vil menneskers tilstedeværelse og kontroll alltid være viktig i forbindelse med biologisk produksjon.

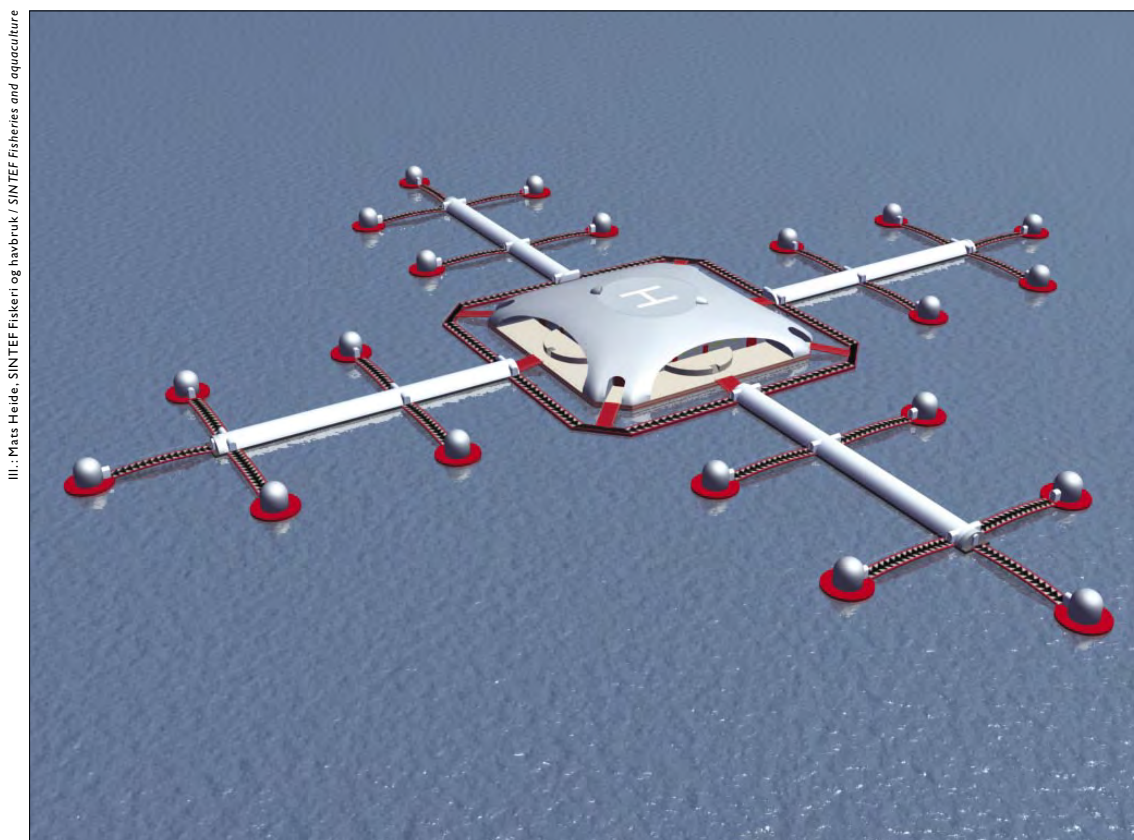
#### NYE MULIGHETER GJENNOM FRAMTIDENS TEKNOLOGI

Laks vil nok i overskuelig framtid være den arten som vil drive utviklingen framover når det gjelder å ta i bruk nye

områder. Samtidig vil dette kunne frigjøre areal for andre arter, som torsk, kveite og blåskjell, både gjennom oppdrett i overflaten, men også muligens gjennom nedsenkbare løsninger. Det er viktig å akseptere at det er artenes krav og toleranse som setter grenser for teknologien. I arbeidet med å utvikle teknologi for å sikre tilfredsstillende løsninger for oppdrett av de forskjellige artene på mer eksponerte lokaliteter, er det nødvendig også å fokusere på grenseområdet mellom teknologi og biologi.

Kontrollerbarhet er et nøkkelord for den videre teknologiutviklingen, og dagens kunnskapsnivå legger begrensninger for i hvilken grad det er mulig å anvende nedsenkede anlegg, bunnarealer osv. til rasjonell og storskala produksjon av akvatiske organismer. Forutsigbarhet er en av akvakulturens fordeler foran tradisjonell fangst/fiskeri. Å tilstrebe dette også ved utvikling av mer eksponerte områder for oppdrett, er en viktig ledetråd.

Havbruksaktiviteter vil i framtiden måtte forvente et stadig større kritisk fokus fra samfunnet (Figur 3). Det er derfor også viktig at man tar med seg andre verdier, som etikk og design, i arbeidet med å utvikle de neste generasjoners anlegg. En filosofi fundamentert på at vi kun "låner" sjøområder av storsamfunnet vil være den rette tilnærmingen. Økt bevisstgjøring er nødvendig for å få forankret denne tankegangen i hele havbruksnæringen.



Ill.: Mats Heide, SINTEF Fiskeri og havbruk / SINTEF Fisheries and aquaculture

**Figur 3**

Underveis mot framtidens merdanlegg? Illustrasjon fra det strategiske instituttprogrammet IntelliSTRUCT, finansiert av Norges forskningsråd *Towards next generation fish farm?* Illustration from the strategic institute program IntelliSTRUCT, supported by Norwegian research council.

## 5.3 Vannbehov og reguleringsmekanismer for norske settefiskanlegg

Sveinung Fivelstad, Høgskulen i Bergen  
 Yngve Ulgenes, SINTEF vann og miljø  
 Terje Jahnsen, Fiskeridirektoratet  
 Martin Binde, Kompetansesenteret for sjømat, Mattilsynet  
 Morten Lund, Åsen Settefisk AS  
 Erling Keiserås, Raumagruppen  
 Alf Albrigtsen, Fiskeridirektoratet, region Trøndelag

Denne artikkelen gjengir en del av kapittel 5 fra *Rapport fra utvalg for vurdering av alternativt avgrensningsform for settefiskanlegg*. Kapittelet omhandler et forslag til inndeling av settefiskanlegg i tre ulike kategorier. Utvalget ble nedsatt av Fiskeridirektøren våren 1999, på bakgrunn av en henvendelse fra Fiskeridepartementet. Alf Albrigtsen var leder for utvalget. Mandatet var å utrede fundamentet for § 6 og § 7 nr. 2 i *Forskrift om klekking av rogn og produksjon av settefisk* samt å foreslå en alternativt avgrensningsform.

### NEVNT PARAGRAFER LØD SOM FØLGER:

§ 6: Tillatelse etter denne forskrift kan gis for en produksjonskapasitet på inntil 2,5 million settefisk per år.

§ 7 nr. 2: Ved vurdering legges til grunn at nødvendig minimumsbehov for ferskvann vil være 1,5 m<sup>3</sup> vann/min for en produksjon av 100 000 stk. sjødyktig settefisk.

For en tid tilbake trådte det i kraft en ny settefiskforskrift. I stedet for en individbegrensning innførte man der en biomassegrense utregnet fra et behov på 0,3 L vann/kg/fisk/min, men med muligheter for reduserte krav ved dokumentasjon av tiltak som vannbehandling o.a. Nærmere kravspesifikasjoner og grenseverdier ble ikke gitt, men er noe man gjennom denne rapporten har sett nærmere på. Det gjøres oppmerksom på at den endelige anvendelsen av denne rapporten ikke blir tatt stilling til i denne artikkelen.

### VANNBEHOV OG RISIKO VED ULIKE ANLEGGSTYPER

I prinsippet har vi tre typer av anlegg :

- Enveis anlegg med oksygentilsetning
- Halvlukkede anlegg (med lufting, oksygenering og partikkelfjerning)
- Lukkede anlegg: (som B, men med biofilter i tillegg)

For alle anleggskategoriene gjelder det at de må ha en god kvalitet på det nye vannet (behandlet råvann som skal inn til fisken). Dette innebærer at pH-verdien skal være tilfredsstillende, vannet skal ikke ha forhøyet totalt gasstrykk (nitrogenovermetning), og det skal ikke inneholde konsentrasjoner av toksiske metaller (f.eks. aluminium eller jern) over grenseverdiene. Kategoriene A–C er grove inndelinger.

### TYPE A-ANLEGG

Vanngjennomstrømningen vil her være en av de viktigste begrensende faktorene. Oppdretteren forsøker å produsere mest mulig yngel og smolt per liter tilgjengelig vann. Yngelen og smolten er også blitt større de siste årene, og biomassen i anleggene har økt. I tillegg øker veksthastigheten ved oppvarming av vannet, og dermed øker også fiskens oksygenforbruk. I mange smoltanlegg blir derfor oksygen tilsatt innløpsvannet. Vanngjennomstrømningen (per kg fisk) kan derved reduseres, og produksjonskapasiteten øker.

Det spesifikke vannbehovet kan beskrives med følgende formel:

$$(1) \quad q_0 = \frac{M}{DO_{inn} - DO_{ut}}$$

der  $q_0$  er det spesifikke vannbehovet (L/kg/min),  $M$  er oksygenforbruket (mg/kg/min) og  $DO_{inn}$  and  $DO_{ut}$  er henholdsvis oksygenkonsentrasjonen i innløpsvannet (mg/L) og avløpsvannet (mg/L). Denne formelen kan også skrives som:

$$(2) \quad q_0 = \frac{M}{d}$$

der  $d$  er differansen mellom innløp og avløp ( $DO_{inn} - DO_{ut}$ ).

