

AkvaVis – dynamisk GIS-verktøy for lokalisering av oppdrettsanlegg for nye oppdrettsarter

Miljøkrav for nye oppdrettsarter og laks

Arne Ervik, Ann-Lisbeth Agnalt, Lars Asplin, Jan Aure,
Tor Christian Bekkvik, Inge Døskeland, Anne Ansnes Hageberg,
Tom Hansen, Ørjan Karlsen, Frode Oppedal og Øivind Strand



PROSJEKTRAPPORT



Nordnesgaten 50, Postboks 1870 Nordnes, 5817 BERGEN
Tlf. 55 23 85 00, Faks 55 23 85 31, www.imr.no

Tromsø **Flødevigen**
9294 TROMSØ 4817 HIS

Rapport: Fisken og Havet	Nr. - År 10-2008
Tittel (norsk/engelsk): AkvaVis – dynamisk GIS-verktøy for lokalisering av oppdrettsanlegg for nye oppdrettsarter. Miljøkrav for nye oppdrettsarter og laks AkvaVis – dynamic GIS-tool for siting of fish farms for new aquaculture species. Environmental quality requirements for new aquaculture species and Atlantic salmon.	
Forfattere: Arne Ervik, Ann-Lisbeth Agnalt, Lars Asplin, Jan Aure, Tor Christian Bekkvik, Inge Døskeland, Anne Ansnes Hageberg, Tom Hansen, Ørjan Karlsen, Frode Oppedal, Øivind Strand	

Distribusjon: Åpen
Prosjektnr.: 11957-01
Oppdragsgiver(e): Hordaland fylkeskommune S&F fylkeskommune Rogaland fylkeskommune Innovasjon Norge Havforskningsinstituttet
Oppdragsgivers referanse:
Dato: 14. januar 2009
Program: Akvakultur
Faggruppe: Bunnhabitater og skalldyr
Antall sider totalt: 90

Sammendrag (norsk): AkvaVis er et dynamisk GIS-verktøy for lokalisering av oppdrettsanlegg, og rapporten presenterer en prototyp for blåskjellanlegg. AkvaVis kombinerer kartfestede egenskaper som dyp, strøm og avstand til andre objekter, og lar objektene kommunisere egenskaper med hverandre for å finne best mulig lokalisering. Verktøyet beregner også bæreevnen på den enkelte lokalitet ved hjelp av matematiske simuleringsmodeller. Prototypen er utviklet for Hardangerfjorden, og rapporten gir en oversikt over topografi, hydrografi og strøm i fjorden. For videre utvikling av systemet gir den også en oversikt over miljøkravene til nye oppdrettsarter og for laks.
--

Summary (English):

AkvaVis is a dynamic GIS tool for siting fish farms, and this report describes a prototype version for mussel farms. AkvaVis combines mappable characteristics such as depth, currents and distance from other objects, and it enables objects to communicate their properties to one another in order to determine the best locations for farms. AkvaVis also calculates the carrying capacity of individual sites by means of mathematical simulation models. The prototype has been developed for the Hardangerfjord, and the report provides a survey of the topography, hydrography and currents of this fjord. With the further development of the system in mind, it also provides an overview of the environmental requirements for new farmed species, as well as for salmon.

Emneord (norsk):

1. Akvakultur
2. GIS-verktøy
3. Lokalisering av oppdrettsanlegg

Subject heading (English):

1. Aquaculture
2. GIS tool
3. Siting of fish farms



Prosjektleder



Faggrupeleder

Innholdsfortegnelse

1 AkvaVis	7
1.1 Bakgrunn	7
1.2 Veien videre	9
1.3 Utvikling av dynamisk planverktøy - AkvaVis.....	10
1.3.1 Programvare for lokalisering av blåskjellanlegg	10
1.3.2 Objektmodell.....	11
1.3.3 Arkitektur for demonstrasjonsprogramvaren	12
1.4 Lokaliseringsparametere	13
1.5 Beregningsmodell for bæreevne i blåskjellanlegg	15
1.6 Referanser.....	17
2 Naturgitte forhold i Hardangerfjorden	18
2.1 Områdebeskrivelse	18
2.2 Hydrografi og vannutskiftning.....	20
2.2.1 Vanntyper.....	20
2.2.2. Drivkrefter for strøm.....	23
2.3 Numerisk fjordmodellering	26
2.3.1 Atmosfæremodellen (MM5)	26
2.3.2. Fjordmodellen (BOM)	27
2.4 Resultater.....	27
2.5 Forbedringer	27
2.6 Referanser.....	29
3. Oppdrettsartenes miljøkrav	30
3.1 Skjell.....	30
3.1.1 Generelle forhold	30
3.1.1.1 Kriterier for lokalisering av dyrkingsanlegg og grunnlag for grenseverdier ...	30
3.1.1.2. Føde og fødeopptak.....	30
3.1.1.3 Saltholdighet	32
3.1.1.4. Oksygen	32
3.1.1.5. Vannbevegelse	32
3.1.2. Blåskjell	33
3.1.2.1 Dyp og temperatur	33
3.1.2.2. Andre miljøkrav	34
3.1.3. Kamskjell	35
3.1.3.1. Dyp.....	35
3.1.3.2. Bunntype	35
3.1.3.3. Temperatur	35
3.1.3.4. Andre miljøkrav	36
3.1.4. Flatøsters	36
3.1.5 Referanser	37
3.2 Torsk.....	39
3.2.1. Biologi.....	39

3.2.2.	Oppdrettsmetoder.....	40
3.2.3.	Oksygen	42
3.2.4.	Temperatur	43
3.2.5.	Andre miljøkrav	44
3.2.6.	Utslipp fra torskoppdrett	46
3.2.7.	Genetiske påvirkninger fra oppdrett av torsk.....	50
3.2.8.	Referanser	51
3.3.	Kveite	59
3.3.1.	Biologi.....	59
3.3.2.	Oppdrettsmetoder.....	60
3.3.3.	Oksygen	63
3.3.4.	Temperatur	64
3.3.5.	Andre miljøkrav	66
3.3.6.	Utslipp fra kveiteoppdrett	68
3.3.7.	Genetiske påvirkninger fra oppdrett av kveite.....	69
3.3.8.	Referanser	69
3.4.	Hummer.....	73
3.4.1.	Biologi.....	73
3.4.2.	Bunntype-habitat.....	74
3.4.3.	Andre miljøkrav	74
3.4.4.	Referanser	75
3.5.	Laks	76
3.5.2.	Oppdrett av laks	77
3.5.3.	Spesifikke miljøkrav	85
3.5.4.	Referanser	87

1 AkvaVis

1.1 Bakgrunn

Oppdrettsnæringen er i dag dominert av laksefisk og det er ønskelig å stimulere videre utvikling av arter som torsk, kveite, blåskjell, kamskjell og østers, samtidig som produksjonen av laksefisk må være bærekraftig. Det krever at en kan finne områder som ut fra samfunnsmessige hensyn kan brukes til akvakultur, samtidig som oppdrettsorganismene sikres gode miljøforhold og påvirkningen på omgivelsene holdes innenfor akseptable grenser.

Lokalisering og optimal utforming av oppdrettsanlegg er en sammensatt prosess som omfatter analyser av en rekke forhold som vind, strøm, temperatur, saltholdighet, planteplankton, bølger, topografi, oppdrettsorganismenes miljøkrav og miljøets bæreevne med mer. I tillegg kommer en rekke ”menneskeskapte” hensyn som flere politiske og administrative organ skal vekte i en endelig lokaliseringsbeslutning. Eksempler på slike hensyn er avstand til farleder, forurensende utslipp, friluft- og verneområder, fiskeområder, områder båndlagt av forsvaret m.m. Disse analysene blir fort så komplekse at det er nødvendig med nye verktøy og nye arbeidsprosesser for å oppnå plasseringer som tilfredsstillende alle krav til sikkerhet, miljø og lønnsom produksjon, samtidig som samfunnets interesser ivaretas. AkvaVis er et forslag til et slikt verktøy, og det er utviklet en prototyp programvare for identifisering av områder egnet for blåskjell dyrking. Planen er at prototypen skal videreutvikles til et produkt som kan brukes av så vel saksbehandlere i offentlig sektor som av kommersielle aktører i akvakulturnæringen.

Hordaland fylkeskommune har siden 1979 arbeidet med geografisk informasjon knyttet til sjø (Døskeland and Hansen 2000). I tillegg til sammenstilling av en rekke temadata i GIS-system har det vært gjennomført flere utviklingsprosjekt. Eksempel er EU-Interregprosjektet ”SeaGis”, egnethetsanalyse for havbeite kamskjell, resipientdata, dybde data, eksponering og strøm, utvikling av internettbaserte kartløsninger med mer. Formålet med dette arbeidet, som har munnet ut i AkvaVis, har vært å støtte kystsonoplanlegging og bærekraftig næringsutvikling.

Lokalisering av akvakulturanlegg er et satsingsområde for Havforskningsinstituttet, og instituttets prosjekt MOLO er komplementært til AkvaVis. Det har som mål å utvikle et helhetlig reguleringsystem for areal- og miljøtilpassing for akvakultur som dekker både planlegging og drift. Plandelen vil nytte geografiske informasjonssystemer (GIS) og biologiske og oseanografiske modeller til å identifisere områder som ut fra en helhetsvurdering kan brukes til akvakultur og til å simulere bæreevnen i disse områdene. For driftsfasen vil det bli utarbeidet programmer for å overvåke miljøvirkningene av anleggene med forslag til grenseverdier for tillatt påvirkning. I den foreliggende rapporten har instituttet utviklet modellen for simulering av produksjon i blåskjellanlegg, skaffet data for hydrografi og strøm og utarbeidet en oversikt over miljøkravene for nye oppdrettsarter og laks.

Christian Michelsen Research (CMR) har i mange år utviklet forskningsbasert programvare for analyser av mange ulike typer geografisk informasjon knyttet til marin og maritim sektor. Gjennom dette arbeidet har CMR utviklet kompetanse og generelle programvarekomponenter som kan benyttes til å utvikle nye prototyper på kosteffektive måter. Videre har CMR lang erfaring med å videreutvikle prototyp programvare til fullverdige produkter og kommersialisere disse, både nasjonalt og internasjonalt.

Med dette som utgangspunkt har vestlandsfylkene ved HFK, Havforskningsinstituttet og CMR besluttet å samarbeide om utvikling av ny prototyp programvare for lokalisering av akvakultur, AkvaVis.

I dag er ofte beslutninger om plassering av anlegg og vurdering av områders egnethet basert på statiske havbruksanalyser, kompliserte GIS-verktøy, tradisjonelle temakart eller kvalitative vurderinger. AkvaVis-ideen er annerledes ved at systemet er utviklet for å være fleksibelt, dynamisk og lett å bruke. Det er ønskelig at systemet skal oppmuntre til å utforske potensialet for akvakultur i ulike områder, og at det skal kunne indikere konsekvenser av utbygging. I AkvaVis balanseres informasjonstyper i et regnestykke som til sist angir en anbefalt lokalisering på kart. AkvaVis-systemet tar mål av seg til å utføre disse analysene i et enkelt og interaktivt grensesnitt direkte mot sluttbruker. Bruker kan dermed få vurdert en lokalitets egnethet ved å plassere et symbol for anlegget hvor som helst i kartets sjøområder. Videre vil graden av egnethet kvantifiseres sammen med begrunnelsen for hvilke parametere som er utslagsgivende for systemets valg. Systemet er ulikt tradisjonelle GIS-system ved at objektene i kartet, enten det er en dybde, et utslippspunkt eller et oppdrettsanlegg, kommuniserer egenskaper og avstand til hverandre samt beregner produksjonskapasiteten i det enkelte område. Utvalget av lokaliseringsparametrene og kunnskap om hvordan disse virker sammen er kritisk for kvaliteten av denne anbefalingen. I det videre arbeidet må det derfor etableres en enda bedre ”virkelighetsmodell” som i større grad sikrer samsvar mellom modellert anbefaling og en virkelig optimal lokalisering. Modellen vil høyst sannsynlig avdekke utilstrekkelig datagrunnlag både med hensyn til geografisk dekningsområde, kvalitet og tematisk bredde. Slik sett vil den også danne et mer målrettet grunnlag for et løft med hensyn til oppgradering og tilrettelegging av data.

Arbeidet med utvikling av ”virkelighetsmodellen” og etablering av bedre og flere temadata gir i tillegg grunnleggende kunnskap som har nytteverdi ut over AkvaVis. Systematisk kunnskap om hva som kjennetegner en god lokalitet vil kunne tas i bruk direkte av planleggere og forvaltning. Videre vil temadatasett produsert og tilrettelagt for AkvaVis også kunne visualiseres som kartlag hver for seg, eller benyttes i analyse i tradisjonelle geografiske informasjonssystemer.

AkvaVis har valgt blåskjell som modellart for utviklingsarbeidet. Bestemmende for valget er at det finnes en hensiktsmessig modell for simulering av produksjonen i et blåskjellanlegg basert på naturgitte kriterier. AkvaVis er imidlertid generell og utvides nå til å inkludere laks. Geografisk er den første versjonen begrenset til Hardangerfjorden, fordi hydrografi og strøm her er relativt godt kartlagt gjennom måling og simulering i andre prosjekter.

Hordaland fylkeskommune har initiert utviklingsarbeidet og er prosjektansvarlig, Havforskningsinstituttet har utviklet modellen for beregning av bæreevne og skaffet opplysninger om strømforhold og nye arters miljøkrav, mens Christian Michelsen Research har utviklet dataprogrammet. Midlene til utvikling av AkvaVis er skaffet til veie av de fire vestlandsfylkene, Innovasjon Norge og Havforskningsinstituttet.

1.2 Veien videre

AkvaVis har vært gjennom flere års utviklingsarbeid og undersøkelser av brukerbehov innen forvaltning, planlegging og næring. På bakgrunn av dette arbeidet og de erfaringene det har gitt er det produsert én prototyp og flere rapporter. Ikke minst er det vokst frem en sterk forståelse av muligheten til å utvikle et unikt plan- og forvaltningsverktøy for akvakultur. Den norske havbruksnæringen, sammen med våre sterke kunnskapsmiljøer, har særlige fortrinn for å løse denne oppgaven til beste både for miljø og næringsutvikling.

Vi tror veien videre vil være et system med **tre moduler**. AkvaVis-prototypen slik den er i dag er et innspill til den ene av disse, **utforskermodulen**. Denne delen er egnet til å identifisere egnede oppdrettslokaliteter og til å simulere effekter av flytting av anlegg. Modulen tar hensyn til oppdrettsorganismens behov, naturgitte forhold og økonomisk bærekraft. Teknologien her er banebrytende og kjennetegnet av enkelt ”playstation” brukergrensesnitt, dynamikk og ”intelligente objekter”.

Videre ser vi at det er behov for en **kontrollmodul**. Denne modulen er særlig rettet mot forvaltningen, men er også nyttig for næringen fordi den viser ved kartfesting all tilgjengelig relevant informasjon i området. I det legger vi at denne modulen viser alle temaer som miljøovervåkning og resipientforhold, friluftsområder, plandata, farleder osv. Dette skal i minst mulig grad gjøres ved dobbellagring og oppretting av nye geodatabaser. Vi forutsetter at denne modulen linkes opp mot temakartlag med egenskapsdata hos de respektive sektorforvaltningsetatene som eier informasjonen eller ”Norge digitalt”. Slik oppnår en til en hver tid å ha oppdatert informasjon. Videre sikrer vi at både konsesjonssøker, planlegger og mottaker får tilgang på felles beslutningsstøtte og vurderingsgrunnlag.

Det siste elementet i systemet kan være **søknadsmodulen**. Denne kan svare for to behov som har vært etterspurt dels fra næringen og dels fra forvaltningen. Næringen har ønsket å spare ressurser i søknadsfasen ved å forenkle informasjonsinnhenting og kartproduksjon. En rapportgenerator i AkvaVis kan lage søknadsmateriell etter ferdige maler og med høyoppløste kart. Disse vil være egnet for enkel elektronisk formidling til konsesjonsmyndighetene. Høyoppløste bunntopografikart kan videre være nyttig ved detaljprospektering på lokalitetsnivå. For forvaltningen vil et slikt system kunne være et bidrag til e-saksbehandling, ”Alt-inn” med mer.

For all videreutvikling av AkvaVis vil veien videre gå gjennom;

- Utvidelse av geografisk område
- Utvidelse til å gjelde flere oppdrettsarter (”nye” marine arter og laks og ørret)

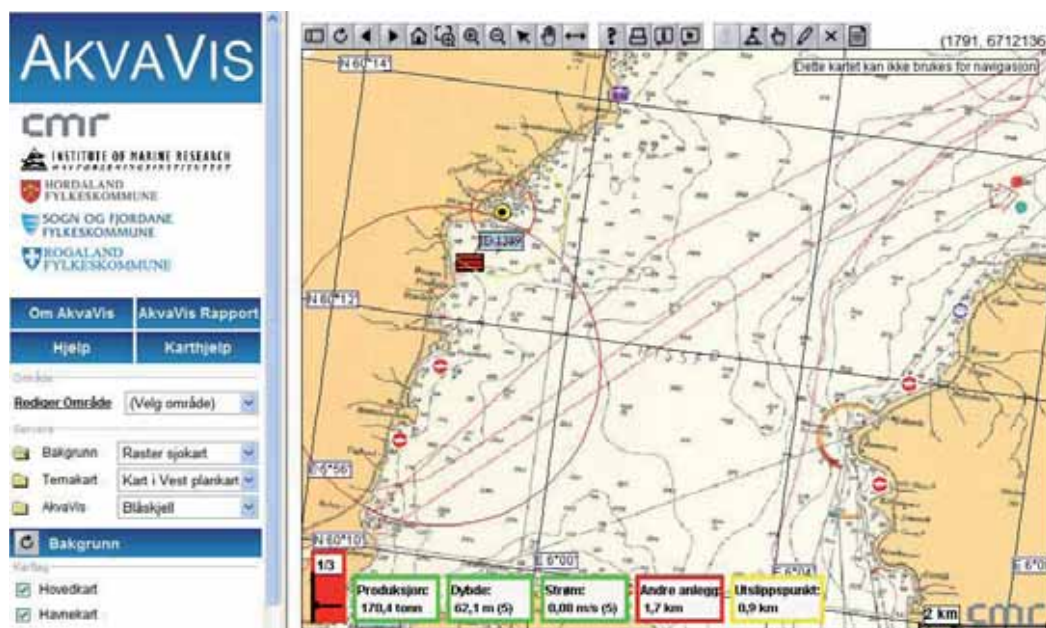
- Videreutvikling av ”virkelighets- og datamodell”
- Ytterligere utvikling av grensesnitt
- Innhenting av flere og bedre grunnlagsdatasett

En tydelig og tung offentlig innsats vil gi eierskap og være utløsende for rask realisering av systemet. Utviklingen vil deretter skje i tett dialog mellom kunnskapsmiljøer, næring og forvaltning. Systemet kan også styrkes ved internasjonalt samarbeid.

1.3 Utvikling av dynamisk planverktøy - AkvaVis

1.3.1 Programvare for lokalisering av blåskjellanlegg

AkvaVis har utviklet en prototyp programvare som skal demonstrere nytten av et ”intelligent GIS-verktøy” for lokalisering av blåskjellanlegg, og som kan vise mulighetene i et beslutningsstøttesystem for planleggere i kommuner og fylker, forvaltning, forskning og næringsaktører (Figur 1.1). Programvaren skal ikke ta beslutninger for brukeren, men gi støtte i de beslutninger som skal tas. Prototypen er åpent tilgjengelig via internett på <http://insitu.cmr.no/akvavis>.



Figur 1.1. Brukergrensesnittet til prototypen AkvaVis er nettbasert. Det aktive objektet (rødt rektangel) er forstørret i skjermbildet og alle andre objekter (andre anlegg og utslippspunkt) og egnethetsindikatorerne nederst i kartbildet relaterer seg fargemessig til dette. Grønt betyr Godt egnet, gult Mindre godt egnet og rødt Ikke egnet.

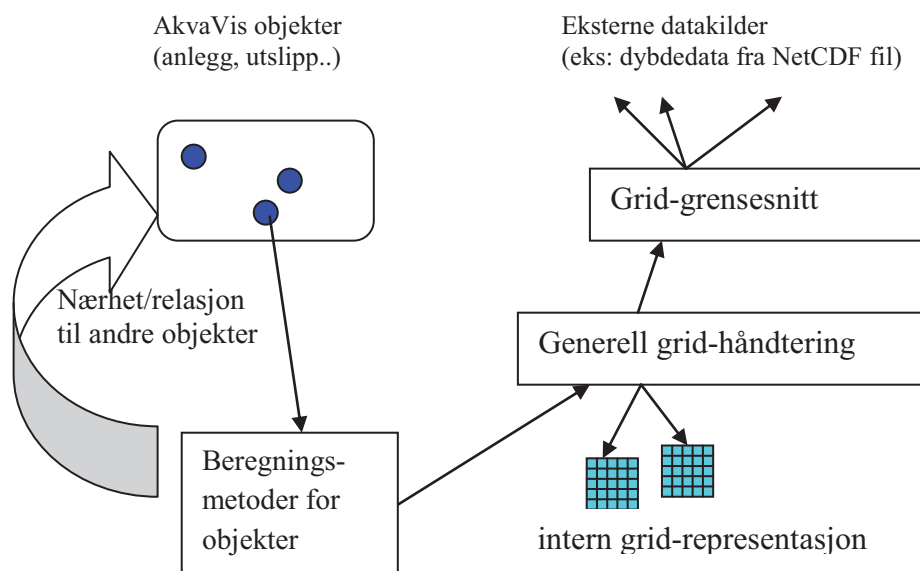
Prototypen er et dynamisk verktøy som gjør det enkelt for sluttbrukere å simulere effekter av valg. Systemet gir brukeren mulighet til virtuelt å plassere blåskjellanlegget på kartet og få tilbakemelding på om “det var lurt eller ikke”, og hvorfor, ut fra et utvalg viktige parametere, her også kalt egnethetsindikatorer, samt grenseverdier for egnethet. Systemet gir altså bruker informasjon om hvorfor systemet kommer med anbefalingen.

Prototypen er geografisk avgrenset til Hardangerfjorden, og type oppdrettsanlegg som blir demonstrert i prototypen er kun blåskjellanlegg. En rekke lokaliseringsparametere er interessante, men de som er implementert i prototypen er 1) dybde, 2) strøm, 3) avstand til andre oppdrettsanlegg, 4) avstand til kommunale utslipp og 5) produksjon, dvs. et estimat på maksimal biomasse av blåskjell i anlegget. Denne beregnes av en egen simuleringsmodell på grunnlag av opplysninger om næringstilgang (strøm og algekonsentrasjon) og utformingen av anlegget. Brukeren får også informasjon om total egnethet, beregnet på alle lokaliseringsparametrene.

1.3.2 Objektmodell

For å få til dialogen mellom bruker og programvaren har AkvaVis utviklet en modell for å simulere utvalgte deler av virkeligheten. Denne modellen kalles her for objektmodell og er den som beregner programmets respons til brukeren ut fra de valg brukeren gjør. F.eks. når bruker virtuelt setter inn et nytt blåskjellanlegg på en lokalitet gis det umiddelbar respons på om lokaliteten kan være en god, mindre god eller dårlig lokalitet totalt sett og i forhold til hver av de utvalgte lokaliseringsparametrene.

Objektmodellen (Figur 1.2) baserer regnereglene på blåskjellmodellen (kapittel 1.4), vektningen av lokaliseringsparametrene gitt i kapittel 1.3 og valg brukeren gjør underveis. Eksempel på brukervalg er plassering og flytting av anlegg og redigering av anleggsparametere. For hvert nytt brukervalg regner Objektmodellen ut egnethetsindikatorfargen for alle objekt, dvs. det aktive anlegget, andre anlegg og egnethetsindikatorerne (Figur 1.1, nede i kartbildet), og oppdaterer skjermbildet slik at brukeren kontinuerlig ser konsekvensene av valgene sine.



Figur 1.2. Skisse over objektmodell i AkvaVis.

1.3.3 Arkitektur for demonstrasjonsprogramvaren

Følgende er implementert:

- AkvaVis-objekt for blåskjellanlegg med tilhørende beregningsmetoder
- Innlesing fra 2D dybdegrid brukes (NetCDF-format)
- Innlesing av utslippsobjekter er basert på statiske data i form av dbf-fil fra HFK, posisjoner i UTM 32 projeksjon (ref. Arne Klingsheim 18/10-2007)
- Innlesing av statistisk 2D datasett over strøm (NetCDF-format)
- Innlesing av objekter fra andre anlegg basert på data fra Fiskeridirektoratet (csv-format)

Følgende er det lagt til rette for:

- Å lage nye typer AkvaVis-objekter, som bruker andre beregningsmetoder og symbol for visning. Via generell håndtering av griddata og gridgrensesnitt kan også nye, fremtidige griddata gjøres tilgjengelig med minimale kodeendringer (via gridgrensesnitt). Nye griddata representeres ved å innføre nye parametere; unngår unødige kodeendringer)

Figur 1.3 gir en oversikt over arkitekturen til demonstrasjonsprogramvaren. Brukeren får adgang til tjenestene til AkvaVis gjennom å åpne en vanlig nettleser og skrive <http://insitu.cmr.no/akvavis> i adressefeltet. Alt etter hva brukeren spør etter, henter serveren opp og setter sammen kart og data fra enten eksterne (lagret på en annen server) eller interne datakilder (lagret på samme server). Som figur 1.3 viser ligger Objektmodellen, beskrevet i forrige kapittel, på AkvaVis-serveren.

Det er lagt vekt på at arkitekturen (Figur 1.3) er basert på internasjonale standarder og at den skal ha robuste og generelle løsninger som gjør videreutvikling av funksjonalitet mest mulig effektiv. Karttjeneren som er brukt er et WMS-rammeverk utviklet av CMR.

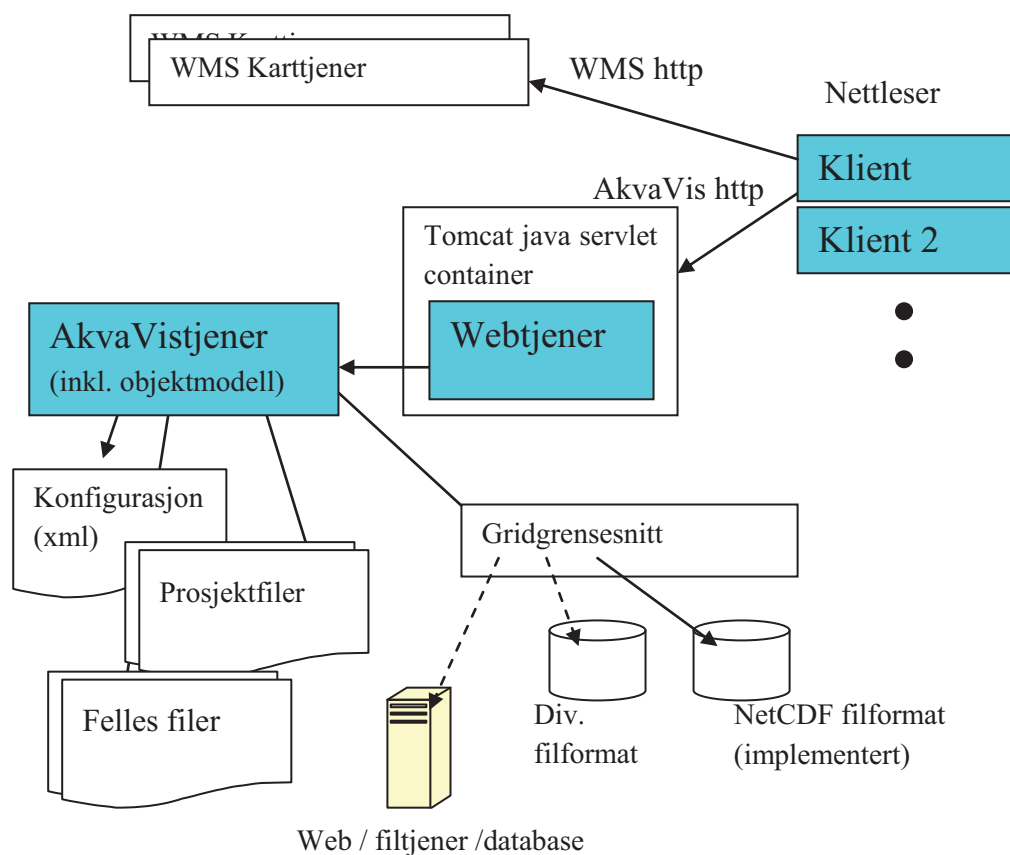
Følgende er implementert:

- Klient: WMS-basisklient med tilleggsverktøy for AkvaVis-operasjoner i kart (nytt anlegg, flytt, rediger, fjern)
- Web-tjener tilpasset/utvidet med AkvaVis http-forespørsler i tillegg til wms-standard kall (kart)
- AkvaVis-tjener: Utfører generelle AkvaVis-operasjoner på objektmodell, uavhengig av anleggstype (blåskjellanlegg i alfaversjon)
- NetCDF implementasjon av innlesing (via gridgrensesnitt)

Følgende er det lagt til rette for:

- Visning i generelle wms-klienter samt mulighet for å velge andre karttjenere.
- Kartlag/temalag for data som ikke inngår i beregninger/objektmodell kan vises via ekstern wms-karttjener.
- Generelt grid grensesnitt muliggjør enkel tillegging av nye kilder for gridbaserte data.

Støtte til nye filformat (andre enn NetCDF) eller nye forespørsler mot andre tjenere vil kreve nye rutiner tilpasset gridgrensesnitt, men vil ikke påvirke øvrig kode bak grensesnitt. Det er lagt til rette for lagring av prosjektdata per bruker.



Figur 1.3. Skisse over overordnet arkitektur for AkvaVis.

Utviklingen av kartrammeverket som AkvaVis bygger på startet i 2002 og er basert på WMS-standarden. I 2003 startet tilpasningsarbeid i retning av? MetOc (presentasjon av meteorologiske og oseanografiske data, i samarbeid med Forsvarets forskningsinstitutt og met.no) og AIS (Automatic Identification System, i samarbeid med Hovedrednings-sentralene). CMRs MetOc- og AIS-programvare er basert på den samme kjernen (det vi kaller rammeverket), og etter hvert er denne videreutviklet til å håndtere stadig nye typer data (bl.a. sporingsdata for Havforskningsinstituttet).

1.4 Lokaliseringsparametere

Anleggets egnethet er beregnet ut fra følgende lokaliseringsparametere:

- Dybde (Sjøkartverket og Kapittel 2.1)
- Strøm (Kapittel 2.3)
- Avstand til andre anlegg
- Avstand til kommunale utslipp
- Produksjon (Kapittel 1.5)

Dataeier og format på lokaliseringsparametrene er omtalt i kapittel 1.3.3.

Dybde

Det bør være så dypt under et blåskjellanlegg at partikler og skjell fra anlegget spres utover mens de synker mot bunnen. På den andre siden bør det ikke være så dypt at kostnadene med å fortøye anlegget blir uforholdsmessig store. Vi har valgt 20 m som minste anbefalte dybde og finner dybder mellom 20 og 30 m akseptable. Dybder mellom 30 og 130 m anser vi som velegnet, mens dyp mellom 130 og 150 m er akseptable og dyp over 150 meter er uegnet. Kostnader knyttet til forankring øker altså ved store dyp, men grenser for hva som er realistisk avhenger av det teknologiske stadiet næringen er på.