Risikoen for negative effekter på fisken øker med økende  $d$ -verdi. Konsentrasjonen av karbondioksid øker proporsjonalt med økende  $d$ -verdi, og pH-reduksjonen i vannet øker også med økende  $d$ -verdi. Denne differansen ( $d$ ) uttrykker forholdet mellom oksygenforbruket og det spesifikke vannforbruket:

$$(3) \quad d = \frac{M}{q_0}$$

Differansen gir et godt uttrykk for produksjonsintensiteten i anlegget. En kan redusere  $q_0$  når oksygenforbruket minker og dermed bruke en konstant verdi for differansen  $d$ . Reduksjonen i vannmengde fører til økning i karbondioksid, reduksjon i pH og økning i total ammonium-nitrogen.

Reduksjonen i pH samt økningen i karbondioksidinnholdet og total mengde ammonium-nitrogen, er proporsjonal med denne differansen. Reduksjonen i pH er ellers avhengig av vannets bufferkapasitet. Det spesifikke vannforbruket vil bare være et godt mål dersom oksygenforbruket er konstant.

Differansen  $d$  i oksygeninnhold mellom innløp og avløp ble sett på som et viktig mål for produksjonsintensiteten. **Grensen for  $d$ -verdien kan foreløpig settes til 10 (mg/L).** Når  $d$ -verdien er 10 mg/L og fiskens oksygenforbruk er 3 mg/kg/min, er det spesifikke vannbehovet 0,3 L/kg/min. Dette er for eksempel for lite vann i en startføringsavdeling med en vanntemperatur på 15–16 °C, mens det er mye vann for stor smolt holdt ved lav vanntemperatur. Når en opererer med et vannkrav på 0,3 L/kg/min, er dette et estimat som skal sikre nok vanntilgang i intensive perioder, bl.a. om høsten når biomassen er høy samtidig som vanntemperaturen er høy. Fiskens oksygenforbruk vil da lett komme opp i 3 mg/kg/min.

Generelt er  $d$ -verdien et bedre mål på produksjonsintensiteten enn vanngjennomstrømning som sådan. Dersom disse relasjonene skal brukes, er kravene at oppdretter måler oksy-

geninnhold i innløpsvannet (daglig), avløpsvannet (daglig) og vanngjennomstrømningen (en gang i uken i hvert basseng). Tabell 1 angir aktuelle måleparametere i A-anlegg.

#### TYPE B-ANLEGG

Det karakteristiske ved B-anleggene er at det i tillegg til oksygenering av innløpsvannet er innført utlufting av karbondioksid og partikkelfjerning. Det betyr at  $d$ -verdien beskrevet under type A-anlegg ikke lenger kan brukes til å beregne konsentrasjonen av karbondioksid. Det kan være mulig å luften ut 50 % av mengde utskilt karbondioksid.

Dette kan føre til en reduksjon i vannmengden fra 0,3 L/kg/min til 0,15 L/kg/min. Her må virkningsgraden til systemet undersøkes nøye, og det blir større behov for å måle konsentrasjonen av karbondioksid. Dette vil også gjelde for suspendert materiale.

Ellers er det langt på vei de samme vannkvalitetsparametrene som gjør seg gjeldende for type B- som for type A-anlegg. Det spesifikke for anleggene er måling av karbondioksid og suspendert materiale. Det kan være mulig å gå lavere ned enn 0,15 L/kg/min nytt vann i slike anlegg, men risikoen vil være økende.

#### TYPE C-ANLEGG

Ved SINTEF har man i mange år arbeidet med resirkuleringsystemer for oppdrett av laksefisk, spesielt settefisk.

**Tabell 1**

Aktuelle måleparametere ved internkontroll i type A- og B-anlegg.  
Parameters to measure as part of internal control of type A and B smolt farm facilities.

PARAMETER	VERDI	KOMPETANSE-NIVÅ	FREKVENNS
Vannforbruk <sup>1</sup>	A: 0,3 L/kg/min B: 0,15 L/kg/min	3 2	Ukentlig Ukentlig
pH	6,2–6,8	2	Daglig
Oksygenmetning	> 80 < 120 %	3	Daglig
O <sub>2</sub> : Innløp – Avløp	A: < 10 mg/L B: ingen grenseverdi	3	Daglig
O <sub>2</sub> – innløp	> 90 %	3	Daglig
O <sub>2</sub> – avløp	> 80 %	3	Daglig
Oksygen i kar	> 80 %	3	Daglig
Karbondioksid <sup>2</sup>	< 15 mg/L	1	Ukentlig
Suspendert materiale	B: ≤ 10 mg/L	1	Månedlig
Aluminium (labilt)	< 5 µg/L	1	Etter behov
Al på gjeller	≤ 30 µg/g-gjelle	1	V/behov/salg

Fotnoter.

Kompetansenivå lik 1 vurderes som krevende. <sup>1</sup>Det gjøres oppmerksom på at et vannforbruk på 0,3 L/kg/min ikke er tilstrekkelig i en startføringsavdeling med liten yngel eksponert for vanntemperaturer på 15–16 °C. <sup>2</sup>Karbondioksidkonsentrasjon på 15 mg/L kan ha subletale effekter på fisken. Det er heller ikke her tatt hensyn til at karbondioksid har forskjellig partialtrykk ved forskjellige temperaturer, og at karbondioksid kan ha forskjellig toksisitet for ulike livsstadier og ved forskjellige temperaturer. Videre forskning er her nødvendig for å komme med mer detaljerte forslag.



Dette er forenklete systemer som bør ha et stort potensial for anvendelse i Norge, der man tradisjonelt har hatt en meget avventende holdning til resirkulering. Med bruk av slike systemer mener vi det vil være mulig å øke den norske settefiskproduksjonen betydelig, basert på de vannressurser som allerede er utbygd. Samtidig vil bruk av ny teknologi sammen med alternative strategier for produksjon, leveransetidspunkt for settefisk m.m. kunne åpne for store muligheter innen næringen.

Vi har i dette notatet ikke gitt noen beskrivelse av teknologi eller viktige prinsipper for resirkulering; bare en meget kortfattet gjennomgang av noen viktige begreper knyttet til resirkulering av vann ved oppdrett av laksefisk. Som fagområde er resirkulering meget omfattende. Det som er gjengitt her, er utelukkende knyttet til vannforbruk og krav til målinger/registreringer.

### UTFORMING AV SYSTEMER FOR NORSKE FORHOLD

Mange resirkuleringssystemer som markedsføres internasjonalt er utformet med tanke på å minimalisere vannforbruket i produksjonen. Dette kan være begrunnet på flere måter:

- liten vanntilgang
- krav til høy temperatur
- strenge krav til utslipp
- desinfeksjon av inntaksvann eller avløpsvann

I Norge er som regel tilgangen på vann betydelig bedre enn i andre deler av verden. Minimalisering av vannforbruket er derfor ikke et hovedmotiv. Ved kun å legge vekt på et redusert vannforbruk, kan man utforme enkle oppdrettssystemer – noe som også gir en enklere drift og mindre risiko ved bruk av resirkulering. Med “vannforbruk” menes i denne sammenhengen tilførsel av “nytt vann” til systemet.

Hvis man angir vannforbruket i et gjennomstrømningssystem til 100 %, kan man ved forenklet resirkulering redusere vannbehovet til 5–10 %, mens man i mer intensive systemer kan redusere vannforbruket ned i området 0,1–1 %, sammenlignet med gjennomstrømning. Ved resirkulering menes her systemer som minst inkluderer ammoniumfjerning i biofilter som en del av vannbehandlingen. Ved det lavest angitte vannforbruket (intensive systemer), vil det sannsynligvis også være behov for fjerning av nitrat (denitrifikasjon).

Generelt kan vi hevde at graden av kompleksitet i systemene er omvendt proporsjonal med vannforbruket, dvs. at intensive systemer med meget lavt vannforbruk er til dels meget komplekse. De intensive systemene er dessuten ofte utviklet for arter som tåler “dårligere” vann enn laksefisk, men som krever relativt høy temperatur (15–25 °C).

Det er i grunnen ingen nedre grense for vannforbruk i et resirkuleringssystem, hvis vi ser bort fra fordamping. Det kommer bare an på hvor mye vannbehandling som inkluderes i prosessen.

Man kan eksempelvis ta utgangspunkt i vannets oppholdstid i systemet, dvs. hvor lang tid det tar å fylle det totale volumet i anlegget med “nytt vann”. Det er en viktig faktor for å bestemme dimensjoneringen og graden av vannbehandling ved resirkulering.

Ved å sammenligne teoretisk oppholdstid i noen vanlige systemer kan dette angis som følger:

- Gjennomstrømning : 1–2 timer (maksimum anbefalt oppholdstid ca. 1,5 time for å oppnå god selvrensing)
- Enkel resirkulering med kun lufting: 1,5–4 timer
- Forenklet resirkulering med biofilter: 12–24 timer
- Intensive resirkuleringssystemer: > 10 døgn

**Tabell 2**

Aktuelle måleparametere ved internkontroll i et type C-anlegg.  
Parameters to measure as part of internal control of type C smolt farm facilities.

PARAMETER	HYPPIGHET	METODE	ANBEFALT VERDI
Oksygen	Daglig, ev. logges	Elektrode	> 80 %
Temperatur	Daglig, ev. logges	Elektrode	> 5 °C <sup>1)</sup>
pH	3 ggr. per uke	Elektrode	> 6,5 <sup>2)</sup>
Nitritt (NO <sub>2</sub> -N)	1 gg. per uke	Vannprøve (analyse eksternt ?)	< 0,1 mg/L (ferskvann) < 0,5 mg/L (sjøvann)
Ammonium (TAN)	1 gg. per uke	Vannprøve (analyse eksternt ?)	< 1 - 2 mg /L <sup>3)</sup>
Suspendert stoff (SS)	1 gg. per uke	Vannprøve (analyse eksternt ?)	< 10 mg/L <sup>4)</sup>

#### Fotnoter

<sup>1)</sup> Bør være minst 7–10 °C ved oppstart (uten fisk).

<sup>2)</sup> Kan tolerere ned mot 6,3 (nitrifikasjonen påvirkes negativt ved lav pH).

<sup>3)</sup> Hvis nitrifikasjonen går normalt, bør man ligge i dette området.

<sup>4)</sup> Usikker verdi – ved høyere innhold av SS kan dette indikere forspill, ev. dårlig selvrens.

Dette er bare en meget grov inndeling av systemene. Det finnes flere anleggstyper som står i en mellomstilling mellom forenklet resirkulering og intensive systemer.

I et system som er bygget for resirkulering, vil vannforbruket ofte være konstant og uavhengig av hvor mye fisk som er i anlegget. I forenklet resirkulering er dette slik. Det vil i praksis si at dersom anlegget er i drift, vil det være et forutbestemt vannforbruk basert på systemets utforming og dimensjonering slik at det spesifikke vannforbruket basert på biomasse vil variere med fisketettheten (biomasse per m<sup>3</sup>).

Resultater og erfaringer fra forsøk med resirkuleringssystemer tilsier at man med denne formen for resirkulering kan oppnå et spesifikt vannforbruk ned mot 0,01 L/min/kg fisk (fiskevekt 100–200 g). Våre anbefalinger med hensyn til nedre spesifikke vannforbruk er 0,02–0,04 L/min/kg for fisk i størrelsesorden 100–200 g, temperatur 10–12 °C. For mindre fisk vil sannsynligvis kravet til spesifikt vannforbruk bli litt høyere (0,05 L/min/kg).

For å oppnå dette nivået i vannforbruk er det forutsatt at systemet både er riktig utformet med hensyn til hydrauliske forhold og at det anvendes riktig. I tillegg forutsettes det at kvaliteten av fôret er god, og at det er lite førstøv.

### **KRAV TIL REGISTRERINGER OG MÅLINGER VED BRUK AV RESIRKULERING**

Ved oppstart av et resirkuleringsanlegg vil man få en periode med forhøyet innhold av nitritt i vannet. Dette skyldes at bakteriell omsetning av ammonium til nitrat (nitrifikasjon) er en to-trinnsprosess. Nitritt som er produktet fra første trinn, er substrat for 2. trinn i omsetningen. De to bakterietypene (*Nitrosomonas* og *Nitrobacter*) vokser relativt seint, og det tar ofte lang tid før man har en stabil nitrifikasjon i systemet. I nye anlegg kan det ta spesielt lang tid før en stabil nitrifikasjon er i gang, og dette skyldes som regel at det tar noe tid før bakteriene klarer å feste seg til vokseflatene i biofilteret.

Forhøyet nitritinnhold i vannet ved oppstart av nitrifikasjon er helt normalt. Nitritt er imidlertid giftig for fisk, og vi anbefaler derfor sterkt at man sørger for å ha en stabil nitrifikasjon i biofilteret *før* fisken settes inn i systemet. Når nitrifikasjonen først er kommet i gang, er denne prosessen relativt stabil og robust.

Når det gjelder målinger og registreringer, har vi satt opp dette i tabell 2. Med hensyn til hva som er nødvendig å måle i slike anlegg, vil man etter hvert som man får noe erfaring med driften av systemet, kunne lese mye av forandringer i vannets oksygeninnhold og pH samt utseendet på vannet i karet (mye/lite partikler).

## 5.4

## Diett etter eget ønske – ny strategi for ernæring av oppdrettsfisk

F.J. Sánchez-Vázquez, Department of Physiology, Faculty of Biology, University of Murcia

J.A. Madrid, Department of Physiology, Faculty of Biology, University of Murcia

D. Raubenheimer, School of Biological Sciences, University of Auckland

S.J. Simpson, Department of Zoology, University of Oxford

Fisk, i likhet med mange andre dyr, viser en bemerkelsesverdige “ernæringsvisdom” med hensyn til å velge sin egen, velbalanserte diett, sammensatt av føremner som hver for seg ikke gir tilstrekkelig næring. En uheldig komponert diett kan gi seg utslag i dårlig vekst og utvikling hos fisken, i tillegg til førspill. En geometrisk analyse av førpreferanser representerer et nytt og lovende konsept i dyreernæring. Den tar hensyn til vekselvirkninger mellom mekanismer som regulerer opptaket av ulike næringsstoffer. Prinsippet om å kunne velge før etter eget ønske fremstår som spesielt interessant i arbeidet med å sette sammen dietter for fisk i ulike fysiologiske stadier (vekst, reproduksjon), og i særlig grad mht. nye oppdrettsarter. Det siste er et felt der det foreløpig mangler mye kunnskap. Med et slikt redskap vil førindustrien raskt kunne skaffe seg en oversikt over hva fisk selv ønsker å spise hvis den får velge fritt.

I tradisjonelle studier av ernæring hos oppdrettsfisk går det med mye tid og krefter til å komponere en så gunstig diett som mulig. Det gjelder å finne en balanse mellom næringsemner som proteiner, lipider og karbohydrater, og å sørge for at fisken får dekket sitt behov for energi og essensielle aminosyrer, fettsyrer, vitaminer og mineraler. De fleste studier som er siktet inn mot å definere næringsbehovet for oppdrettsfisk har basert seg på undersøkelser der man tester én variabel av gangen, dvs. varierer nivået på én komponent, mens andre variabler blir holdt konstante. Slike testserier kan være praktisk talt endeløse. Årsaken er at man trenger å teste ut mange kombinasjoner, og ikke legger nok vekt på hvordan de ulike næringsemnene kan samvirke med hverandre. I tillegg er resultatene i klassiske ernæringsstudier gjerne basert på fiskens vekst og utvikling, mens de i liten grad bygger på fiskens respons i førings-situasjoner.

### UTSTYRSUTVIKLING

Etter den første lanseringen av selvføringsautomater, som fisken kunne håndtere når den ville bli belønnet med mat, ble et nytt “verktøyskrin” av metoder gjort tilgjengelig for å undersøke fiskens egne preferanser. Denne typen undersøkelser var fullt ut utviklet sent på 1990-tallet, da flere laboratorier verden over i utstrakt grad begynte å benytte selvføringsapparat for å kunne studere føringsatferd hos ulike fiskeslag.

Det finnes flere typer føringsanordninger som kan styres av fisken selv. De omfatter alt fra mekanisk pendelapparat, som er enkel i drift, men ofte har vist seg upålitelig og lite egnet, til høyt utviklede, datastyrte automater som raskt gjør

det mulig å justere mattilbudet etter endringer av både miljømessig (f.eks. lysforhold og temperatur) og biologisk karakter (f.eks. biomasseøkning og føringsrestriksjoner). Det eksisterer også ulike typer av utløsermekanismer (triggere), som fisken opererer for å kunne aktivere føringsautomaten og slik skaffe seg mat. De første utgavene bestod av en hengende stav, omgitt av en rigg som fungerte som en kontaktbryter. Senere ble det utviklet utløsere som ikke var basert på direkte kontakt med fisken, og der det var en magnetisk bryter eller en fotocelle som styrte føringsprosessen. Utløsere som nå brukes virker bare når fisken biter på dem, for å unngå tilfeldige kontakter forårsaket av vind eller bølger.

Til tross for det etter hvert betydelige antall vitenskapelige artikler som tar for seg ernæring hos fisk, er overraskende få viet bruken av selvføringsautomater som et ledd i å teste ut ernæringsmessige preferanser hos fisk. Da de begynte å komme, inneholdt enkelte av dem rapporter om “multiple choice experiments” (flervalgsekspesimenter), dvs. forsøk der oppdrettsfisk kunne velge blant før fra flere enn én selvføringsbeholder. Slike forsøk, som brukte nyutviklede teknikker basert på selvføringsautomater, kan sies å representere et landemerke i moderne fiskeernæringsstudier.