Strøm

Strømhastighet er avgjørende for tilførsel av føde til blåskjellanlegg. Variasjon i denne parameteren betyr relativt mye for egnethet sammenlignet med produksjonsparametere som konsentrasjon av føde og temperatur. I et standard dyrkingsanlegg (hengende kultur), antar vi at en midlere strømhastighet på 3 cm per sekund er nedre grense for en akseptabel produksjon, at strøm mellom 3 og 5 cm per sekund er akseptabel og at strøm over 5 cm per sekund sikrer god produksjon. Øvre grenser for strømhastighet begrenses særlig av fysisk virkning på anleggsstruktur. Vi har valgt å angi 15 til 40 cm per sekund som akseptabelt og over 40 cm per sekund som uakseptabel sterk strøm.

Avstand fra andre anlegg og fra kommunale utslipp

Grenser for avstand til andre anlegg og utslipp er hentet fra Mattilsynets ”Veileder til forskrift av 16.1.2004 nr 279 om godkjenning av etablering og utvidelse av akvakulturanlegg og registrering av pryddammer § 5”. Den skiller mellom tillatt og ulovlig. Kategorien akseptabelt blir derfor ikke brukt. Lovlig avstand mellom skjellanlegg er 1 500 m, og avstand til matfiskanlegg er 2 500 m dersom maksimal tillatt biomasse (MTB) i matfiskanlegget er under 3 120 tonn og 5 000 m dersom MTB er over 3 120 tonn. Avstand til slakteri skal være over 5 000 m.

Estimert produksjon beregnes ut fra følgende:

- Anslått næringskonsentrasjon har en konstant verdi (1.5 mg klorofyll per m³ fastsatt på grunnlag av målinger) i de øverste 10 m, og er satt til 0 i resten av vannsøylen
- Strøm, basert på måling og simulering i grov skala (800 m gitteropløsning) (Kapittel 2.3 Numerisk fjordmodellering)
- Anleggets størrelse og utforming, sett i relasjon til strømforhold og næringstilgang

Hvor godt egnet hver enkelt parameter er, samt lokalitetens totale egnethet, angis ved hjelp av egnethetsindikatorer representert med fargekodene grønn (god), gul (mindre god) og rød (dårlig). Grenseverdier for egnethetsmål for de ulike lokaliseringsparametrene er gitt i Tabell 1.1.

Tabell 1.1. Grenseverdier for egnethetsmål for lokaliseringsparametere brukt ved vurdering av egnethet av lokaliteter for blåskjellanlegg. V_1 angir midlere bakgrunnsstrøm. Grønn farge angir godt egnet, gul mindre godt (akseptabel) og rød dårlig (uakseptabel). NA angir at kravene er absolutte, og at en bare skiller mellom lovlig og ulovlig, mindre god (gul farge) brukes følgelig ikke. MTB angir maksimal tillatt biomasse i matfiskanlegg.

Parameter	Rød	Gul	Grønn	Gul	Rød
D = dybde (m)	$D < 20$	$20 < D < 30$	$30 < D < 100$	$100 < D < 150$	$D > 150$
V_1 = strøm (cm/s)	$V_1 < 3$	$3 < V_1 < 5$	$5 < V_1 < 15$	$15 < V_1 < 40$	$V_1 > 40$
ASA = avstand til andre skjellanlegg (m)	$ASA < 1500$	NA	$ASA > 1500$	NA	NA
AFA = avstand til andre fiskeanlegg (m)	$AFA < 2500$ for anlegg med MTB < 3120 og $AFA < 5000$ for anlegg med MTB > 3120	NA	$AFA > 2500$ for anlegg med MTB < 3120 og $AFA > 5000$ for anlegg med MTB > 3120	NA	NA
ASL = avstand til slakteri (m)	$ASL < 5000$	NA	$ASL > 5000$	NA	NA
AU = avstand til kommunale utslipp (m)	$AU < 500$	$500 < AU < 1000$	$AU > 1000$	NA	NA

Lokalitetens egnethetsindikator settes lik den ”dårligst” oppnådde egnethetsverdien for lokaliseringsparametrene. Dvs. dersom minst én indikator er rød, blir total egnethetsindikator rød. Hvis ingen er røde, men minst én er gul, blir total egnethetsindikator gul. Hvis alle er grønne, blir total egnethetsindikator grønn.

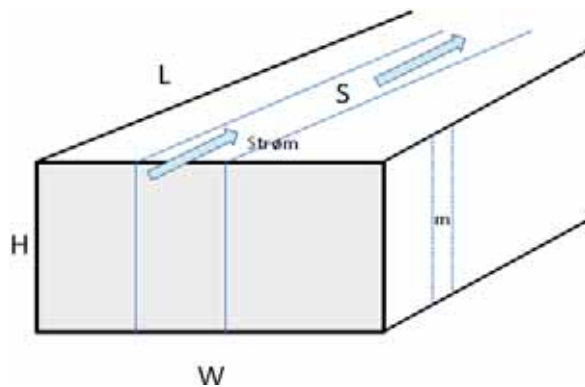
1.5 Beregningsmodell for bæreevne i blåskjellanlegg

Bæreevnen av et blåskjellanlegg er bestemt av tilførselen av fødepartikler (planteplankton og organiske partikler) til skjellene. Tilførselen er bestemt av strømforhold, konsentrasjonen av fødepartikler og anleggets utforming. Når vi antar en gitt nedre terskelkonsentrasjon av fødepartikler (C_t) hvor blåskjellene slutter med effektivt fødeopptak (jf. 3.1.1.2), kan bæreevnen defineres som ”den største biomasse av skjell et anlegg kan inneholde uten at konsentrasjonen av fødepartikler i anlegget blir lavere enn terskelkonsentrasjonen C_t ”.

Bæreevne i tonn for et blåskjellanlegg (BM_c) kan beregnes som følger (Aure *et al.* 2007):

$$BM_c = 2 \cdot H \cdot W \cdot V_1 \cdot (c \cdot S / 2L)^{0.5} \cdot (C_1 - C_t) / (C_1 + C_t) / Fr / 1000 \quad (1)$$

hvor H, W og L er henholdsvis høyden, bredden og lengden av anlegget, V_1 (m per sek) er midlere bakgrunnsstrøm i anleggets lengderetning og S (m) er avstanden mellom bærelinene (Figur 1.4). C_1 (mg klorofyll a per m^3) er midlere konsentrasjon av fødepartikler i innstrømmende vann, Fr (m^3 per sek per kg skjell) er skjellenes midlere filtreringsrate, c er en konstant knyttet til friksjonen i anlegget, mens C_t er definert over.



Figur 1.4. Prinsippskisse av skjellanlegg. W angir lengden, H høyden og L lengden av anlegget, S er avstand mellom bærelinene og m er avstanden mellom skjellstrømpene.

Når avstanden mellom de vertikalt hengende ”skjellstrømpene” på bærelinene er 0.4 m og maksimalt antall kg skjell pr m skjellstrømpe (b_{maks}) er satt til 8 kg, vil maksimal bæreevne for et gitt anlegg (BM_{max}) i tonn bli:

$$BM_{\text{max}} = L \cdot W \cdot H / (S_{\text{max}} \cdot m) \cdot b_{\text{maks}} / 1000 \quad (2)$$

Bæreevnen for blåskjellanlegget (BM_c), beregnet ved ligning (1), har dermed sin øvre grense gitt ved BM_{maks} i lign (2). Ved å kombinere ligningene (1) og (2) finnes avstanden i m mellom bærelinene (S_{max}) når $BM_c = BM_{\text{max}}$.

$$S_{\text{max}} = (1/V_1)^{0.66} \cdot L \cdot (b_{\text{maks}} \cdot Fr \cdot (C_1 + C_i) / (m \cdot (C_1 - C_i) \cdot (2c)^{0.5}))^{0.66} \quad (3)$$

Ligning (3) settes inn i ligning (2). Vi får dermed et uttrykk i tonn for $BM_c = BM_{\text{max}}$:

$$BM_{\text{max}} = V_1^{0.66} \cdot W \cdot H \cdot (b_{\text{maks}}/m)^{0.34} \cdot ((C_1 - C_i) / (C_1 + C_i) \cdot (2c)^{0.5} \cdot 1/Fr)^{0.66} / 1000 \quad (4)$$

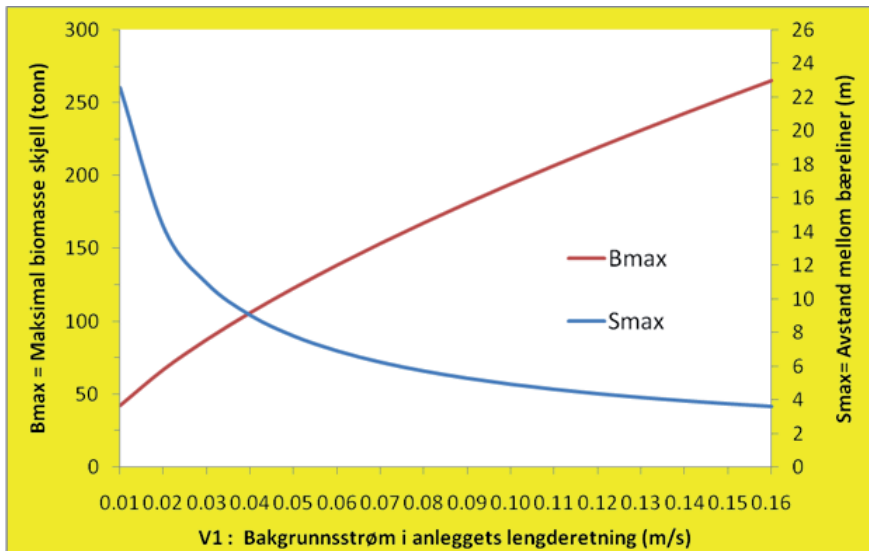
Maksimal bæreevne per flateenhet i anlegget (P_{max}) blir da:

$$P_{\text{max}} = BM_{\text{max}} / (W \cdot L) = V_1^{0.66} \cdot H / L \cdot (b_{\text{maks}}/m)^{0.34} \cdot ((C_1 - C_i) / (C_1 + C_i) \cdot (2c)^{0.5} \cdot 1/Fr)^{0.66} \quad (\text{kg/m}^2) \quad (5)$$

Ved en gitt anleggsutforming (faste verdier for høyde (H), bredde (W) og lengde (L)) og konstant verdi for avstand mellom skjellstrømpene (m), fødekonsentrasjon i vannet som strømmer inn i anlegget (C_1), terskelkonsentrasjonen der skjellene slutter med effektivt fødeopptak (C_i), maksimalt antall kg skjell per m skjellstrømpe (b_{maks}) og filtreringsrate (Fr), øker den totale biomassen i anlegget (BM_{max}) tilnærmet lineært med økende strøm inn i anlegget (V_1). For å kunne utnytte en stadig økende bæreevne med økende strøm må avstanden mellom bærelinene S_{max} reduseres (dvs. antall bæreliner i anlegget kan økes for et anlegg av gitt bredde).

For å beregne de relative endringene av maksimal biomasse i et skjellanlegg (BM_{max}) i et fjordområde har vi valgt et standard blåskjellanlegg med høyde 6 m, bredde 40 m og lengde 200 m, og avstanden mellom skjellstrømpene er satt til 0.4 m. Midlere fødekonsentrasjon i omgivelsene (C_1) i form av klorofyll *a* er satt til 1.5 mg per m^3 , terskelverdien der skjellene slutter med effektivt fødeopptak er satt til 0.7 mg klorofyll per m^3 og maksimal vekt av skjell per m skjellstrømpe er 8 kg. Ut fra disse forutsetningene er BM_{max} og avstand mellom

bærelinene (S_{\max}) som en funksjon av økende strøm vist i figur 1.5. Det er verd å merke seg at de største endringene i S_{\max} skjer ved lave strømhastigheter.



Figur 1.5. Maksimal bæreevne (BM_{\max}) og samsvarende avstand mellom bæreliner (S_{\max}) for et standard blåskjellanlegg med lengde (L) = 200 m, bredde (W) = 40 m, høyde (H) = 6 m og avstand mellom skjellstrøpene (m) = 0.4 m. Klorofyllinnholdet i innstrømmende vann (C_1) er satt til 1.5 mg per m^3 , terskelverdien der skjellene slutter med effektivt fødeopptak (C_t) er satt til 0.7 mg klorofyll per m^3 og maksimal mengde skjell per m skjellstrømpe (b_{\max}) er satt til 8 kg. Midlere bakgrunnsstrøm (V_1) varierer mellom 0.01 og 0.16 m per sek.

1.6 Referanser

- Aure, J., Strohmeier, T. and Strand, Ø. 2007. Modelling current and carrying capacity long-line blue mussels (*Mytilus edulis*) farms. *Aquaculture Research* 38: 304–312.
- Døskeland, I. and Hansen, P.K. 2000. Geographic Information Systems (GIS) as a tool for better integrated coastal zone planning and management (ICZP/M). ICES C.M. 2000/O:03.

2 Naturgitte forhold i Hardangerfjorden

De grunnleggende naturgitte forholdene topografi, hydrografi og strøm er relativt godt kjent for Hardangerfjorden, og prototypen for AkvaVis for lokalisering av blåskjellanlegg er derfor utviklet for dette området. Denne delen av rapporten gir en beskrivelse av topografi, vannmasser og strømforhold i fjorden.

2.1 Områdebeskrivelse

Hardangerfjorden er ca. 165 km lang og strekker seg fra Bømlahuk (Sletta) til Sørfjorden/Eidfjorden. Vi har valgt å dele Hardangerfjorden inn i fem soner (Figur 2.1).

Sone A: Fra Sletta til Ånuglo

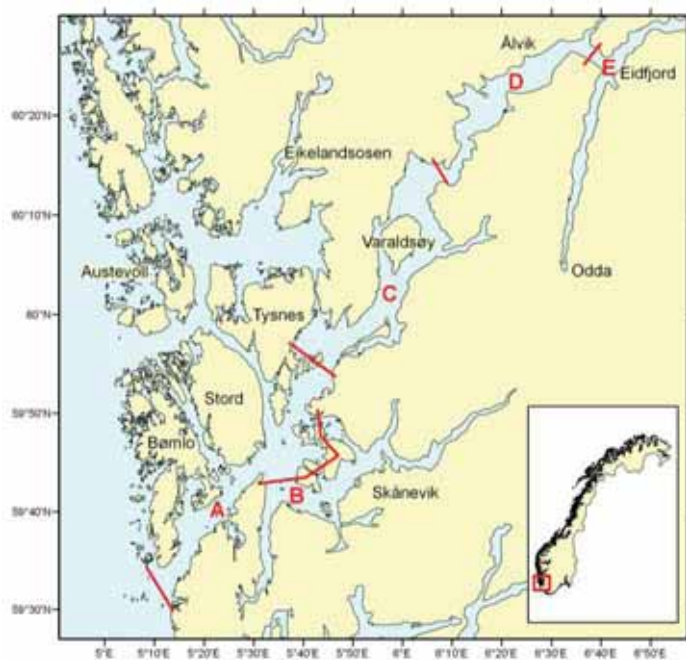
Sone B: Fjordområdene innenfor Halsnøy–Borgundøy

Sone C: Fra Ånuglo til Vikingnes

Sone D: Fra Vikingnes til Utne

Sone E: Sørfjorden og Eidfjorden

Den indre del består av Sørfjorden, Eidfjorden, Osafjorden og Ulvikfjorden (sone E). Den sentrale delen av Hardangerfjorden strekker seg fra Ånuglo til Utnefjorden (sone C og D), mens fjordområdene mellom Huglo og Sletta omfattes av Kosterfjorden og Bømlafjorden (sone A). I sørøst ligger et fjordsystem (sone B) som omfatter Ålfjorden, Skånevikfjorden, Etnefjorden, Ølenfjorden og Åkrafjorden.



Figur 2.1. Kart over Hardangerfjorden med geografisk soneinndeling.