### “ERNÆRINGSVISDOM” HOS DYR

Dyrs evne til å velge mellom flere føremner for å velge en riktig sammensatt diett har vært undersøkt hos pattedyr helt siden pionerarbeidet til Richter o.a. i 1938. Han og hans medforfattere observerte at rotter tilbød opp til 17 næringsstoffer vokste normalt, sammenlignet med rotter som ble føret på ensidige dietter. Senere påviste andre forskere at rotter selv var i stand til å sette sammen en komplett og velbalansert diett når de fikk mulighet til å velge fritt mellom a) dietter med en eneste kilde til protein, fett og karbohydrater og b) dietter som inneholdt to hovednæringsstoffer i forskjellige kombinasjoner, eller dietter som inneholdt tre slike med ulike blandingsforhold. Det samme fenomenet har også vært observert hos mange oppdrettede dyr, som kyr, sauer eller fjærfe. Dette viser deres evne til å velge den best mulige dietten eller en kombinasjon av dietter for å skaffe seg alle nødvendige hoved- og mikronæringsstoffer.

Observasjonene beskrevet ovenfor viser tydelig hvordan dyr evner å vise ernæringsmessig visdom, noe som gjør dem i stand til å velge blant flere tilbudte føremner. Resultatet er at de “komponerer” en ernæringsmessig tilfredsstillende diett, bestående av næringsstoffer som hver for seg ville vært utilstrekkelig som før.

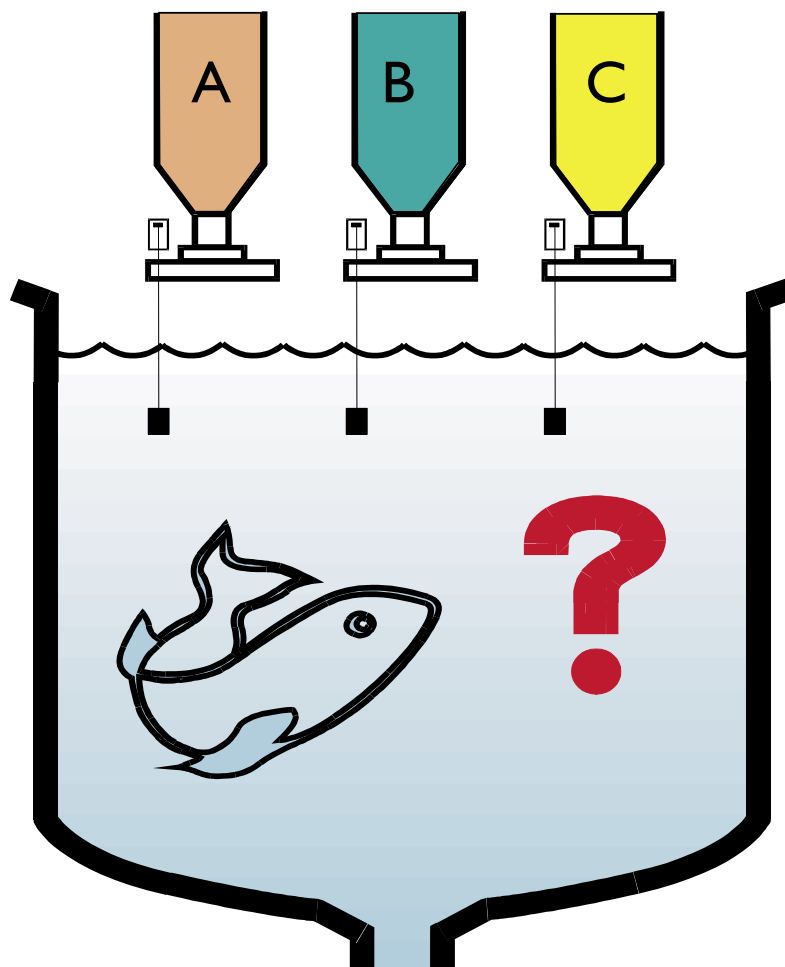
Den geometriske analysen av dyrs evne til å velge riktig kost representerer et nytt ståsted og et stort fremskritt i arbeidet med fiskeernæring, ved å fokusere på hvordan fisken selv aktivt reagerer på ernæringsmessige utfordringer. Dette “geometriske rammeverket” betrakter ernæring som et flerdimensjonalt fenomen og tilbyr teknologi som gjør det mulig å teste om og i tilfelle i hvilken grad fisken forsvarer et mål for opptaket av spesifikke næringsstoffer. Videre undersøkes hvordan fisk balanserer overspising av noen næringsstoffer opp mot det å spise for lite av andre, når de blir gitt en diett som ikke holder fullt mål, og endelig vurderes effektene av slike “balanserende tiltak” fra fiskens side på kroppsutvikling og føringseffektivitet.

Spørsmålet som nå reises er hvorvidt også fisk, på samme måte som virveldyr av høyere grad, vil vise en slik ernæringsmessig visdom, eller om de tvert om vil spise hva som helst de måtte komme over.

#### NÅR FISKEN SELV VELGER HOVEDNÆRINGSSTOFFER

Selvvalgt diett er en teknikk som allerede har bevist sin styrke når det gjelder landdyr. Med akvatiske dyr kan imidlertid denne teknikken, av åpenbare årsaker, ikke la seg overføre direkte: Fiskefôr kan ikke bli liggende igjen i vann over lengre tid. Derfor kunne det ikke satses på eksperimenter med fiske-diettpreferanser, inklusiv frivillig matsелеksjon, før det var blitt utviklet teknologi og metoder der fisken selv kunne skaffe seg mat etter behov. Et slikt “ad libitum” – etter behag – føringssystem må etter vårt syn vurderes som det ideelle verktøy for å kunne undersøke fôrpreferanser sett i forhold til fiskens ernæringsmessige behov.

Et videre skritt i uttestingen av fisks preferanser ble tatt ved at forsøksfisk fikk velge mellom tre hovednæringsstoffer, basert på enkeltstående kilder av protein, fett og karbohydrater, slik at den kunne sette sammen sin egen, foretrukne diett. (Figur 1). Tre forsøksfôr ble produsert til pellets som inneholdt 50 % av hvert hovednæringsstoff: protein, (kasein + gelatin), fett (fiskeolje og soyaolje) og karbohydrater (dekstrin). Hver diett omfattet miksturer av vitamin og mineraler, et bindemiddel (Na-alginat), og med cellulose som fyllmiddel. Både gullfisk og regnbuørret lærte seg raskt å velge fra de tre selvføringsbeholderne med henholdsvis protein, fett og karbohydrat, og tok en bestemt mengde fra hver av dem for å komponere sin egen komplette diett.



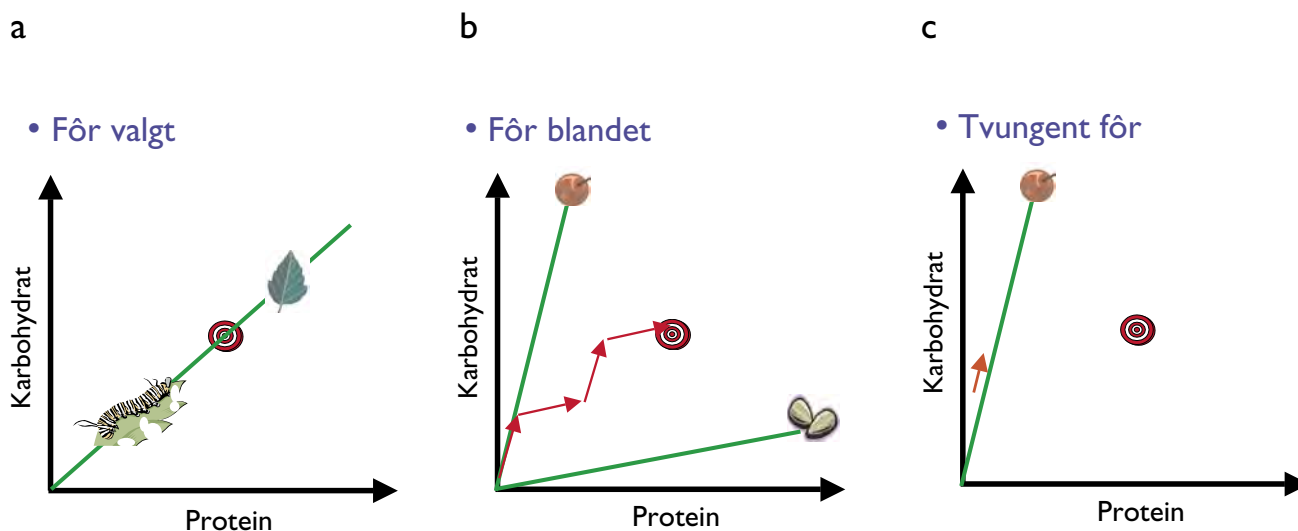
**Figur 1**

Skissen viser tre selvføringsautomater benyttet i flervalgseksperimenter. Testene kan omfatte ulike makroernæringsmessige dietter som inneholder f.eks. protein (A), fett (B) og karbohydrater (C).

*Schematic arrangement of three self-feeders as used in multiple-choice experiments for macronutrient self-selection. Different macronutrient diets containing for instance protein (A), fat (B) and carbohydrate (C) may be tested.*

#### FORSØK MED HAVABBOR

Havabbor (sea bass), en høyt verdsatt oppdrettsart som blir produsert i stort omfang i middelhavslandene, viste gjennom ulike selvføringsmetoder at mht. fordøyelig energi, foretrakk denne kjøttetende arten en diett med 51–57 % protein, 27–34 % fett og 12–16 % karbohydrat. Det er påfallende hvordan en slik selvvalgt diett skiller seg fra det fôret som brukes kommersielt i seabassindustrien i dag, vanligvis med mye mer fett og mindre protein og karbohydrater. Dette funnet peker på et misforhold mellom fiskens egne matpreferanser og det fôret som tilbys fisk i intensivt oppdrett, der det ofte er slik at fisken blir gitt en eneste diett i så godt som hele sin biologiske syklus. En uheldig fôrsammensetning, som ikke tar i betraktning at oppdrettsfisken har ulike behov i ulike perioder (f.eks. vekst og reproduksjon), kan som nevnt innledningsvis ha uheldige effekter med tanke på både fôrspill og fiskens vekst og utvikling. Med andre ord er det behov for mer viten omkring selvvalgt diett som en indikator på fiskens ernæringsmessige behov.



**Figur 2**

“Ernæringsrommet” representerer tre fôrings-scenarier: a) balansert kost, b) dårlig balansert kost og c) komplementære (utfyllende) dietter. *Nutrient space representing three feeding scenarios: a) balanced food, b) imbalanced food, and c) complementary foods.*

For ytterligere å undersøke hva som regulerer havabborens valg av hovednæring, ble det sett nærmere på hva som skjedde når fisken måtte gjennomgå en sulteperiode. Etter to perioder der forsøksfisken ikke ble tilbudt mat før etter enten seks eller 15 dager, ble den første dagen da havabboren igjen fikk anledning til å spise alltid preget av hyperphagia – dvs. en markant økning i opptaket av fordøyelig energi, som for den lengste sulteperiodens vedkommende varte i to dager. Fisken økte opptaket av alle hovednæringsstoffer i tilsvarende proporsjoner og “forsvarte” på denne måten sin selvvalgte diett, bortsett fra en svak tendens til å velge mer protein før næringsopptaket etter to dager igjen var blitt normalisert. Det ble også testet hvordan selektert sulting (fravær av enten protein eller fett) påvirker valg av hovednæringsstoffer. I eksperiment hvor fisken bare hadde tilgang på fett og karbohydrater, ble fôret knapt rørt, og fisken greide ikke å kompensere for fordøyelig energiopptak. Men også når fisken bare fikk tilbud om protein og karbohydrat mislyktes den i å kompensere for energiopptaket. Resultatene viser at havabbor har behov for alle de tre hovednæringsstoffene for å kunne sette sammen en balansert diett og sikre det daglige energiopptaket, noe som ikke lar seg oppnå dersom fôret mangler protein eller fett.

#### GEOMETRISKE RAMMER FOR DIETTSELEKSJON

Den geometriske analysen av diettvalg representerer et nytt prinsipp i ernæring av dyr, fordi den inkluderer ulike interaksjoner mellom mekanismene som regulerer opptaket av de forskjellige næringsstoffene. Det mest interessante er at konseptet gjør det mulig å gi en klar beskrivelse av hvilke utbytter av næringsutveksling (“trade-offs”) fisken kan oppnå når den blir gitt en ernæringsmessig balansert diett, eventuelt to eller flere ubalanserte dietter som til sammen sikrer den fullgod ernæring. I den geometriske rammen blir en modell av dyrets ernæringsmessige samspill med miljøet konstruert rundt et flerdimensjonalt “ernæringsrom”, der hver dimensjon representerer et næringsstoff. Dyrets nåværende ernæringsmessige tilstand representeres med et punkt i “ernæringsrommet”. Et tilsvarende punkt represente-

rer fiskens optimale tilstand, som er selve målet for næringsopptaket, og er punktet det homeostatiske systemet prøver å regulere seg inn mot. Føremnene er representert som lineære baner som går ut fra kilden, gjennom ernæringsrommet, i en vinkel bestemt av forholdet mellom de aktuelle komponentene i fôret (ernæringsmessige spor).

Ved å spise endrer fisken sin næringsmessige tilstand langs en vektor som faller sammen med sporet som representerer den valgte maten. En ernæringsmessig utfordring for konsumenten er å velge et fôr der sporet passerer gjennom punktet for opptaks målet (med andre ord ernæringsmessig velbalansert mat) og dermed gjør det mulig å fjerne enhver uoverensstemmelse mellom den nåværende tilstanden og den optimale tilstanden (Figur 2, til venstre). Med en næringsmessig ubalansert kost vil det derimot ikke la seg gjøre for fisken å få tilfredsstilt sine optimale krav for alle næringsstoffer på samme tid, men den tvinges inn i et kompromiss mellom å overfordøye noen næringsstoffer og underfordøye andre (Figur 2, til høyre). Ikke desto mindre kan fisken nå sitt regulatoriske mål når den gis en ernæringsmessig ubalansert kost, men da må dette kombineres med næringsopptak av fôr som inneholder en utfyllende ubalanse av næringsstoffer. (Les: Der næringsinnholdet er slik at “sporet” krysser ernæringsrommet på motsatt side av opptaks målet.) I dette tilfellet kan overskuddet av næringsstoffer inntatt fra én type mat bli brukt til å rette opp underskuddet i en annen, og vice-versa (Figur 2, i midten).

Når verken ernæringsmessig velbalansert eller komplementær mat er tilgjengelig for fisken kan den ikke oppnå et balansert næringsopptak, men likevel benytte den ubalanserte maten ved å velge å skille ut overskuddet. Skulle graden av ubalanse derimot overskride fiskens utskillingskapasitet, vil fisken være tvunget til å godta overskudd på noen næringsstoffer og underskudd på andre. Utfordringen i dette tilfellet er å komme frem til en balanse mellom over- og under-spising, noe som er viktig for å sikre at fisken i minst mulig grad skal bli skadelidende på grunn av den negative situasjonen

som har oppstått (*Kompromissregler*, se Figur 3). Den geometriske rammen sikrer dermed en analysemetode som gjør det mulig å sammenligne, langs flere akser, dyreorganismers ernæringskrav, førets relative verdier i forhold til disse kravene, og fiskens respons på opptak, vekst, utskilling og lagring når den blir gitt fôr (og førkombinasjoner) med ulike sammensetninger.

Det geometriske rammeverket, som opprinnelig hadde sitt utspring i insektstudier, har brakt ny kunnskap om fôr, regulering og fordøyelse i virveldyr, inklusive pattedyr, fugler og fisk. Forholdsvis nylig er den også utvidet til å gjelde mennesket, og denne analysemetoden er blitt brukt til å utvikle en ny, samlendende hypotese for utviklingen av fedmeepidemien i den vestlige verden.

### PERSPEKTIVER

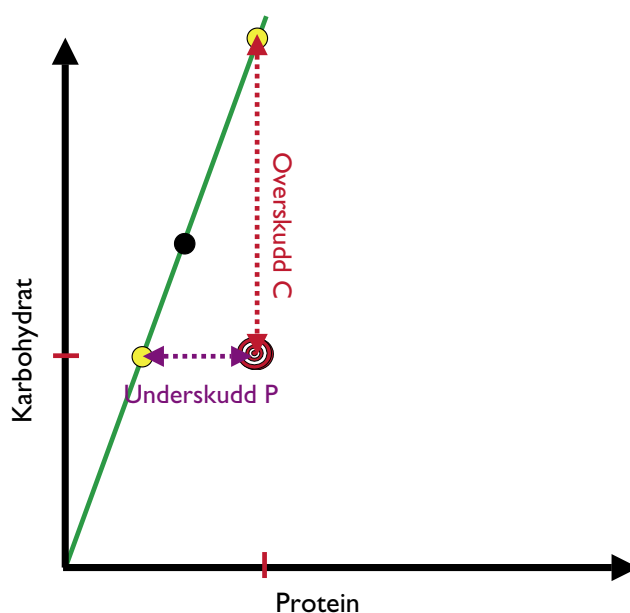
Prinsippet med å la fisken selv velge sin egen diett ser ut til å være spesielt interessant i arbeidet med å komponere dietter for fisk i ulike fysiologiske stadier (vekst, reproduksjon), og i særlig grad hva angår nye arter i oppdrett. På dette området har man i dag for lite kunnskap, og alternativet – mange og omfattende eksperimenter som går ut på å teste en og en variabel – har vist seg både tidkrevende og lite hensiktsmessig.

For å kunne unngå at fisken lar seg påvirke av smak og tekstur når den skal finne frem til de hovednæringsstoffene som utgjør det mest balanserte føret, blir den tilbudt de ulike hovednæringsstoffene i form av en kapsel uten smak, med innhold av enten protein, fett eller karbohydrat. Dette er en metode som bare i liten grad har vært tatt i bruk tidligere. Denne nye tilnæringsmåten lar oss teste stoffskifteeffekter som inntreffer etter at næringsstoffene er absorbert. En nyere

studie av havabbor har avslørt deres evne til å skille mellom kapsler farget ulikt, avhengig av hvilket av de tre hovednæringsstoffene de inneholdt. Følgelig kan havabboren regulere opptaket slik at den selv setter sammen en balansert diett, der forholdet mellom de valgte hovednæringsstoffene er i god overensstemmelse med resultatet da fisken håndterte selvføringsautomater.