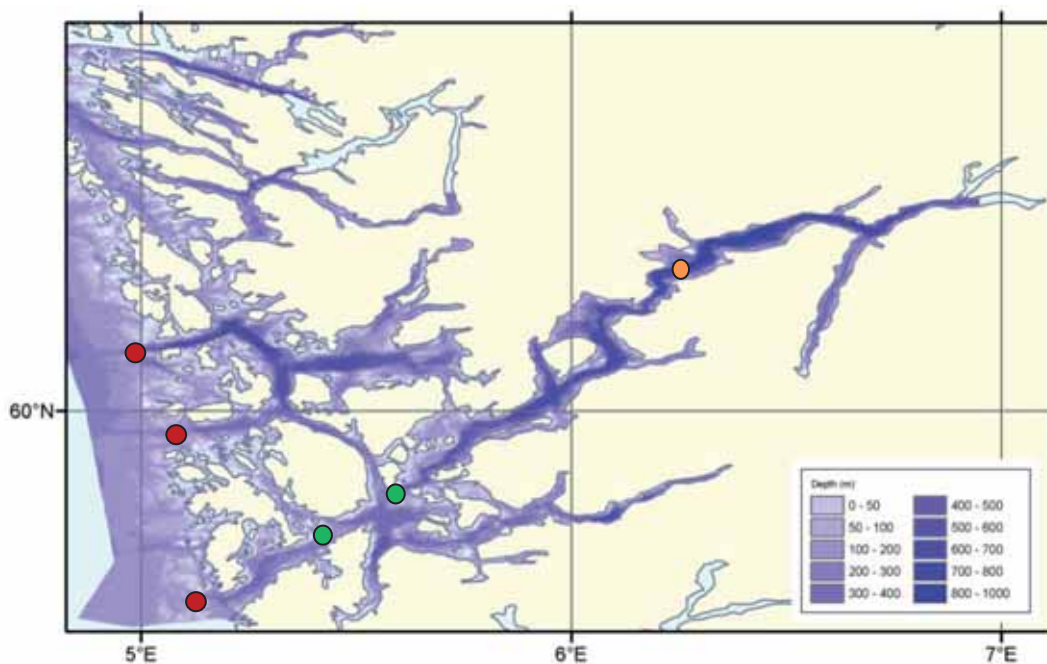
Totalarealet til Hardangerfjorden er ca. 1223 km², mens arealet av de enkelte sonene varierer mellom ca. 136 km² (sone E) og ca. 337 km² (sone C). Det totale volum mellom 0 og 5 m

dyp er ca. 6115 mill. m³ (sone A–E) og varierer mellom 680 mill. m³ i sone E og 1685 mill. m³ i sone C (Tabell 2.1).

Tabell 2.1. Oversikt over areal og volum mellom 0 og 5 m og 0 og 20 m dyp i den enkelte sone og for hele Hardangerfjorden.

Område	Sone	Areal (km ²)	Volum (0-5m) (mill. m ³)	Volum (0-20m) (mill. m ³)
Sletta–Ånuglo	A	310	1550	5580
Innenfor Halsnøy–Borgundøy	B	220	1100	3960
Ånuglo–Vikingnes	C	337	1685	6070
Vikingnes–Utne	D	220	1100	3960
Sør - og Eidfjorden	E	136	680	2450
Hardangerfjorden totalt	A–E	1223	6115	22010

Terskeldypene til Hardangerfjorden er ca. 150 m på Sletta og ca. 140 m ved Valevåg i Bømlafjorden. Det er også en sekundær terskel like sør for Huglo på ca. 190 m (Figur 2.2). Hardangerfjorden har også kontakt med kystvannet via Langenuen, Selbjørnsfjorden og Bjørnafjorden/Korsfjorden. Terskeldypet i Korsfjorden og Selbjørnsfjorden er henholdsvis 260 m og 170 m. Det går en djupål innover Hardangerfjorden fra terskelen ved Huglo til den indre delen av Eidfjorden. Største dyp i Hardangerfjorden er ca. 850 m utenfor Norheimsund i sone D.



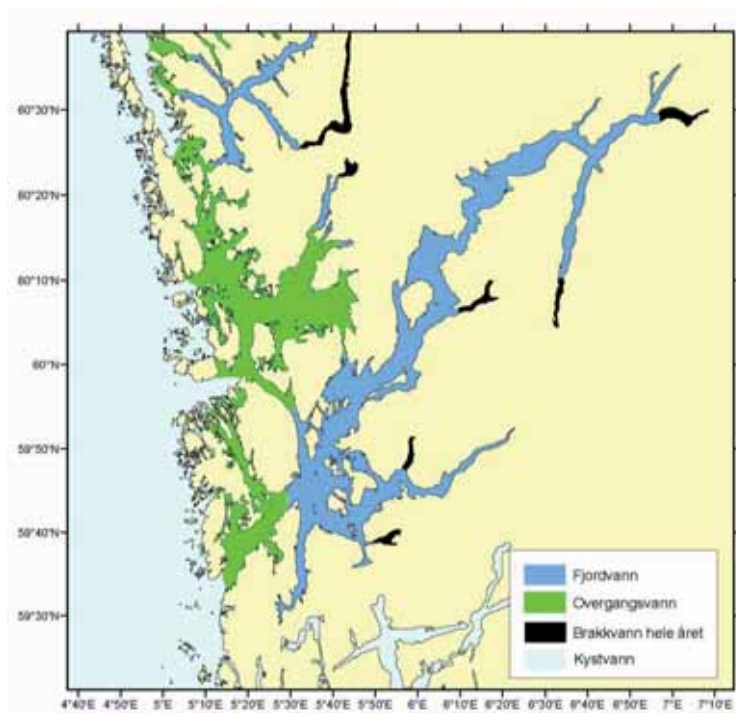
Figur 2.2. Bunntopografi i Hardangerfjorden. Røde sirkler: terskelområder ut mot havet. Grønne sirkler: terskler i Hardangerfjorden. Oransje sirkel: største dyp

2.2 Hydrografi og vannutskiftning

2.2.1 Vanntyper

Vannmassene i øvre lag av Hardangerfjorden kan deles inn i fire typer (Figur 2.3):

1. Fjordvann (saltholdighet < 25)
2. Overgangsvann (saltholdighet 25–30)
3. Kystvann (saltholdighet > 30)
4. Brakkvann hele året (saltholdighet < 25 hele året)

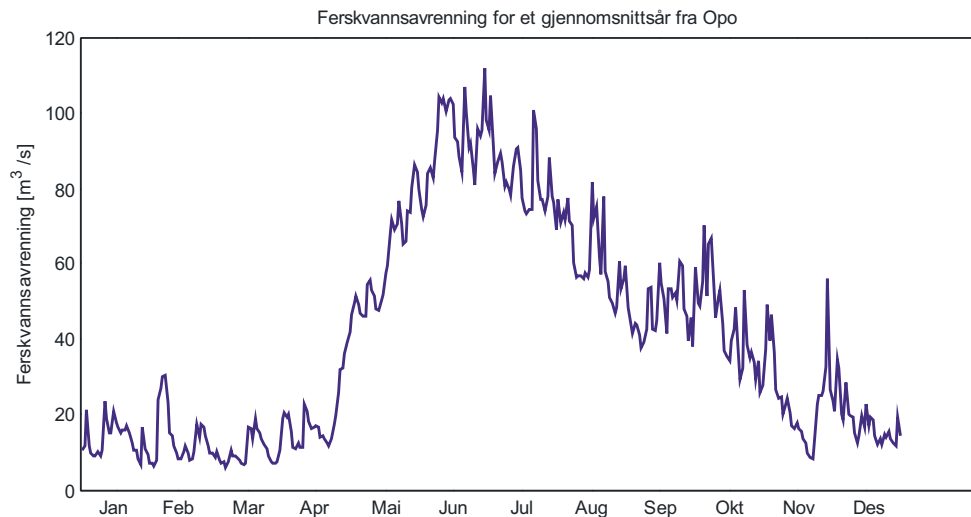


Figur 2.3. Midlere fordeling av hydrografiske soner i øvre lag av Hardangerfjorden i perioden juni–august..

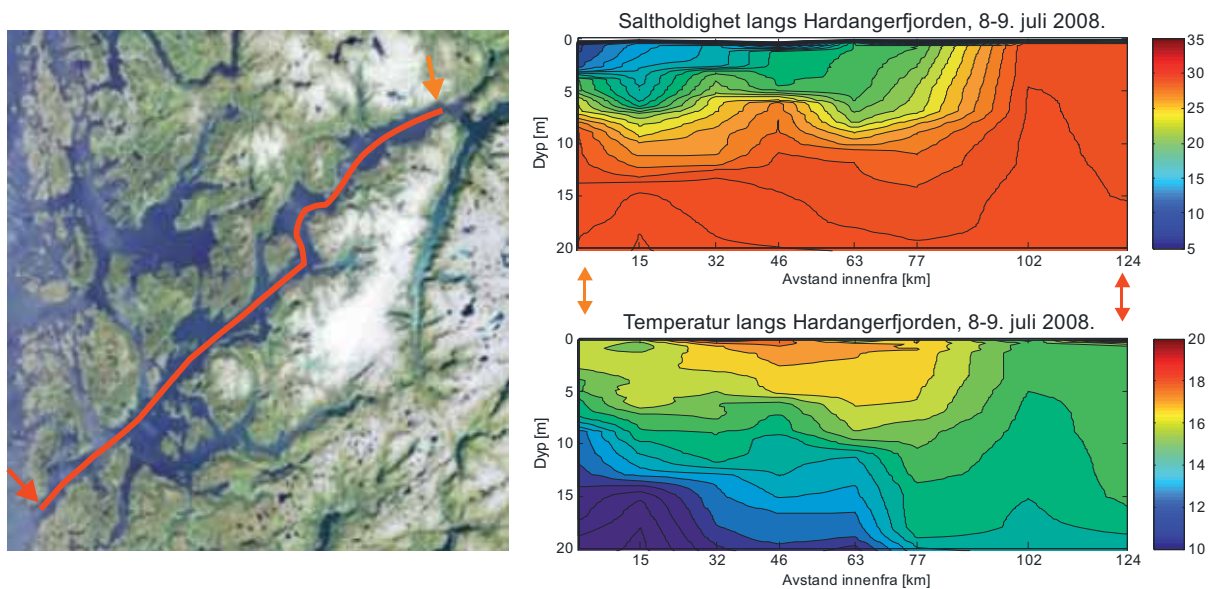
Det er betydelige tilførsler av ferskvann til Hardangerfjorden, med et årsmiddel på ca. 400 m³/s. Mest ferskvann tilføres i juni i forbindelse med snøsmeltingen, mens minst ferskvannstilførsel finner sted om vinteren i perioden fra januar til mars. (Figur 2.4).

Den årlige variasjon i ferskvannstilførselen fører til at fjordvannet i Hardangerfjorden har sin største horisontale utbredelse i perioden fra juni til august og ofte rekker ut til Tittelsnes på grensen til Bømlafjorden (Figur 2.3). Tykkelsen av brakkvannslaget varierer mellom 3 og 5 m (Figur 2.5).

Utbredelsen av fjordvann i sommerhalvåret varierer fra år til år, hovedsakelig som følge av varierende ferskvannstilførsel og vind. Utover høsten og vinteren reduseres tilførselene av ferskvann og dermed utbredelsen av fjordvann utover i fjorden. Om vinteren, fra januar til april, er det normalt saltholdigheter over 30 (kystvann) i det meste av Hardangerfjorden. Unntaket er fjordområdene hvor lokale utslipp av ferskvann fra vannkraftverk fører til brakkvann også i vinterhalvåret (Figur 2.3). I disse fjordområdene finner vi også de laveste saltholdighetene i sommerhalvåret (saltholdighet < 10.0).

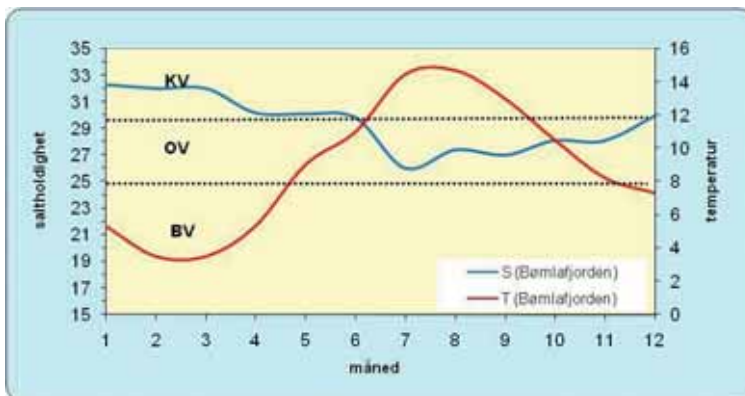
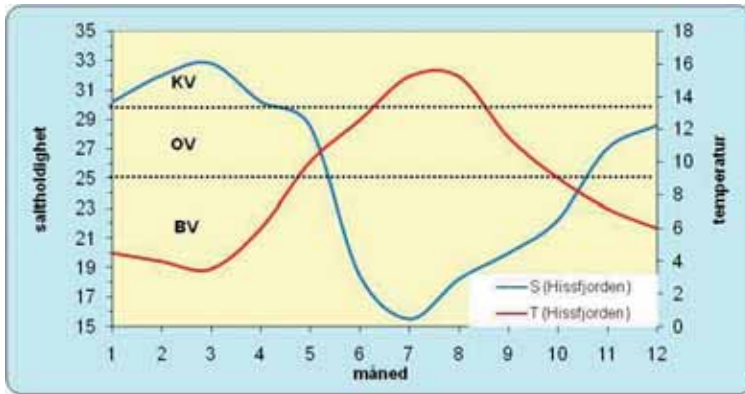


Figur 2.4. Typisk ferskvannsavrenning fra Opo i Hardangerfjorden som middelverdi av observasjoner fra NVE mellom 1985 og 2000.



Figur 2.5. Observert saltholdighet og temperatur som viser utstrekningen av brakkvannslaget i Hardangerfjorden 8.–9.juli 2008. Kartet viser lengdesnittet figuren dekker, og innerste observasjon (oransje pil) er til venstre på figurene over saltholdighet og temperatur.

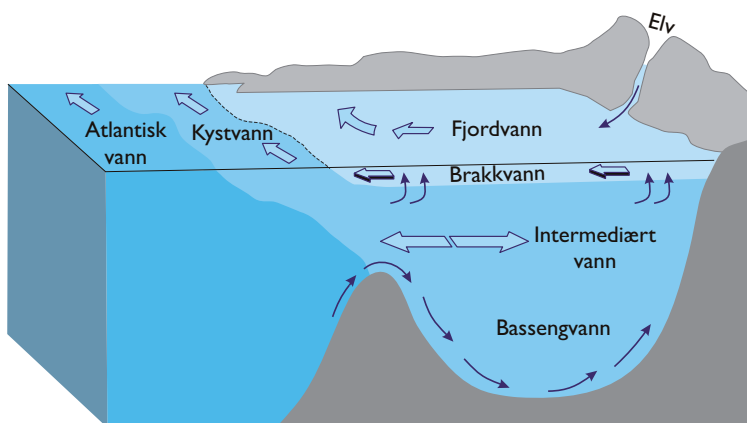
Ved Varaldsøy (Hissfjorden) er det i et middelår fjordvann fra mai/juni til oktober, overgangsvann i april/mai og i november/desember og kystvann fra januar til april. Laveste midlere saltholdighet i juli måned er ca. 15 (Figur 2.6). I Bømlafjorden er det overgangsvann fra juni til november og kystvann resten av året. Laveste midlere temperatur i øvre lag ved Varaldsøy (Hissfjorden) og i Bømlafjorden er ca. 3.5 ° C i mars. Høyeste midlere sommertemperatur er noe høyere ved Varaldsøy (15.2 ° C) enn i Bømlafjorden (14.7 ° C).



Figur 2.6. Saltholdighet og temperatur i Hissfjorden ved Varaldsøy og i Bømlafjorden gjennom et normalår. KV angir Kystvann, OV Overgangsvann og BV Fjordvann/Brakkvann.