Konklusjonen må være at det ser ut til å være klare bevis for at fisk, som mange andre dyr, har en evne til selv å finne frem til en balansert diett, og til å skille mellom hovednæringsstoffer. Dette gjør det mulig for dem å komponere en diett etter eget ernæringsmessig behov, avhengig av hvor de befinner seg i livssyklusen. Resultatene viser at diett etter eget valg er et hensiktsmessig redskap i arbeidet med å lære mer om fiskeernæring, og likeledes et mulig redskap for oppdrettsindustrien. Ved hjelp av slike teknikker kan forprodusentene enten raskt skaffe seg oversikt over preferansene hos oppdrettsfisk i forhold til et stort antall pre-komponerte forsøksfôr, eller også gjøre føret så godt og attraktivt som mulig gjennom å teste ut det samme næringsstoffet fra ulike kilder.

I de siste årene har det i flere europeiske laboratorier vært gjort betydelige fremskritt i studiet av diettvalg etter fiskens eget behov. Dette har nylig resultert i etableringen av et EU-finansiert prosjekt (Concerted Action) med tittelen: *On dietary self-selection in fish: a geometrical approach for optimising aquaculture production*. Prosjektet har som mål å bringe sammen ekspertise fra seks relevante europeiske forskningsmiljøer for å begynne å utforske potensialet ved det geometriske rammeverket, samtidig som man drar nytte av pågående nasjonale forskningsprogrammer på kommersielt oppdrettede fiskearter.



**Figur 3**  
Kompromissregler – hvordan fisken balanserer mellom overskudd og underskudd på næringsstoff.  
*Patterns of balancing excesses and deficits = "rules of compromise".*

## 5.5 Tilapia – framtidens tropiske oppdrettsart

Trygve Gjedrem, AKVAFORSK

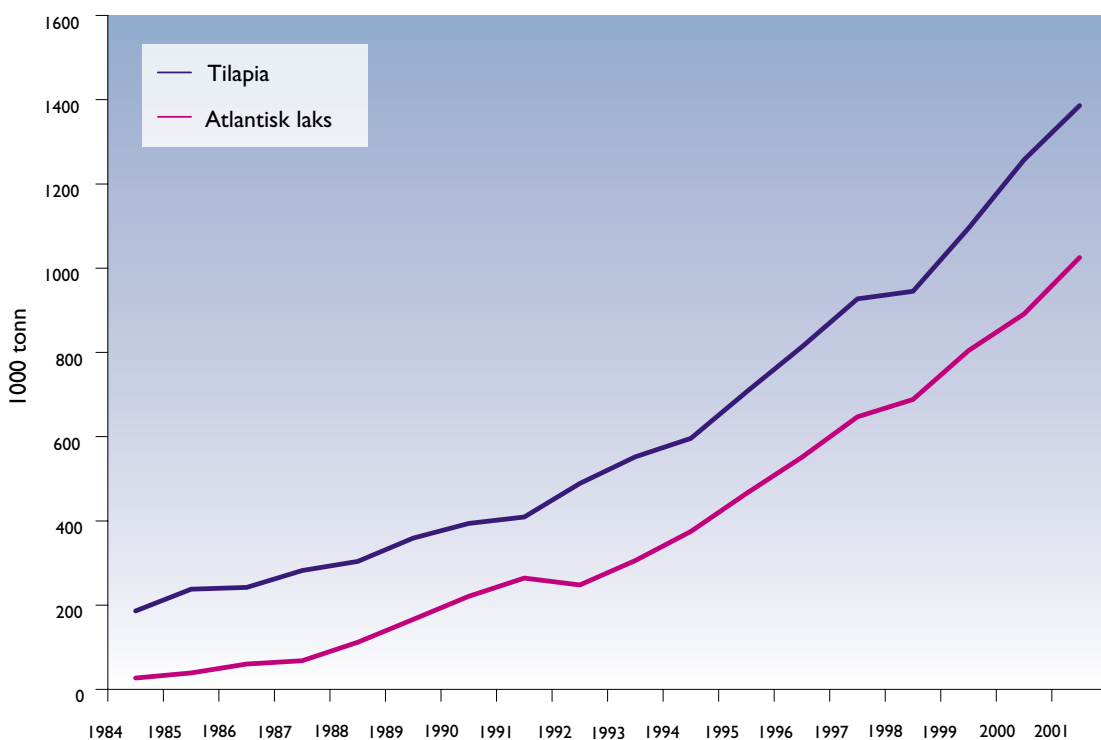
Det norske avlsarbeidet med laks og regnbogeaure som AKVAFORSK starta tidleg på 1970-talet, vekte etter kvart oppsikt internasjonalt, og organisasjonar innan FN-systemet inviterte oss til samarbeid for å granske om det også var mogeleg å få avlsmessig framgang i tilvekst for tropiske artar. Tilapia vart vald som modell. Forsøka vart gjennomførde på Filippinane i åra 1988–1997. Konklusjonen frå forsøka var eintydig: Det er like store mogelegheiter for avlsmessig framgang for tilapia som det er for laksefisk.

Det er mange artar av tilapia, og alle kjem frå Afrika. Tilapia høyrer til ciclidane og lever i ferskvatn, men nokre artar toler brakkvatn og andre jamvel sjøvatn. Fisken har optimale vekstvilkår ved temperaturar mellom 25–30 C<sup>0</sup>, og han døyr når temperaturen går under 11–12 C<sup>0</sup>. I Afrika vart det fanga store mengder tilapia i elvar og i dei store innsjøane. Utanom Egypt og Nigeria vart det oppdretta lite tilapia i Afrika. Det er i Asia fisken vart produsert i stort omfang. Det er difor interessant at fleire land i Mellom- og Sør-Amerika i det siste har utvikla ein stor tilapiaproduksjon.

### FLEIRE SÆRTREKK VED TILAPIA

Tal frå FAO syner at det i 2001 vart produsert omkring 1,4 mill. tonn, men ein reknar med at det lokale forbruket som ikkje er registrert nærmar seg 2 mill. tonn. Figur 1 viser at den registrerte produksjonen av tilapia og atlantisk laks har utvikla seg parallelt, men tilapia har heile tida lege over laks. Kina og Taiwan står for over halve produksjonen, men òg Filippinane, Mexico, Thailand, Brasil, Indonesia og Ecuador produserer mykje. Tilapia er ein god matfisk med kvitt, magert kjøt. Lokalt vert mykje av fisken marknadsført som porsjonsfisk på 100–200 g, men for verdsmarknaden vert det produsert ein fisk som er 600–800 g. Han vert omsett som rund fisk eller som fersk og frossen filet. Dei store marknadene er USA, Japan og Europa. Fisken er billig å produsere (5–7 kr per kg), og han vert omsett til ein pris av 7–14 kr per kg, alt etter grad av foredling. Det er såleis ein billig fisk, og det er noko av grunnen til at han har vorte så populær.

Biologisk er tilapia-artane spesielle. Nil-tilapia (Figur 2), som er den mest vanlege arten i oppdrett, er munnrugar. Han



**Figur 1**  
Produksjon av atlantisk laks og tilapia, 1000 tonn.  
Production of Atlantic salmon and tilapia, 1000 tons.



**Figur 2**  
Nil-tilapia.  
*Nile-tilapia.*

vert kjønnsmoden alt ved tre–fire månaders alder, og under gunstige miljøtilhøve vert egg lagde med tre–fire vekers mellomrom. Hoa legg 500 til 1000 egg på botnen av dammen der ho har laga eit “reir”. Så inviterar ho ein hann som sprøyter mjølke over egga. Deretter samlar ho egga opp i munnen. Klekking skjer etter to–tre dagar, og yngelen held seg i munnen hennar i nokre dagar før dei sym ut for å finne mat.

Sidan tilapia er planteetar (herbivor), lever han i vill tilstand av plankton og algar. I eit ekstensivt produksjonsopplegg gjødsalar dei med husdyrgjødsel i jorddammane for å auke primærproduksjonen, men det er også vanleg å føre med lokale avfallsressursar og særleg avfall frå ris og kornproduksjon. I meir intensiv monokultur vert tørrfôr mest nytta, men då med eit heller høgt innhald av karbohydrat. På denne måten skil tilapia og andre herbivore artar sitt fødeval seg sterkt frå føda till dei kjøtetande (karnivore) artane.

#### **AVLSPROSJEKT PÅ FILIPPINANE**

Avlsforsøket vart lagt til ein forsøksstasjon i Munoz, som ligg nord for Manila på Filippinane. Prosjektet som fekk namnet GIFT (Genetic Improvement of Farmed Tilapias), vart gjennomført av det internasjonale akvakulturinstituttet ICLARM (nå omdøpt til World Fish Center) med AKVAFORSK som fagleg ansvarleg. Dessutan deltok fleire nasjonale filippinske institusjonar. Prosjektet vart finansiert av UNDP (United Nations Development Program) og ADB (Asian Development Bank).