Strømforholdene i Hardangerfjorden er relativt kompliserte siden dette er en stor fjord og det er mange ulike drivkrefter som virker inn samtidig (Figur 2.7). Vannutskiftningen innenfor og mellom Hardangerfjorden og kysten er hovedsakelig bestemt av:

- Ferskvannstilførselen (Estuarin sirkulasjon)
- Vindgenerert tyngdedrevet inn -og utstrømning av kystvann (Intermediær sirkulasjon).
- Tidevann (Tidevannsdrevet sirkulasjon)
- Lokal vind (Vinddrevet sirkulasjon)
- Innstrømning til dypbasseng (Tetthetsdrevet sirkulasjon)



Figur 2.7. Figuren gir en oversikt over hovedvann typer og sirkulasjonsmønster på kysten og i en fjord.

2.2.2. Drivkrefter for strøm

Estuarin sirkulasjon

Ferskvannet som tilføres fjorden blandes med underliggende sjøvann utover i fjorden, hovedsakelig pga. vindblanding. Brakkvanntransporten ut fjorden er vanligvis fire–fem ganger større enn ferskvanntilførselen til fjorden. Sjøvannet som transporteres ut fjorden med brakkvannet kompenseres med innstrømning av sjøvann under brakkvannet. Typisk brakkvannstransport ut av Hardangerfjordsystemet i de øverste 4–5 m er ca. 1800 m³ per sek når midlere ferskvannstilførsel er ca. 400 m³ per sek. Observert strøm i overflatelaget gjennom årene 2004–2007 (Figur 2.8) viser at brakkvannslaget ofte følger høyre fjordside på vei ut Hardangerfjorden, sett i strømretningen. Dette skaper en motstrøm og medfører at fjordvann i perioder strømmer innover på øst- og sørsiden av Hardangerfjorden, og da særlig i området ved Rosendal–Løvfallstrand og i Maurangerfjorden noen kilometer lenger nord.

Intermediær sirkulasjon

Nordavind fører til oppstrømning av saltene og tyngre vann langs kysten. Under slike forhold vil vann strømme inn Hardangerfjorden i dypere lag over terskeldypene, mens det samtidig går en strøm ut mot kysten i øvre lag. Ved sørlige vinder får vi den motsatte sirkulasjon hvor kystvann transporteres inn i fjorden i øvre lag og ut i dypereliggende lag.

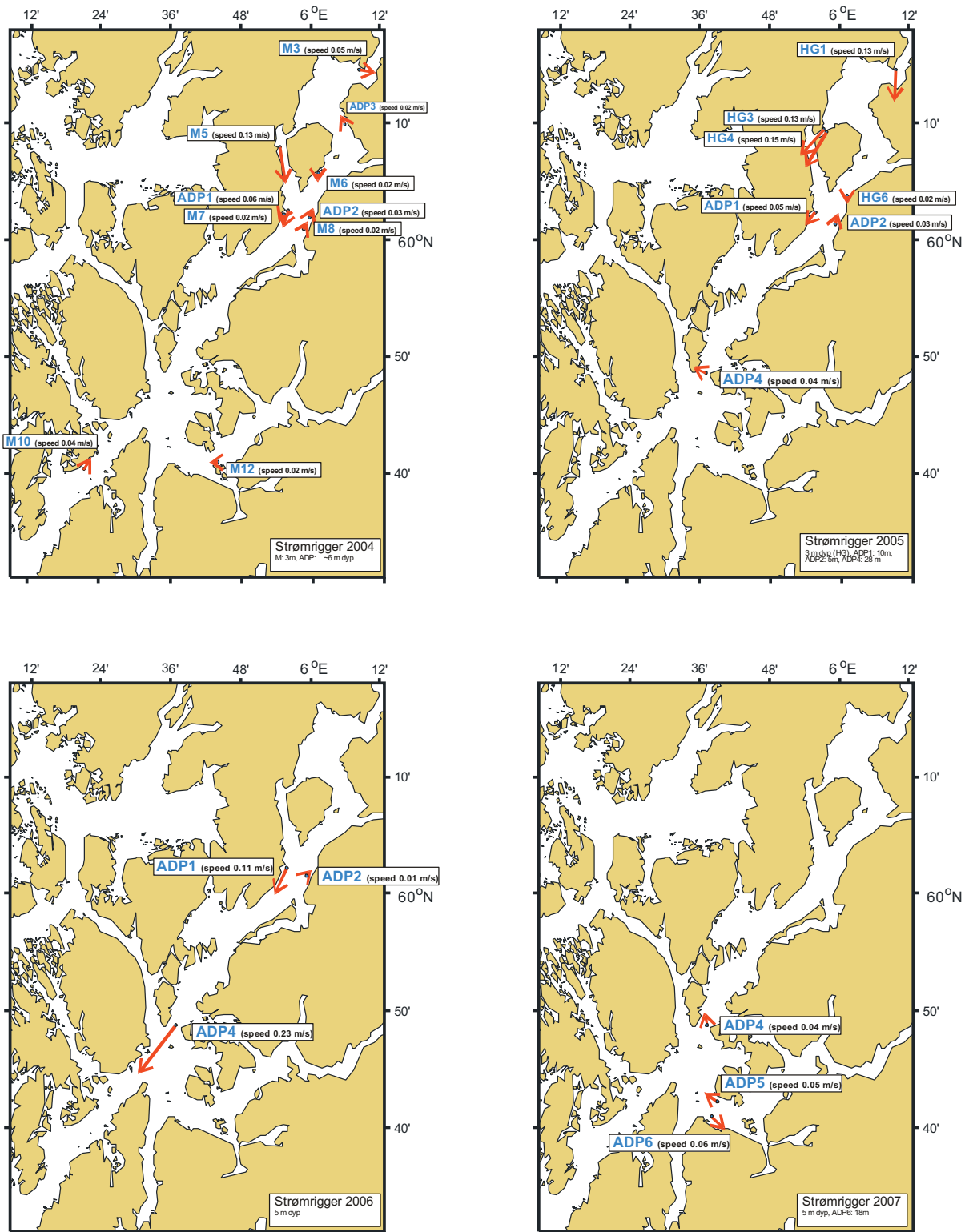
Denne siste sirkulasjonstypen opptrer også i perioder med utstrømning av kystvann fra Skagerrak til Sør-Vestlandet. Midlere intermediær vannutskiftning over terskeldypet ved Valevåg i Bømlafjorden er beregnet til omlag 20 000 m³ per sek. (Ancylus: FjordEnv 3.3, info\$ancylus.net).

Et eksempel på denne sirkulasjonstypen er observert ved to posisjoner i månedsskiftet februar–mars i 2005 (Figur 2.9). I posisjonen nord for Halsnøy (Rigg H4) foregår det en netto innstrømning fra 30 m til 40–50 m dyp med strømhastigheter mellom 0,1–0,2 m/s. Lenger inn i fjorden, ved Løvfallstrand (Rigg H2), finner vi igjen samme innstrømning mellom 30 og 5 m dyp. Dette viser en betydelig intermediær innstrømning av kystvann til Hardangerfjorden i de øverste 40–50 m i denne perioden. Kurven under isopletdiagrammet for rigg H2 viser strømhastighetene langs fjorden i 10 m dyp, og det framkommer at kystvann strømmet inn fjorden (positive verdier) i ca. en uke, med en midlere strømfart på ca. 0.1 m per sek. Et overslag over midlere vanntransport i de øvre 20 m av Hardangerfjorden ved Løvfallsstrand i denne perioden blir da ca. 4 000 m³ per sek. Siden den intermediære innstrømningen pågikk en uke vil et volum tilsvarende $2,5 \cdot 10^9$ m³ ha passert inn fjorden. Volumet av vannet i de øverste 20 m innenfor Løvfallstrand er ca. $9,5 \cdot 10^9$ m³ (Tabell 2.1), og dette betyr at ca. 25 % av vannet mellom 0 og 20 m dyp potensielt ble skiftet ut i løpet av ca. 1 uke.

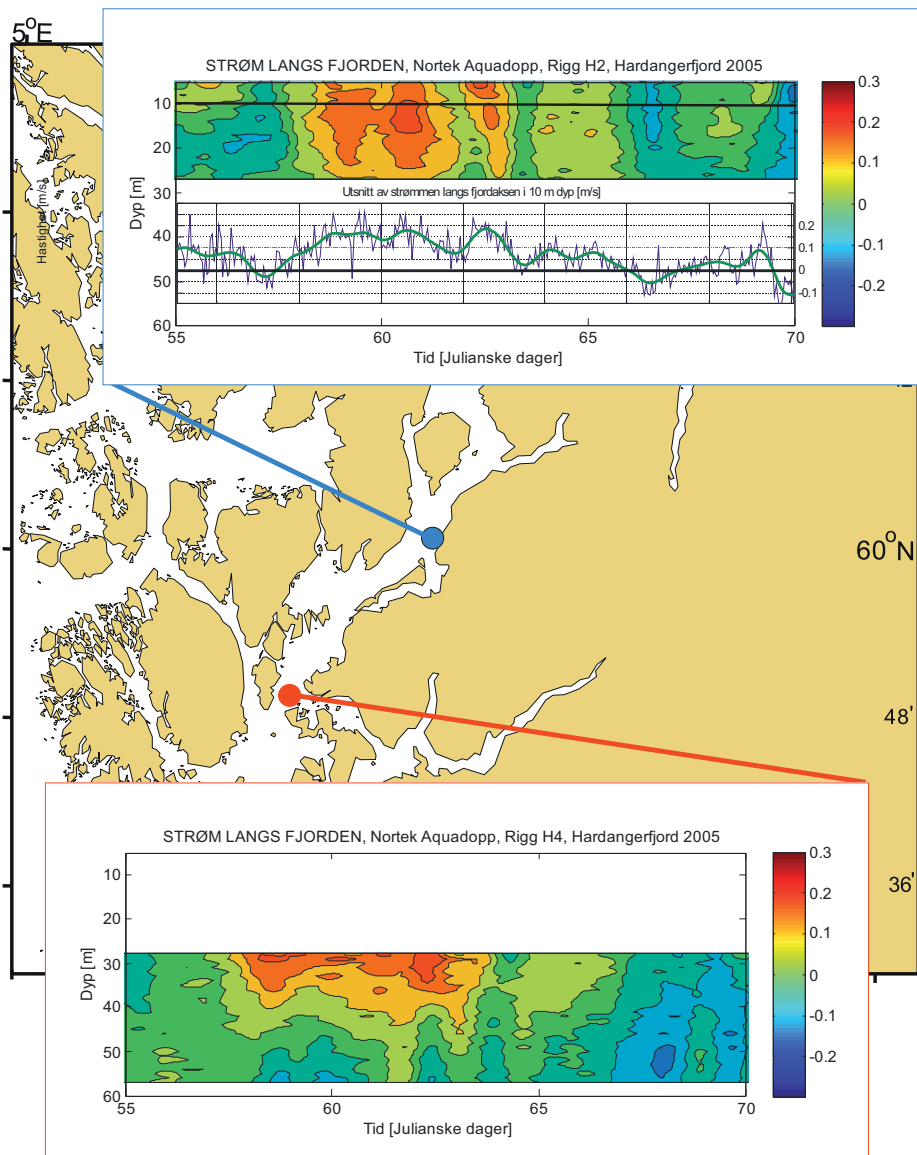
Tidevannsdrevet sirkulasjon

Vannstanden i fjorden varierer dels på grunn av astronomisk tidevann og dels på grunn av meteorologiske forhold (vind og lufttrykk). Det halvdaglige tidevann dominerer, og i Hardangerfjorden er midlere tidevannsamplitude 0,6 m. Dette fører til en midlere inn- og uttransport av tidevann på ca. 30 000 m³ per s over terskeldypet ved Valevåg. Hvis vi antar at

ca. 50 % av tidevannet blandes med fjordvann, vil midlere nettotransport ut av Hardangerfjorden ved Valevåg være omlag 15 000 m³ per sek.



Figur 2.8. Observert strøm i overflatelaget for ulike posisjoner, hovedsakelig om våren i perioden 2004–2007.



Figur 2.9. Observert strøm langs fjordaksen ved en posisjon nord for Halsnøy (Rigg H4, rød sirkel) og Løvfallstrand (Rigg H2, blå sirkel) i februar–mars 2005. Positive verdier (røde farger) angir strøm inn Hardangerfjorden. Kurven viser strømmen i 10 m dyp ved Rigg H2. (Julianske dager er løpende dager i inneværende år). Strømskalaen til høyre på figuren viser strøm i m per sek.

Lokal vindrevet sirkulasjon

Lokal vind er viktig for blandingen av ferskvann med sjøvann og er et viktig bidrag til å jevne ut forskjeller i bl.a. temperatur og saltholdighet innenfor Hardangerfjordsystemet. Lokale vindforhold er også viktige for kortperiodiske endringer (dager) i strømforholdene i øvre lag av fjorden.

Tetthetsdrevet sirkulasjon – bassengvann.

Når tettheten i kystvannet i terskelnivå er større enn tettheten av vannet i fjordbassenget under terskeldypet, strømmer det kystvann ned i bassenget. Det innstrømmende vannet kan lagre seg inn et stykke under terskelnivå (delvis vannutskifting) eller strømme ned til de dypeste delene av bassenget (full vannutskifting). I perioder med innstrømming til

bassengvannet øker vannutskiftningen også over terskeldypet i fjorden. Oksygenverdiene i bassengvannet er lavest like før en ny innstrømning og er bestemt av oksygenforbruket og tiden mellom hver innstrømning til bassengvannet. Innstrømninger til bassengvannet skjer ofte om våren og tidlig på sommeren i Hardangerfjorden.

Vannutskifting 0–20 m

Midlere vannutskiftning forårsaket av estuarin, intermediær og tidevannsdrevet sirkulasjon i de øverste 20 m av Hardangerfjordsystemet innenfor terskelen ved Valevåg er beregnet til ca. 7 500 m³ per sek og ved Ånuglo ca. 5 000 m³ per sek (Ancylus: FjordEnv 3.3, info\$ancylus.net). Dette gir en midlere oppholdstid av vannet i de øvre 20 m av Hardangerfjordsystemet på omlag 30 døgn.

2.3 Numerisk fjordmodellering

For å skaffe et så utfyllende bilde av strømforholdene i fjordene som mulig, har vi som et supplement til observasjoner etablert en numerisk fjordmodell. Dette er en modell som løser de hydrodynamiske ligningene for vannets bevegelse under gitte forutsetninger og med realistiske drivkrefter. Modellen, som må kjøres på raske datamaskiner, har som resultat strøm i tre dimensjoner, vannstand, saltholdighet og temperatur. Fjordområdet er oppdelt i et beregningsgitter som har typisk oppløsning på noen hundre m horisontalt til noen titalls cm og lengre vertikalt (finest vertikal oppløsning i overflatelaget og grovere nedover i dypet).

I Hardangerfjorden er det gjennomført simuleringer av strøm med et modellsystem som består av en egen atmosfæremodell, egne modeller for randbetingelser mot havet og en fjordmodell. Atmosfæremodellen (MM5) beregner vind med en romlig oppløsning på 3 km, noe som får med det meste av topografiens innvirkning. Modellene for randbetingelsene mot havet beregner strøm for hele Nordsjøen med 20 km horisontal oppløsning, deretter Skagerrak og Vestlandskysten med 4 km horisontal oppløsning. Fjordmodellen (BOM) har 800 m horisontal oppløsning.

2.3.1 Atmosfæremodellen (MM5)

MM5 er en regional, ikke-hydrostatisk, σ -koordinatmodell utviklet ved Penn State og National Center for Atmospheric Research (NCAR) i USA for å beregne meso-skala atmosfæresirkulasjon (Dudhia, 1993). For Vestlandet er modellen konfigurert med to områder med horisontal oppløsning 9 km og 3 km nøstet inn. Det innerste området dekker Sognefjorden og Hardangerfjorden. Vertikalt benyttes 23 beregningsnivåer, med det nederste ca. 38 m over bakken og det øverste 15 km over bakken. MM5 inneholder parametriseringer og sub-modeller for turbulens, stråling og skyfysikk. Initialbetingelsene for simuleringene er analyser av atmosfæren fra European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF). Grenseverdier hver 6. time er også hentet herfra. De to modellområdene simuleres separat med en enveis nøstingsrutine. Tidsstegene er 27 sek for 9 km-området og 9 sek for 3 km-området. Resultatene interpoleres til fjordmodellgitteret og inneholder vind hver 6. time.