#### **Formål og forsøksopplegg**

Formålet med forsøket var å studere effekten av seleksjon for å auke tilvekst hos tilapia. For å sikre brei genetisk basis i dyrematerialet frå start, vart det samla inn villfisk av Nil-tilapia frå fire stammar i Afrika: Egypt, Kenya, Ghana og Senegal. I tillegg omfatta prosjektet fire stammar av tilapia frå oppdrett i Asia. Det var viktig å sikre stor genetisk variasjon frå starten av. I utgangspunktet vart det såleis nytta åtte stammar av tilapia. Først vart produksjonseigenska-

pane deira samanlikna, og deretter vart alle åtte stammene kryssa med einannan. Kryssingsproduktet vart så nytta som utgangspunkt/basepopulasjon i seleksjonsforsøket. I kvar generasjon vart det laga 120–183 fullsøskenfamiljar. I alle fasar av forsøket vart forsøksfisken testa/utprøvd i fleire oppdrettsmiljø, både i jorddammar med rik næringstilgang og i rismarker samt merdar i innsjø, der mattilgangen var mindre god. Frå klekking til yngelen var 3–7 g gjekk kvar familie av fullsøsken i små nøter plassert i ein stor jorddam. Etter merking vart representantar frå alle familiene spreidde i ulike miljø for ein vekstperiode på ca. 90 dagar. Ved hausting var fisken ca. 120 g.

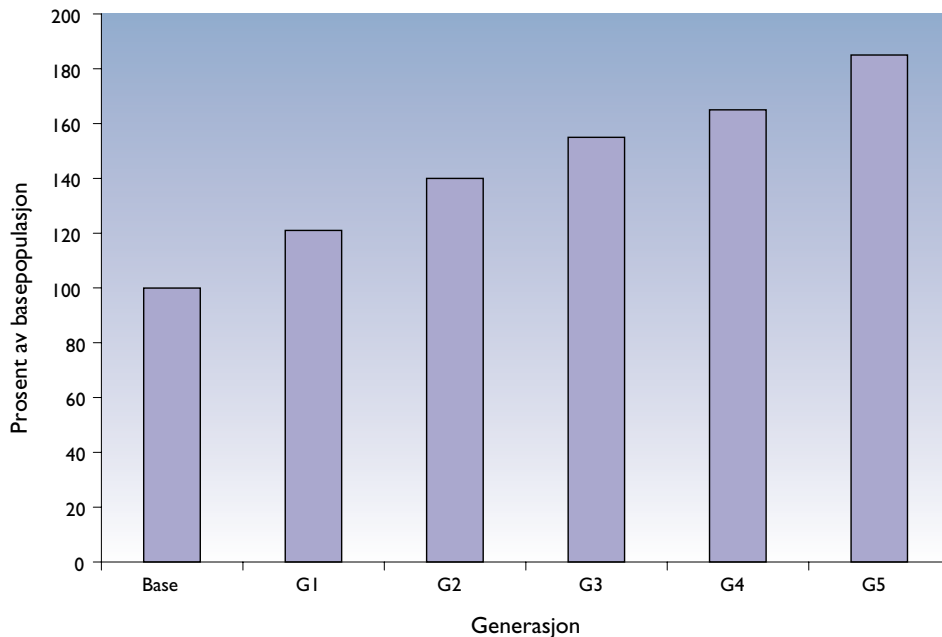
#### **Resultat**

Det vart funne store skilnader i vekst hos stammene. To av dei ville afrikanske stammene vaks fortast. Dei var altså betre enn dei fire stammene som var domestiserte/temma gjennom 10–15 generasjonar under oppdrettstilhøve i Asia. I kryssingsforsøket vart det laga 8 reine og 56 kryssingsgrupper. Det vart berre i liten grad funne at kryssingsgruppene hadde betre tilvekst enn middelet av dei reinavla foreldrestammene. Det vart difor konkludert med at det er lite å vinne på å bruke kryssingsavl for å oppnå kryssingsmangfald eller heterosis i eit avlsprogram for Nil-tilapia.

Det var interessant å sjå at stammene og familiene rangerte seg om lag likt, anten dei vaks opp under svært gode eller svært dårlege miljøtilhøve. Dette syner at eit avlsarbeid for tilapia kan konsentrera seg om ein syntetisk stamme for alle miljøtilhøva som vart nytta på Filippinane.

I prosjektperioden vart det selektert for auka tilvekst i fem generasjonar. Seleksjonen vart utført ved å velje ut som stamfisk dei fiskane som hadde vakse fortast og som samtidig kom frå søskenfamiliene med best tilvekst. I gjennomsnitt vart det oppnådd ein avlsmessig framgang for tilvekst på 17 % per generasjon og den samla framgangen var på heile 85 % (Figur 3). Med om lag same resultatet i ein generasjon til, ville til-





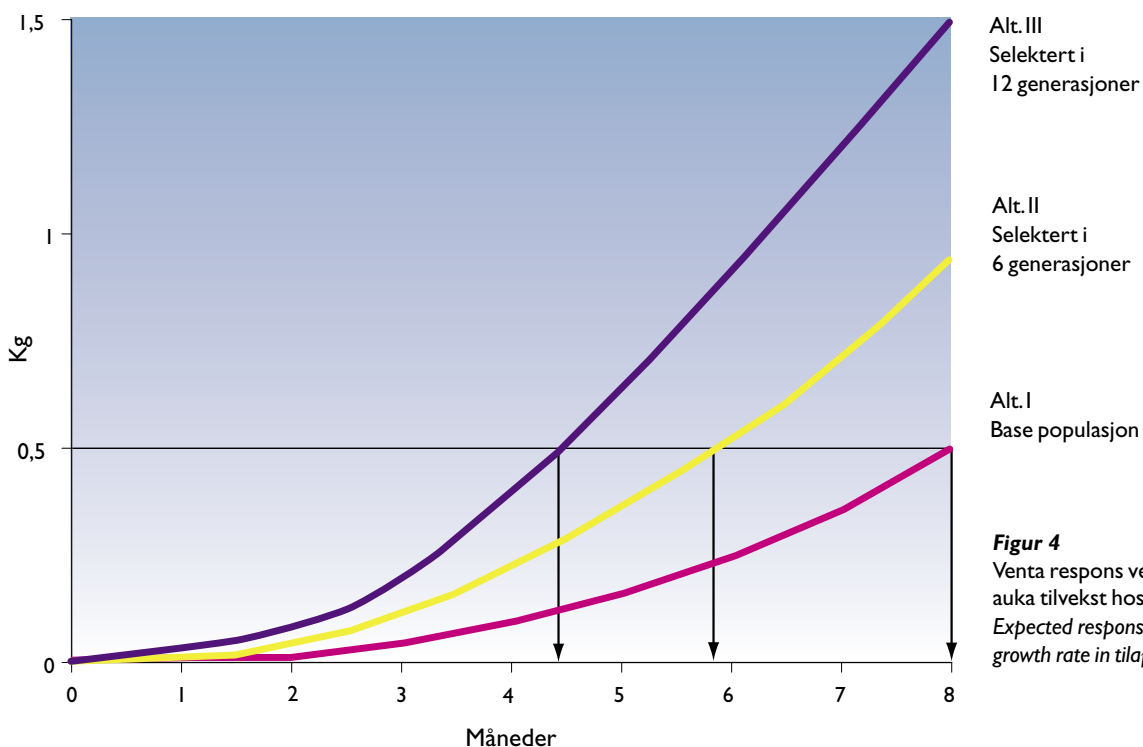
**Figur 3**  
Avlsmessig framgang gjennom fem generasjonar med seleksjon for tilvekst av tilapia (Bentsen, 2003).  
*Genetic gain in five generations of selection for growth rate in tilapia (Bentsen, 2003).*

veksten ha dobla seg i løpet av seks generasjonar. Sjølv om det ikkje vart selektert for auka overleving, vart det òg oppnådd ein stor framgang for denne viktige eigenskapen.

Effekten av å doble tilveksten hos tilapia er illustrert i Figur 4. I utgangspopulasjonen går det åtte månader for å produsere ein fisk på 0,5 kg. Ved å doble tilvekstevna treng ein berre  $5\frac{3}{4}$  månad for å nå same vekta. Ved å selektere i seks nye generasjonar for å tredoble tilveksten, vil ein trengje under  $4\frac{1}{2}$  månad for å produsere ein fisk på 0,5 kg. Ein slik auke i

tilvekstevne vil føre til ein stor reduksjon i fôrbehov og produksjonskostnader.

Eit sentralt spørsmål i denne samanheng er om den avlsmessige framgangen vil verte mindre når vi selekterer over mange generasjonar? Resultata så langt viser at den genetiske variasjonen ikkje er redusert, og dersom ein i avlsprogrammet unngår å bygge opp innavl, er det lite som tyder på at den avlsmessige framgangen vil verte mindre i komande generasjonar.



**Figur 4**  
Venta respons ved seleksjon for auka tilvekst hos tilapia.  
*Expected response to selection for growth rate in tilapia.*

Produksjonspotensialet til GIFT-fisken frå tredje generasjon vart testa i mange miljø og i fem land: Bangladesh, Kina, Filippinane, Thailand og Vietnam. Han vart samanlikna med lokale stammar av tilapia som vart nytta i produksjonen der. Sjølv om resultatata varierte noko frå land til land hadde GIFT-fisken høgast produktivitet i alle landa. Størst utslag var det i Bangladesh og minst i Kina. I gjennomsnitt auka GIFT-fisken produksjonen med 40 %, kostnadene auka med 3 %, medan kostnadene per kg fisk produsert vart redusert med 26 % (Tabell 1).