2.3.2. Fjordmodellen (BOM)

The Bergen Ocean Model (BOM) er en tre-dimensjonal, $\tilde{\sigma}$ -koordinat havmodell som løser de såkalte primitive ligningene (bevaring av masse, momentum salt og temperatur). BOM er utviklet i Bergen av Berntsen *et al.* (1996). De prognostiske variablene er strøm, hydrografi, vannstand, turbulent lengdeskala og turbulent kinetisk energi. BOM har en egen modell for beregning av turbulens (Mellor & Yamada, 1982). Ligningene løses med endelige differansemetoder i et forskjøvet Arakawa C-gitter. Tidssteget er eksplisitt. Hardangerfjorden er løst opp med et 800 m ganger 800 m horisontalt gitter (rutenett) med tilsammen 238 ganger 110 ruter. Vertikalt er det 21 nivåer med finest oppløsning (noen ti-talls cm) i overflatelaget for å løse opp bl.a. vindkreftene. Maksimalt dyp er av beregningstekniske grunner satt til 400 m.

Initialverdiene for modellsimuleringene er statisk stabile forhold uten noen hastigheter, og en vertikal lagdeling typisk for situasjonen etter at modellen er spunnet opp noen dager (kjørt med realistiske drivkrefter). De åpne randverdiene mot havet oppdateres fra 4 km modellresultatene hvert 30. minutt gjennom en såkalt FRS-sone (Flow Relaxation Scheme, Martinsen & Engedal, 1987) med verdier av vannstand, horisontale hastigheter og hydrografi. Hver 6. time oppdateres vindfeltet fra MM5-modellen. Effekten av solinnstråling er på en enkel måte inkludert ved at overflatetemperaturen innover i fjorden relateres mot klimatologiske verdier med en dragnetid på ti dager. Ferskvannsavrenning fra 62 elver og vannkraftverk er inkludert i simuleringene, og verdiene er basert på et fåtall observasjoner gjort tilgjengelige av NVE og Statkraft.

2.4 Resultater

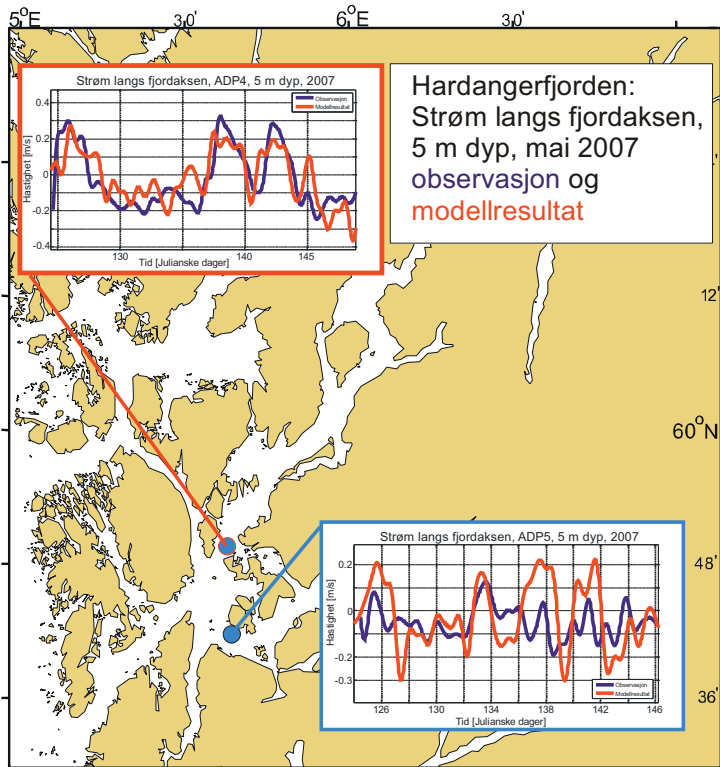
Hittil har tilgangen på vind som drivkraft begrenset omfanget av modellresultater. Vi har fokusert på våren, og det eksisterer resultater for årene 2001, 2003, 2006 og 2007 i perioden 15. april til 15. juni. Periodevis er det svært god overensstemmelse mellom observasjoner og modellresultater (Figur 2.10). Det er ikke å forvente at modellen med sine forenklinger, ufullstendigheter og relativt grove oppløsning skal kunne reprodusere strømforholdene fullt ut. Likevel ser vi at resultatene i perioder gjenspeiler den samme variabiliteten som observert, og som en tilleggsinformasjon til observasjonene er dette svært nyttige data.

En typisk modellert situasjon som viser strømforholdene i overflatelaget i Hardangerfjorden er gitt i Figur 2.11. Modellresultatene brukes fortrinnsvis til å drive andre modeller, som vekst og spredningsmodeller for lakselus, primærproduksjonsmodeller eller ulike bæreevne-modeller.

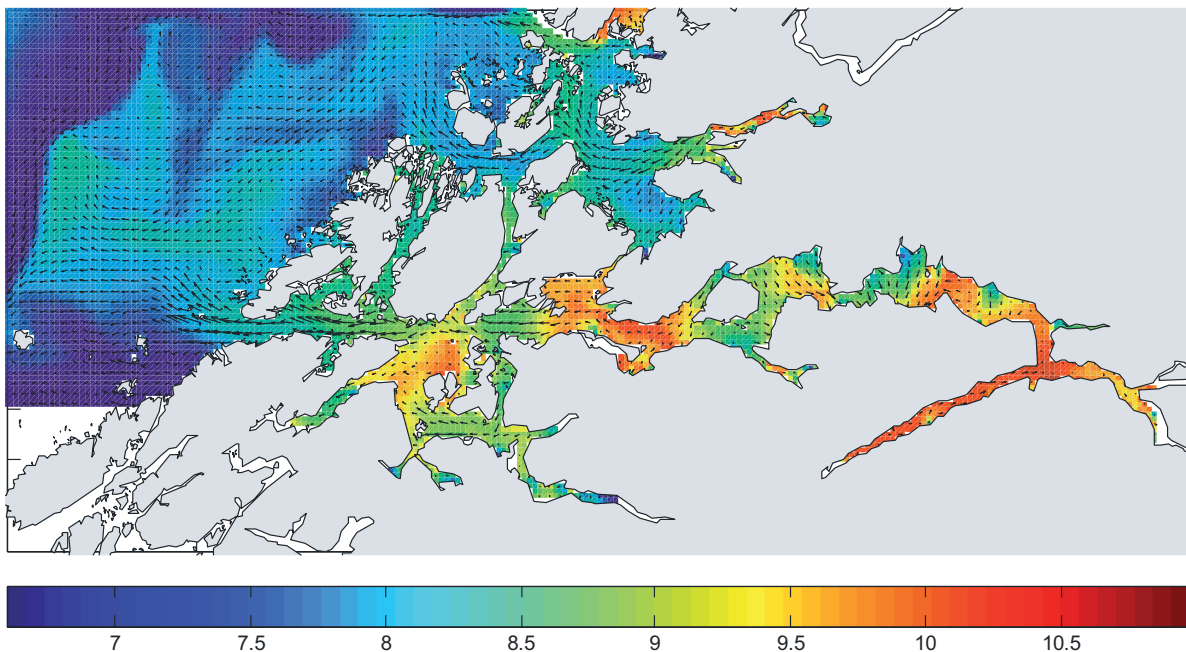
2.5 Forbedringer

Erfaringene så langt tilsier at vi må simulere Hardangerfjorden med høyere romlig oppløsning, kanskje 200 m ganger 200 m. Det viser seg også at randbetingelsene mot havet er viktige, da forholdsvis kortvarige tetthets- og trykkendringer i kystvannet periodevis kan

dominere sirkulasjonen langt innover i Hardangerfjorden. Derfor må modellen for kysten også inkludere disse fenomenene. Vindmodellen kan også forbedres med enda finere oppløsning. Det er også nødvendig med en bedre beskrivelse av ferskvannsavrenningen, og vi trenger både flere observasjoner og ev. hydrologiske modeller for avrenning.



Figur 2.10. Sammenligning av modellert og observert strøm i perioden mai–juni 2007.



Figur 2.11. Modellerte verdier for overflatestrøm og temperatur fra 17. mai 2007.

2.6 Referanser

- Berntsen J., Skogen, M.D. and Espelid, T.O. 1996. Description of a sigma-coordinate ocean model. *Fisken og havet* 1996(12), 33 p. Institute of Marine Research, Norway.
- Dudhia, J. 1993. A Nonhydrostatic Version of the Penn State-NCAR Mesoscale Model: Validation Tests and Simulation of an Atlantic Cyclone and Cold Front. *Monthly Weather Review*, 121: 1493–1513.
- Martinsen E.A. and Engedahl, H. 1987. Implementation and testing of a lateral boundary scheme as an open boundary condition for a barotropic model. *Coastal Engineering*, 11: 603–637.
- Mellor, G.L. and Yamada, T. 1982. Development of a Turbulence Closure Model for Geophysical Fluid Problems. *Reviews of Geophysics and Space Physics*, 20: 851–875.

3. Oppdrettsartenes miljøkrav

Miljøet er den viktigste produksjonsfaktoren, og vellykket akvakultur er avhengig av at organismene får oppfylt sine miljøkrav. Denne delen av rapporten gir en oversikt over miljøkravene til nye oppdrettsarter som blåskjell, østers, torsk og kveite, i tillegg til hvilke krav som må stilles ved havbeite med hummer og kamskjell. Ettersom atlantisk laks totalt dominerer norsk akvakultur og arbeidet med å utvide AkvaVis til også å omfatte laks er startet, omtaler rapporten også miljøkravene til denne arten.

3.1 Skjell

3.1.1 Generelle forhold

3.1.1.1 Kriterier for lokalisering av dyrkingsanlegg og grunnlag for grenseverdier

Kriterier for lokalisering av dyrkingsanlegg for skjell og grunnlag for fastsettelse av grenseverdier bygger på en del generelle forhold som gjelder de skjellarter som er omtalt i denne rapporten, blåskjell, kamskjell og flatøsters. Dette er særlig forhold knyttet til fødetilgang og miljøparametere som påvirker vekst (se Hovgaard *et al* 2001, Gosling 2003). Denne generelle delen innleder en oversikt for hver av disse skjellartene.

Det marine miljøet varierer sterkt med dypet. Variasjonen er størst nær overflaten, mens forholdene blir mer stabile på dypere vann. Blåskjell som lever i, og like under, tidevannssonen er utsatt for tørrlegging, store temperatur- og saltholdighetsvariasjoner og kan også bli utsatt for fysisk påvirkning fra bølgeslag og isskuring. Skjellene kan lukke seg fysisk fra det ytre miljøet og er fysiologisk tilpasset store miljøvariasjoner. Dette gjelder også i stor grad østersen – selv om den lever under tidevannssonen, men på grunt vann og ofte i innelukkede områder. Kamskjellet lever under tidevannssonen, oftest dypere enn fem til ti m. Dette skjellet er ikke utsatt for så varierende miljøforhold, og er tilpasset et relativt stabilt miljø.

I spørsmål om lokalisering er det viktig å ta hensyn til hvilket miljø skjellene er tilpasset og hvordan vi må vurdere produksjonsegenskapene i dyrkingsanlegg. I praksis betyr dette også at vi ikke automatisk kan overføre erfaringer fra dyrking av én art til andre arter. I dyrking er det nødvendig å tilby skjellene gode miljøbetingelser gjennom tekniske tiltak, beskytte dem fra å bli spist av rovdyr og å holde dem på det dypet eller på en lokalitet hvor det er gode produksjonsforhold, optimal temperatur og god fødetilgang. Innretningen skal også gi dyrkeren tilgang til dyrene for effektiv røktning og ettersyn. Et hvert teknisk tiltak for å bedre miljøbetingelsene for skjellene er imidlertid begrenset av om det totalt gir positivt utslag på lønnsomheten. Utover dette kan miljøet bare bedres gjennom å lokalisere dyrkingsanlegg på rett sted.

3.1.1.2. Føde og fødeopptak

Skjellenes føde består av både alger, detritus (dødt partikulært organisk materiale), bakterier og andre mikroorganismer. Frittslevende alger – planteplankton – er imidlertid den viktigste

føden for skjell (Gosling 2003). For arter som dyrkes på bunn vil også encellede alger som vokser på eller nær bunnsubstratet (bentiske alger) kunne inngå i næringsgrunnlaget (Shauvaud *et al.* 2001). Skjellenes fødeopptak og vekst er naturligvis knyttet til endringene i planteplanktonproduksjonen gjennom året (Small & van Straalen 1991). Planteplanktonet har i februar–mars sin såkalte våroppblomstring, som følge av rikelig tilgang på næringsalter etter vinterens omrøring av vannmassene, stabile vannmasser og økt mengde lys når daglengden øker. Mengden planteplankton kan forbli forholdsvis høy utover våren, mens artssammensetningen endrer seg frem til sommeren. I løpet av våren og forsommeren vil mangel på næringsalter eller nedbeiting fra dyreplankton føre til at mengden av planteplankton avtar. Om høsten vil vind ofte sørge for blanding av vannmassene og tilførsel av nye næringsalter. Dette kan gi en ny økning av planteplanktonproduksjon. Fødetilgang er viktige kriterier for lokalisering, men må i første rekke ses i sammenheng med temperatur for fastsettelse av grenseverdier.

Temperaturen påvirker både skjellenes fødeopptak og stoffskifte. Det er imidlertid avgjørende forskjeller mellom artene. Eksempelvis vil temperaturer lavere enn 7–10 °C påvirke filtreringsaktiviteten hos kamskjell og østers, mens blåskjell kan ha høy filtreringsaktivitet også ved lavere temperaturer (Strand *et al.* 1993, Hovgaard *et al.* 2001). Filtringen kan også hemmes av for høye temperaturer, men på våre breddegrader er nok dette bare tidvis tilfelle, for eksempel i østerspoller eller i solvarme gruntvannsområder. Veksthastigheten vil øke med stigende temperatur, men samtidig vil fødebehovet øke for å kunne dekke de økende utgiftene til stoffskifteprosessene. Ved en økning over en gitt temperatur vil «overskuddet» til vekst avta, og fysiologisk vil dyret være utenfor trivselsområdet med hensyn til temperatur. I vurdering av kriterier for lokalisering av skjellanlegg i våre farvann er det i første rekke nedre grense for at skjellene kan overleve (letaltemperatur) (Strand & Brynjelsen 2003), og nedre grense for vekst (biologisk nullpunkt) som er av interesse. Det kan være verdt å merke seg at disse temperaturgrensene ikke er absolutte, men varierer avhengig av en rekke andre faktorer, i første rekke fødeforhold, saltholdighet, skjellens størrelse og alder, kondisjon, akklimatisering og eksponeringstid for et temperaturnivå.

I en dyrkingssituasjon hvor individene holdes i tettheter som skal gi et best mulig resultat, vil kostnadene ved utstyr og arbeid per individ måtte avveies mot skjellenes behov for nok mat til hurtig vekst. Uttømming (opptak) av fødepartikler gjennom anlegget vil være en funksjon av fødetilgang (fødekonsentrasjon ganget med vannstrøm) (Strohmeier *et al.* 2005, Aure *et al.* 2007), som vil være avgjørende for en lokalitets produksjonsegenskaper. Det må fastsettes en nedre grense for fødetilgang som vil kunne gi grunnlag for god vekst i et dyrkingsanlegg. Valg av fødekonsentrasjonen som kriterium for lokalisering kompliseres gjennom den store variasjonen gjennom året og virkningen av temperaturen på hvordan føde omsettes til vekst. Perioder sommer og høst, når fødetilgangen er relativ lav og temperaturen høy, antar vi vil være kritisk i et skjellanlegg med hensyn til fødebegrensning, med de følger det får for den totale årlige produksjon. Et gjennomsnitt for denne perioden vil derfor kunne sette en nedre grenseverdi for fødetilgang. Basert på undersøkelser av hvordan fødekonsentrasjon avtar gjennom bøyestrekkanlegg for blåskjell som har høy biomassekonsentrasjon (eg. kort avstand

mellom og lange bæreliner) i forhold til lokalfødetilgang (Strohmeier *et al.* 2005, Aure *et al.* 2007), og betraktninger rundt energibehov for vekst, antar vi at en fødekonsentrasjon tilsvarende et gjennomsnitt på 1 mg klorofyll *a* per m³ i perioden juni–september kan være en minimumsgrense for gode lokaliteter til skjell dyrking (jf. 1.4).

3.1.1.3 Saltholdighet

Mens temperatur ofte er bestemmende for skjellartenes geografiske utbredelse (langs breddegrad), er saltholdighet ofte bestemmende for utbredelsen i nærhet av land og i innelukkede områder. Blåskjell og østers som lever på grunt vann og i fjorder eller poller hvor det tidvis kan være betydelig brakkvannspåvirkning, har relativt god evne til å tåle lav saltholdighet (Gossing 2003). Kamskjellet, derimot, lever naturlig på dypere vann og helst i kyststrøk hvor sjøens saltholdighet er forholdsvis høy og stabil. Dyret er derfor fysiologisk langt mindre tolerant overfor lave saltholdigheter (Strand *et al.* 1993, Christophersen & Strand 2003), og har i motsetning til blåskjell og østers ikke evnen til å lukke seg helt. Generelt øker toleransen for saltholdighetsvariasjoner med økende alder, fra larvestadiet til yngel og voksne skjell.

3.1.1.4. Oksygen

Skjell tar opp oksygen hovedsakelig gjennom gjellene. Gjellene hos skjell er dimensjonert for fødeopptak og er svært mye større enn hva det respiratoriske behovet krever. Cilier på gjellenes overflate som sørger for fanging og transport av fødepartikler, kan få hemmet aktivitet ved lav oksygenkonsentrasjon (Gossing 2003). Skjell kan derfor bli svekket når oksygeninnholdet i sjøen blir for lavt. Tilført oksygen avhenger både av mengden begroingsorganismer, strømhastigheten og strømretningen. Deler av en skjellbestand eller et skjellanlegg vil nødvendigvis motta vann som allerede har passert andre skjell, og virkningen av lavt oksygeninnhold i vannet vil derfor vanligvis først oppstå her. Dyrking på lokaliteter som gjennom andre kriterier er funnet egnet til et normalt driftsopplegg, vil ikke være utsatt for problemer med lave oksygenkonsentrasjoner. Normal aktivitet hos skjell er derfor sjelden begrenset av oksygen.

3.1.1.5. Vannbevegelse

Vannbevegelsen nær overflaten drives hovedsakelig av tidevann og vind, og tilfører skjellene føde. Vannbevegelsen er derfor en avgjørende faktor for dyrking av skjell. Tidevann og vind genererer også bølger, som kan være en viktig faktor for lokalisering av skjellanlegg. Det er mange eksempler på at skjell orienterer seg i forhold til strømretningen for å optimalisere fødeopptaket og fjerningen av avfallsstoffer. Hvordan, og i hvilken grad dette skjer i en dyrkingssituasjon, er også avhengig av fødekonsentrasjon, begroing og skjelltetthet.

I forhold til vannbevegelsens betydning for skjellenes fødeopptak kan det være hensiktsmessig å betrakte ulike skalaer med hensyn til strømregime rundt individet og i et anlegg. Strømbildet rundt hvert individ kan inndeles i laminære og turbulente vannbevegelser. Skjell påvirker vannbevegelsen ved å bremse vannet i ulik grad. For skjell som lever på bunnen eller dyrkes i innretninger hengende i sjøen, vil en vannbevegelse som har retning mot skjellene, påvirkes i det såkalte overgangslaget (Frechette *et al.* 1989, Dolmer 2001).

Denne påvirkningen vil være sterkest nær skjellene, og generelt sett her føre til en avtagende strømhastighet og økt turbulens. Dette er ofte kompliserende forhold, men er viktig å være klar over når strømbildet vurderes i forhold til skjell dyrking.

For anleggskala vil en struktur i form av et bøyestrekkanlegg bremse vannstrømmen (Aure *et al.* 2007). Utforming av anlegget, forhold mellom bredde og lengde samt avstand mellom bæreliner vil være avgjørende for hvor sterk denne bremsingen er. Dette er forhold som kan simuleres, og det gir et godt grunnlag for å tilpasse anleggsutforming til lokale strøm- og fødeforhold (jf. 1.5).

3.1.2. Blåskjell

Tabell 3.1. Parametere med betydning for lokalisering av blåskjellanlegg.

Parameter	Grense for egnethet	Optimal iht. produksjon	Interaksjon
Dyp (m)	10–200	20–100	
Bunntype		Skrånende	Strømhastighet
Temperatur (°C)	0–29	10–18	Saltholdighet Føde
Saltholdighet	5–35	17–32	Temperatur
Strømhastighet (cms ⁻¹)		3–12	
Føde (mg chl <i>a</i> m ⁻³)	0,5–12	1–8	Temperatur

3.1.2.1 Dyp og temperatur

Blåskjell dyrking i Norge baserer seg hovedsakelig på ulike typer hengekulturer, som bøyestrek- teknologi eller oppdrift i rørsystemer. Prinsippet for hengekulturer er at dyrkingen kan foregå i den øverste del av vannsøylen hvor egnethet og produksjon er best. Dette er en funksjon av flere forhold, som fødetilgang, strømhastighet, temperatur, hydrografi (lagdeling), predasjon, begroing og eksponering (bølgehøyde). Dyrking fra flåter har vært foreslått for noen typer lokaliteter, men teknikken har flere ulemper sammenliknet med bøyestrek. Flåtedyrking har generelt høyere kostnad og tåler mindre strøm og bølger.

En hengekultur med 5 m lange hengere vil ha en utnyttelse av dybdeintervall på minimum 5 m. Påvirkning på bunnmiljøet fra nedfall, avføring og skjell som faller av anlegget, vil i stor grad være avhengig av strømforhold og avstand mellom hengerne og bunn (Strohmeier *et al.* 2004). Vi antar at et minimum dyp på 20 m vil sikre en viss spredning av nedfall som vil redusere risiko for uheldige effekter på bunnmiljø. Maksimal dybde vil sannsynligvis være begrenset av kostnader for forankring av anlegg. Det antas at kostnadene vil øke vesentlig for dyp under 100 m.

Blåskjell er meget tolerant overfor ekstreme temperaturer (Gosling 2003). Likeledes har blåskjellet et høyt vekstpotensial over et forholdsvis vidt temperaturområde og er godt tilpasset et miljø med store temperaturvariasjoner. Blåskjellet tåler temperaturer under frysepunktet. Ved å endre frysepunktet i vitale deler og celler i dyret, er blåskjellet i stand til å hindre at celler fryser og at iskrystaller dermed forårsaker skader.

På våre breddegrader vokser blåskjellet under våroppblomstringen i februar–mars, selv ved temperaturer lavere enn 5 °C (Strohmeier *et al.* 2008). Ved temperaturer lavere enn 4 °C påvirkes imidlertid byssusproduksjonen (Hovgaard *et al.* 2001), og dette kan få følger for produksjon i et anlegg og dermed egnethet for en lokalitet. Skjellet har høyest vekstpotensial i området 5–20 °C (Widdows 1973), og ved temperaturer over 27 °C starter dødelighet avhengig av eksponeringstid (Bayne 1976). For temperaturer over 18 °C er det rapportert nedsatt byssusproduksjon.

3.1.2.2. Andre miljøkrav

Bunntype

Bunntype er ikke et avgjørende kriterium for lokalisering av blåskjellanlegg. Eventuelle forhold som kan vurderes er forankring og virkning av nedfall på bunnmiljø, men slike effekter anses som marginale.

Saltholdighet

Blåskjell har en spesielt god evne til fysiologisk å tilpasse seg miljøer med lav saltholdighet. I Østersjøen og indre fjordstrøk på Vestlandet lever blåskjell i områder hvor saltholdigheten blir så lav som 4–5 (Hovgaard *et al.* 2001). Under denne grensen er det erfart stor dødelighet. Over denne grensen vil lav saltholdighet redusere veksten og kan i tilfeller hvor andre miljøforhold er ugunstige føre til dødelighet. Selv om det kan gå ut over tilveksten, kan kortere perioder med lav saltholdighet redusere problemet med påvekst og predatorer som ikke tåler like lave saltholdigheter som blåskjellet. Saltholdighet mellom 17 og 32 er tilfredsstillende for blåskjellets tilvekst.

Strømhastighet

Strømhastighet er avgjørende for fødetilførsel til et blåskjellanlegg (Aure *et al.* 2007). Det bør også tillegges noe vekt at blåskjell danner mer byssustråder ved høye strømhastigheter enn ved lave. Betrakter man et standard dyrkingsanlegg (hengende kultur), antar vi at en midlere strømhastighet på 3 cm per sek vil være nedre grense for en god produksjon. Øvre grenser for strømhastighet begrenses i størst grad av fysisk virkning på anleggsstruktur. Det må understrekes at variasjon i strømhastighet på en lokalitet har meget stor betydning i vurdering av egnethet.

3.1.3. Kamskjell

Tabell 3.2. Parametere med betydning for havbeite med kamskjell.

Parameter	Grense for egnethet	Optimal iht. produksjon	Interaksjon
Dyp (m)	>5	10–100	
Bunntype	<25?	<15 gr	Strømhastighet
Temperatur (°C)	4–22	7–18	Saltholdighet Føde
Saltholdighet	29–35	30–35	Temperatur
Strømhastighet (cm s ⁻¹)		3–10	
Føde (mg chl <i>a</i> m ⁻³)	0,5–12	1–8	Temperatur

3.1.3.1. Dyp

Vurdering av egnethet for dyrking av kamskjell i hengekulturer blir som for blåskjell. Egnet dyp for dyrking av kamskjell i havbeite (bunnkultur) kan i de fleste områder være fra 10 m, og i mange områder også fra 5 m dyp. Begrensningen for dette vil være hydrografiske forhold som saltholdighet og vannbevegelse (bølger som påvirker stabilitet i bunnsediment) (Hovgaard *et al.* 2001).

3.1.3.2. Bunntype

Kamskjell kan dyrkes på bløtbunn med skjellsand, ofte også med et innhold av mineralsand, og gjerne i områder som viser innhold av noe organisk materiale. Utover dette er helning på området et viktig kriterium for egnethet.

3.1.3.3. Temperatur

Hos kamskjell er temperatur for maksimal vekst regnet å være på rundt 15–18 °C. Temperaturer for god trivsel hos kamskjell er foreslått å være 7–20 °C. Gjennom forsøk hos dyrkere langs kysten fra Rogaland til Trøndelagsfylkene er det bygget opp en god kunnskap om betydningen av lave temperaturer for dyrking av kamskjell i Norge (Strand & Brynjeldsen 2003). Lokalteter med minimumstemperatur under 2 °C om vinteren ga total dødelighet på kamskjell dyrket på 8 og 15 m dyp. Kamskjell dyrket på lokaliteter hvor minimumstemperaturen var 4 °C eller høyere, viste god overlevelse. Det ble påvist en betydelig endring i overlevelse ved sjøtemperaturer på 3 og 2 °C. Kamskjellens lukkemuskel har redusert funksjon ved lave temperaturer. I sjøvann med temperatur rundt 10 °C vil et kamskjell som forstyrres, respondere med hurtig lukking av skallene. Denne responsen er tregere og avtar betydelig ved lave temperaturer (under 5 °C) (Strand *et al.* 1993). Svekkede kamskjell er mer eksponert for inntrengere, rovdyr og mikroorganismer, noe som sannsynligvis er den egentlige årsaken til den dødeligheten vi har erfart ved lave temperaturer.

3.1.3.4. Andre miljøkrav

Saltholdighet

Kamskjellenes toleranse for lav saltholdighet har vært et prioritert tema i arbeidet med dyrking av denne arten (Strand *et al.* 1993, Christophersen & Strand 2003). Relativt omfattende undersøkelser viser at en bør unngå saltholdigheter under 29 kombinert med lave temperaturer (karakteristisk for en vinter-/vårsituasjon) i områder for dyrking av kamskjell. Det er helst i løpet av senvinter og tidlig vår saltholdigheten i sjøen kan være kritisk for kamskjell. Risikoen vil variere mellom lokaliteter, men den vil generelt sett øke mot indre kyststrøk, i fjorder hvor påvirkningen fra ferskvannsavrenningen øker og sørover langs kysten, på grunn av en stadig sterkere påvirkning fra den ferskere kyststrømmen fra Østersjøen. I den kritiske perioden er temperaturen lav, samtidig som sjansen for å få varierende og lav saltholdighet er stor. Skjellene er i tillegg i relativt dårlig kondisjon etter vinteren med lite føde og forbruk av opplagsnæring. Det er vist at saltholdighetstoleransen for 3 cm store kamskjellyngel er sterkt påvirket av lave temperaturer (Strand *et al.* 1993). Ved 10 °C overlevde kamskjellene en saltholdighet på 23 i en måned, mens de ved 5 °C hadde 90 % overlevelse ved saltholdighet på 33, og 60 % overlevelse ved saltholdighet på 29.

Strømhastighet

I en dyrkingssituasjon er kamskjell ofte mer eksponert for strøm enn i naturen. Det har også et annet strømregime rundt seg enn i sitt naturlige habitat på bunnen, hvor det som oftest er nedgravd i fordypninger i sedimentet. Vekstforsøk viste at strømhastigheter over 10–20 cm per sek virker hemmende for vekst hos kamskjell (Wildish & Saulnier 1992).

Føde

Utover det som er redegjort i 3.1.1.2. vil kamskjell generelt sett ha dårligere evne til å håndtere høye og varierende fødekonsentrasjoner (Hovgaard *et al.* 2001).

3.1.4. Flatøsters

Tabell 3.3. Parametere med betydning for dyrking av flatøsters.

Parameter	Grense forgnethet	Optimal iht. produksjon	Interaksjon
Dyp (m)	5–100	20–100	
Temperatur (°C)	3–30	10–20	Saltholdighet Føde
Saltholdighet	5–35	25–35	
Strømhastighet (cm s ⁻¹)	1,5–15	3–10	
Føde (mg chl <i>a</i> m ⁻³)	0,5–12	1–8	Temperatur

Temperatur

Østersen er varmekjær og trives best i temperaturer rundt 20 °C, men erfaringene tilsier god produksjon ned til 10 °C (Buxton *et al.* 1981, Hovgaard *et al.* 2001). Ved om lag 30 °C hemmes bevegelsen hos cilier på gjellene. Også ved temperaturer rundt 5 °C hemmes bevegelsen hos cilier. Ved slike lave temperaturer er stoffskiftet lavt, østersen forblir gjerne lukket og er i en slags dvaletilstand. Slik kan østers overleve i lang tid, også på land, forutsatt

at temperaturen er lav. Ved temperaturer ned mot 0 °C reduseres imidlertid muskelens funksjon også hos østersen. Muskelen klarer ikke å holde skalldelene sammen, og dyret er eksponert for inntrengere. I andre land er det etter kalde vintrer rapportert om betydelige mengder østers med defekt eller ødelagt muskel, noe som til slutt fører til dødelighet. Defekt muskel er forårsaket av de skadene iskrystaller påfører celler i muskelvevet.

Saltholdighet

For å oppnå god vekst hos østers bør saltholdigheten være over 25, men den tåler saltholdigheter ned mot 15. Østersen vil lukke seg når saltholdigheten blir lavere enn dette, og vil overleve i kortere perioder. Erfaringer fra yngelproduksjon i østerspoller viser at larvene krever saltholdigheter over 25 for å kunne oppnå god utvikling frem til de bunnslår. Utviklingen er optimal ved saltholdighet på 30–35. Veksten vil bli redusert ved varierende og lav saltholdighet.

Strømhastighet

Hos østers er det vist at skjellformen blir avlang i sterk strøm og rundere i svakere strøm.