Fisk frå femte generasjonen i GIFT-prosjektet vart overført til fleire land i Sørøst-Asia og Kina, der det nå vert gjennomført vidare avlsarbeid med fisken.

#### KONKLUSJON

Dette avlsprosjektet og det norske avlsprogrammet har klart demonstrert at det er svært mykje å vinne på å gjennomføre eit effektivt avlsarbeid; domestiseringa går raskare, produktiviteten aukar, kostnadene vert reduserte og fôrressursane vert betre utnytta.

#### Tabell 1

Produksjon i kg og produksjonskostnader i US \$ for oppdrett av tilapia ved bruk av GIFT og lokale stammar av tilapia i jorddammar (per ha) og merdar (per 100 m<sup>2</sup>) i fem land i Asia (Dey og Eknath, 1996).

*Yield in kg and production costs in US \$ of tilapia farming using GIFT and non-GIFT strains in earthen ponds (per ha) and cages (per m<sup>2</sup>) in five Asian countries (Dey and Eknath, 1996).*

	BANGLA- DESH	CHINA		PHILIPPINANE		THAI- LAND	VIETNAM
	Dam	Merd	Dam	Merd	Dam	Dam	Dam
<b>GIFT:</b>							
Produksjon	1593	3893	4645	236	1361	2829	743
Kostnader	463	4191	3548	168	1385	1510	427
Kostnader pr kg	0.29	1.08	0.76	0.71	1.02	0.53	0.58
<b>Lokal stamme:</b>							
Produksjon	896	3111	4275	153	912	2044	558
Kostnader	405	4191	3523	168	1375	1517	411
Kostnader pr kg	0.45	1.35	0.82	1.10	151	0.74	0.74
<b>% endring (GIFT/lokal):</b>							
Produksjon	+ 77.5	+ 25.1	+ 8.7	+ 54.2	+ 49.2	+ 38.4	+ 33.2
Kostnader	14.3	0	0.7	0	0.7	- 0.5	3.9
Kostnader pr kg	- 35.7	- 20.1	- 7.3	- 35.2	- 32.5	- 28.0	- 22.0



Agnalt, Ann-Lisbeth	Havforskningsinstituttet	agnalt@imr.no
Albrigtsen, Alf	Fiskeridirektoratet region Trøndelag	postmottak.trondheim@fiskeridir.no
Arnesen, Arne Mikal	Fiskeriforskning	arne-mikal.arnesen@fiskforsk.norut.no
Asheim, Aud	Havbruksveterinærtenesta i Gulen/ AkvaVet Gulen AS	vetaudaa@online.no
Balevik, Stine Beate	Havforskningsinstituttet	Stine.Balevik@student.uib.no
Berg, Arne	Havforskningsinstituttet	arne.berg@imr.no
Binde, Martin	Kompetansesenteret for sjømat, Mattilsynet	fvbinde@mattilsynet.no
Browman, Howard	Havforskningsinstituttet	howard.browman@imr.no
Dalen, Marius	Miljøstiftelsen Bellona	marius@bellona.no
Drengstig, Asbjørn	Norwegian Lobsterfarm AS	asbjorn.drengstig@hobas.no
Duinker, Arne	NIFES	duinker@nutr.fiskeridir.no
Ervik, Arne	Havforskningsinstituttet	arne.ervik@imr.no
Fivelstad, Sveinung	Høgskulen i Bergen	Sveinung.Fivelstad@hib.no
Fjalestad, Kjersti	Fiskeriforskning	kjersti.fjalestad@fiskeriforskning.no
Fjelldal, Per Gunnar	Havforskningsinstituttet	per.gunnar.fjelldal@imr.no
Flesjå, Kjell I.	Veterinærinstituttet Sandnes	kjell.flesjaa@vetinst.no
Fredheim, Arne	SINTEF Fiskeri og havbruk AS	arne.fredheim@sintef.no
Frost, Petter	Havforskningsinstituttet	petter.frost@imr.no
Gjedrem, Trygve	AKVAFORSK	trygve.gjedrem@akvaforsk.nlh.no
Glover, Kevin	Havforskningsinstituttet	kevin.glover@imr.no
Grefsrud, Ellen Sofie	Havforskningsinstituttet	ellen.grefsrud@imr.no
Grotmol, Sindre	Universitetet i Bergen, Zoologisk institutt	sindre.grotmol@bio.uib.no
Hamre, Kristin	NIFES	kristin.hamre@nutr.fiskeridir.no
Hansen, Pia Kupka	Havforskningsinstituttet	pia@imr.no
Hansen, Tom	Havforskningsinstituttet	tom.hansen@imr.no
Harboe, Torstein	Havforskningsinstituttet	torstein.harboe@imr.no
Hauge, Gjøran Åge	Kontali Analyse AS	gjoran.aage.hauge@kontali.no
Henne, Gunn Helen	Havbruksveterinærtenesta i Gulen/ AkvaVet Gulen AS	vetaudaa@online.no
Hjeltnes, Brit	Veterinærinstituttet, Avdeling for fiske- og skjellhelse	brit.hjeltnes@vetinst.no
Holm, Marius	Miljøstiftelsen Bellona	mariush@bellona.no
Jahnsen, Terje	Fiskeridirektoratet	terje.jahnsen@fiskeridir.no
Johansen, Renate	Veterinærinstituttet Oslo	renate.johansen@vetinst.no
Jørgensen, Trond Ø.	Norges fiskerihøgskole, Universitetet i Tromsø	trondj@nf.h.uit.no
Karlsen, Ørjan	Havforskningsinstituttet	orjan.karlsen@imr.no
Keiserås, Erling	Raumagruppen	erling@raumagruppen.no
Kristiansen, Merete N.	Eksportutvalget for fisk (EFF)	merete.kristiansen@seafood.no
Kristiansen, Tore S	Havforskningsinstituttet	tore.kristiansen@imr.no
Kryvi, Harald	Universitetet i Bergen, Zoologisk institutt	harald.kryvi@bio.uib.no
Lund, Morten	Åsen Settefisk AS	morlun@online.no
Madrid, J.A.	University of Murcia	jamadrid@um.es
Magnesen, Thorolf	Scalpro A/S	Thorolf.Magnesen@smr.uib.no
Mangor-Jensen, Anders	Havforskningsinstituttet	anders.magnor.jensen@imr.no
Mortensen, Atle	Fiskeriforskning	atle.mortensen@fiskeriforskning.no
Mortensen, Stein	Havforskningsinstituttet	stein.mortensen@imr.no
Nerland, Audun H.	Havforskningsinstituttet	audun.nerland@imr.no
Nilsen, Frank	Havforskningsinstituttet	frank.nilsen@imr.no
Nordgarden, Ulla	Havforskningsinstituttet	ulla.nordgarden@imr.no
Norheim, Kari	Veterinærinstituttet Harstad	kari.norheim@vetinst.no
Olsen, Anne Berit	Veterinærinstituttet Bergen	anne-berit.olsen@vetinst.no
Opstad, Ingegjerd	Havforskningsinstituttet	ingegjerd.opstad@imr.no
Raubenheimer, D.	University of Auckland	d.raubenheimer@auckland.ac.nz
Sánchez-vázquez, F.J.	University of Murcia	javisan@um.es
Siikavuopio, Sten I.	Fiskeriforskning	sten.siikavuopio@fiskeriforskning.no
Simpson, S.J.	University of Oxford	stephen.simpson@zoology.ox.ac.uk
Skiftesvik, Anne Berit	Havforskningsinstituttet	anne.berit.skiftesvik@imr.no
Skilbrei, Ove	Havforskningsinstituttet	ove.skilbrei@imr.no
Skjelstad, Hanne Ringkjøb	Veterinærinstituttet Trondheim	hanne.skjelstad@vetinst.no
Slinde, Erik	Havforskningsinstituttet	erik.slinde@imr.no
Sommerset, Ingunn	Intervet Norbio AS	ingunn.sommerset@intervet.com
Strand, Øivind	Havforskningsinstituttet	oivind.strand@imr.no
Strohmeier, Tore	Havforskningsinstituttet	tore.strohmeier@imr.no
Sunde, Leif Magne	SINTEF Fiskeri og havbruk AS	leif.m.sunde@sintef.no
Sæther, Bjørn-Steinar	Fiskeriforskning	bjorn-steinar.saether@fiskeriforskning.no
Torrissen, Ole J.	Havforskningsinstituttet	ole.torrissen@imr.no
Totland, Geir	Universitetet i Bergen, Zoologisk institutt	geir.totland@bio.uib.no
Ulgenes, Yngve	SINTEF Bygg og miljø	yngve.ulgenes@sintef.no
Wargelius, Anna	Havforskningsinstituttet	anna.wargelius@imr.no
Aandahl, Paul T.	Eksportutvalget for fisk (EFF)	paul.aandahl@seafood.no