3.1.5 Referanser

- Aure J., Strohmeier T. and Strand Ø. 2007. Modelling current speed and carrying capacity in long-line blue mussel (*Mytilus edulis*) farms. *Aquaculture Research*, 38:304–312.
- Bayne B.L. 1976. Marine mussels: their ecology and physiology. International Biological Programme 10. Cambridge University Press, Cambridge, 506 pp.
- Buxton C.D, Newell R.C. and Field J.G. 1981. Field response surface analysis of the combined effects of exposure and acclimation temperatures on filtration, oxygen consumption and scope for growth in the oyster *Ostrea edulis*. *Marine Ecology Progress Series*, 6:73–82.
- Chauvaud, L., Donval, A., Thouzeau, G., Paulet, Y-M. and Nézan, E. 2001. Variation in food intake of *Pecten maximus* (L). from the bay of Brest (France): Influence of environmental factors and phytoplankton species composition. *Ecology*. 324: 1–13.
- Christophersen, G. and Strand, Ø. 2003. Effect of reduced salinity on the great scallop (*Pecten maximus*) spat at two rearing temperatures. *Aquaculture*, 215: 79–92.
- Dolmer, P. 2000. Feeding activity of mussels *Mytilus edulis* related to near-bed currents and phytoplankton biomass. *Journal of Sea Research*, 44: 221–231.
- Frechette, M., Butman, C.A. and Geyer, W.R. 1989. The importance of boundary-layer flows in supplying phytoplankton to the benthic suspension feeder, *Mytilus edulis* L. *Limnology and Oceanography*, 34: 19–36.
- Gosling, E. 2003. Bivalve Molluscs. Biology, Ecology and Culture. Blackwell.
- Hovgaard, P, Mortensen, S. and Strand, Ø. 2001. Skjell – Biologi og Dyrking. Kystnæringen forlag. ISBN 82-7595-022-8. 255 s.
- Smaal, A.C. and van Stralen, M.R. 1991. Average annual growth and conditions of mussels as a function of food source. *Hydrobiologia*, 195: 179–188.
- Strand, Ø., Solberg, P.T., Andersen K.K. and Magnesen, T. 1993. Salinity tolerance of juvenile scallops (*Pecten maximus*) at low temperature. *Aquaculture*, 115: 169–179.

- Strand, Ø. and Brynjeldsen, E. 2003. On the relationship between low winter temperatures and mortality of juvenile scallops, *Pecten maximus* L., cultured in western Norway. *Aquaculture Research*, 34: 1417–1422.
- Strohmeier, T., Kupka Hansen, P., Strand, Ø. og Ervik, A. 2004. Miljøvirkninger av blåskjelldyrking. Havbruksrapporten 2004. Fisken og havet, særnummer 2-2004.
- Strohmeier, T., Aure, J., Duinker, A., Castberg, T., Svardal A., and Strand, Ø. 2005. Flow reduction, seston depletion, meat content and distribution of diarrhea shellfish toxins in a long-line blue mussel (*Mytilus edulis*) farm. *Journal of Shellfish Research*, 24: 15–23.
- Strohmeier T., Duinker A., Strand Ø. and Aure J. 2008. Temporal and spatial variation in food availability and meat content in a longline mussel farm (*Mytilus edulis*). *Aquaculture*, 276: 83–90.
- Young, G.A. 1985. Byssus-thread formation by the mussel *Mytilus edulis*: effects of environmental factors. *Marine Ecology Progress Series*, 24: 261–271.
- Widdows J. 1973. The effect of temperature on the metabolism and activity of *Mytilus edulis*. *Netherlands Journal of Sea Research*, 7: 387–398.
- Wildish, D.J. and Saulnier, A.M. 1992. The effect of velocity and flow direction on the growth of juvenile and adult giant scallops. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 155: 133–143.

3.2 Torsk

Tabell 3.4. Parametrer med betydning for oppdrett av torsk. Kommentar: Strømhastighet på liten fisk er det mest usikre, men det er observert dødelighet også på stor fisk i perioder med sterkt strøm. Egentlig årsak er ukjent, men er muligens knyttet opp mot en stressrespons.

Parameter	Grense for egnethet	Optimal iht. produksjon	Interaksjon
Temperatur (°C)	0–20	8–14	Størrelse (liten fisk høyere optimal temp.) Oksygen (ved varmt vann) Fôrintensitet (forbruker oksygen)
Oksygen (%)	30–105	80–100	Temperatur (maks 15 °C) Størrelse Tetthet Alger (andre konsumenter)
Saltholdighet	7–35	10–35	
Dyp (m)	20–	20–	Strøm
Strømhastighet (cms ⁻¹)	Stor torsk 1 kl/sek. Liten fisk ?	< 1 kl sek. ?	Størrelse Temperatur
Fisketetthet	>50 kg/m ³	< 18 kg/m ³	Temperatur, oksygen

3.2.1. Biologi

Torsk er en tilpasningsdyktig art, i naturen finnes den i hele Atlanterhavet, fra Biskaya til Barentshavet, og den lever i områder hvor temperaturen varierer fra nær 0 til 20 °C. Den årlige snittemperaturen for 17 ulike torskestammer varierte fra 2 °C (Labrador/Grand Bank, St. Pierre Bank) til 11 °C (Celtic sea, Eastern Channel) (Brander 1994) med sesongmessige ekstremer fra -1 °C til 20 °C (Drinkwater 2005). For hver stamme er det vanligvis én eller noen få begrensede gyteområder. De fleste stammene gyter i temperaturer mellom 4 og 7 °C (Brander 2005). Torsk gyter normalt om våren i tidsrommet februar–april. Den har høy fekunditet. En middels oppdrettstorsk produserer om lag 1,5 liter egg per kg hunnfisk. Torsk er prosjonsgyter og gyter 10–15 porsjoner hver andre til tredje dag over fire til seks uker. Eggene er små (1,1–1,8 mm) og klare, flyter normalt høyt i vannsøylen og klekkes nær overflaten, avhengig av saltholdighet. De pelagiske larvene driver fra gyteområdet til oppvekstområdet med strømmene i tre–fire måneder, og gjennomgår i denne perioden metamorfosen (Brander 2005). Deres demersale (bunntilknyttede) liv starter normalt sent på sommeren når de er 1–10 g. Heretter lever torsk nær bunnen, men vil jakte i hele vannsøylen. Torsk spres over store områder på søk etter mat, men vil vandre til gyteområdene. Vandringsen kan være hundrevis av kilometer f.eks. fra Barentshavet til Lofoten. I yngelens pelagiske fase lever torsken av dyreplankton, hovedsakelig egg av hoppekreps (copepoder) og nauplier av raudåte (*Calanus finmarchicus*). Ettersom fisken vokser, vil dietten bestå av

ulike evertebrater (reker, krabber, krill) og små fisk. Andelen av fisk i dietten øker med fiskestørrelsen. Noen av de viktigste bytteartene er lodde, tobis, øyepål, sild og uer.

3.2.2. Oppdrettsmetoder

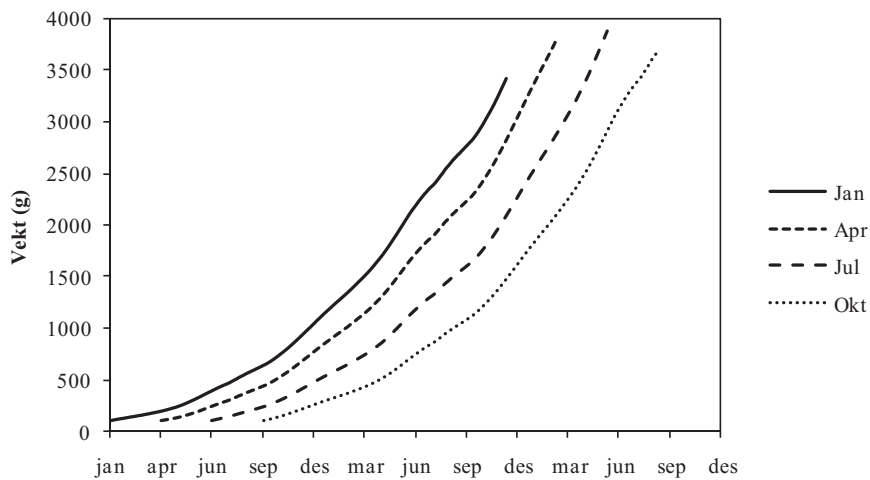
Ifølge Fiskeridirektoratets statistikk ble det satt ut om lag 15 millioner torsk til oppdrett i 2007, og samme år ble det slaktet i overkant av 10 000 tonn. Det er forventet en økning både i utsett og slakting i 2008. Dagens produksjonssyklus er basert på at settefisk i hovedsak er produsert med en intensiv produksjonsmetode. Anleggene har hittil holdt sin egen stamfisk og har opptil seks gyteperioder i året, skapt ved å lysmanipulere stamfisken. Stamfisken gyter i kar, og eggene samles ved å filtrere avløpsvannet fra karene. De befruktete eggene overføres til inkubatorer hvor eggene holdes i 10–12 dager ved 6 °C til de klekkes. Plommeseckklarvene overføres til startfôringskar hvor de tilbys anrikede rotatorer som startfôr. Rotatoriene produseres og anrikes etter anleggsspesifikke metoder i egne kar. Startfôringskarene tilsettes også ”grøntvann”, oftest algepasta. I de fleste anlegg føres yngelen bare med rotatorier frem til de kan tilvennes tørrfôr (”weaning”), tre–fire uker etter startfôring. Enkelte anlegg bruker saltkreps (*Artemia*) i en periode etter rotatoriene, før fisken tilvennes tørrfôr. Etter tørrfôrtilvenning holdes fisken på kommersielt tilgjengelig tørrfôr frem til slakt, og fôrtype og størrelse endres ettersom fisken vokser.

Noe yngel produseres også i poller, eller poser i poller. I disse systemene er fôret i utgangspunktet egenprodusert dyreplankton i pollen. Etter hvert som fisken vokser og fôrbehovet øker, filtreres også dyreplankton fra sjøen og pumpes inn i posene eller pollene. I poser i poll kan en i tillegg føre med *Artemia*. Fisk produsert i poll vil følge en naturlig rytme med gyting og klekking på våren, og har da bare én produksjonssyklus i året, med start om våren. Etter hvert er avlet materiale blitt tilgjengelig fra to avlsstasjoner, og enkelte har valgt ikke å holde stamfisk selv, men baserer seg på å kjøpe inn materiale enten fra avlsstasjonene eller fra andre anlegg.

Veien videre mot settefisk kan ha flere ruter. Flere av yngelanleggene har ikke egne avdelinger for større fisk, og velger da å benytte andre til å oppdrette fisken fra ca. 2 g til den kan selges som settefisk. Andre velger å sette fisken direkte i merd fra den er 5–20 g, uten et eget mellomledd. Produksjonstiden vil variere noe etter når på året fisken settes ut, da den vokser dårligere på lavere temperaturer (Figur 3.1), men torsken trenger over to år fra startfôring før den når slaktestørrelse på minst 3,5 kg rundvekt.

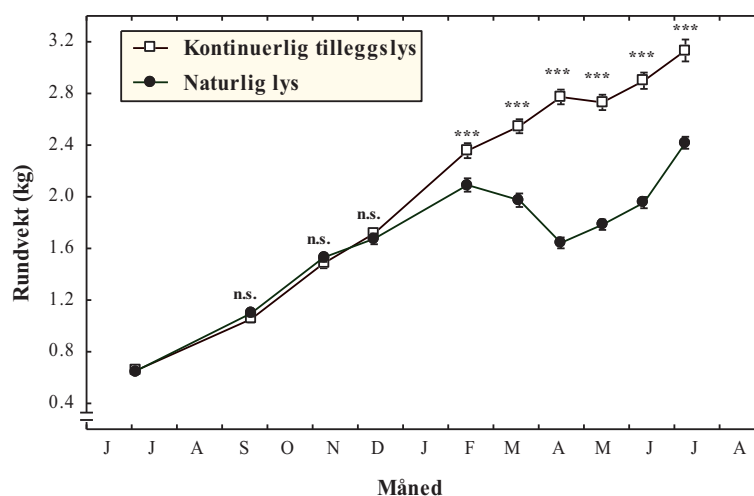
I denne fasen får fisken kommersielt tilgjengelig tørrfôr. Sammensetningen av dette varierer mellom de ulike produsentene, men normalt inneholder fôret ca. 50–55 % proteiner og ca. 15 % fett. Flere av produsentene tilbyr rimeligere fôr ved å blande inn vegetabiliske råstoffer. Fisken holdes i anleggene til den når normal slaktbar størrelse eller slaktes av andre grunner, som behov for å redusere tetthet etc. Normal produksjonstid fra klekking er minst 2,3 år, ofte tre–fire måneder lenger. Fiskens vekst er god, normalt skal den nå 2 kg i toårsalderen. I beste fall vil den nå 3–3,5 kg i begynnelsen av sommeren, men ofte nås ikke denne størrelsen før

utpå høsten. Det er forventet at avl vil fremme veksten og slik gi en betydelig reduksjon av produksjonstiden.



Figur 3.1. Simulert vekst til torsk i 700 dager satt ut ved 100 g ved ulike årstider basert på temperaturene ved Havforskningsinstituttet, Forskningsstasjonen Austevoll etter vekstmodellen til Björnsson *et al.* 2007.

Kjønnsmodning er fremdeles ett av hovedproblemene i oppdrett av torsk. Sannsynligvis knyttet opp mot god vekst og energitilgang modner all oppdrettstorsk i størsteparten av landet, og overalt på Vestlandet, i en alder av to år, gitt at modningen ikke er forsøkt utsatt med bruk av kontinuerlig tilleggsllys (Figur 3.2). De negative effektene av gyting er at torsk mister appetitten ca. én måned før gyting (Skjæraasen *et al.* 2004), og gjennom $\frac{3}{4}$ av gyteperioden, og forbruker lever og muskel for å bygge opp gonadene og gyte. For førstegangsgytende torsk utgjør vekttapet ofte 25–35 % av rundvekten (Dahle *et al.* 2003; Karlsen *et al.* 1995), dette gjør at produksjonstiden øker med fem–seks måneder. I tillegg slippes befruktede egg ut fra anlegget. Mange opplever dessuten en betydelig økt dødelighet hos hunntorsk.



Figur 3.2. Vekst hos torsk som ikke kjønnsmodner på kontinuerlig tilleggsllys sammenlignet med torsk som kjønnsmodner og gyter med naturlig lys. Data fra Taranger *et al.* (2006).

Torskeanleggene er bygget på samme måte som lakseanleggene, selv om det foreløpig er mange små aktører med små anlegg. Fôringen foregår stort sett med automater. Liten fisk fôres opptil flere ganger for dagen, men ettersom fisken vokser, fôres den bare én gang for dagen. Enkelte fôrer den store fisken annen hver dag.

3.2.3. Oksygen

Oksygenforbruket endrer seg med fiskestørrelse, vanntemperatur og svømmeaktivitet. Ved lave oksygenmetninger opprettholder torsk som de fleste andre beinfisk oksygenforsyningen til vev ved å øke ventilasjonsrate (hyperventilering) og hjertefrekvens. Perifere kjemoreseptorer i gjelleregionen avdekker endringer både i det interne og eksterne miljøet, og fysiologiske responser på endrede oksygenverdier initieres allerede etter to–åtte minutter. Torsk som utsettes for hypoxia (lavt oksygen) reduserer aktiviteten (Schurmann og Steffensen 1994, 1997; Claireaux *et al.* 1995, 2000) trolig som en energisparende- og overlevelsesmekanisme (Dutil *et al.* 2007). De reduserer også spiseaktiviteten (Chabot og Dutil 1999). Torsk vokser derfor dårligere ved lave oksygenmetninger. I forsøk er det vist at 700 g torsk holdt fra 45 til 93 % oksygenmetning ved 10 °C, vokste dårligere ved oksygenmetning under 65 % (Chabot og Dutil 1999). Dette skyldes lavere fôrintak. De fant også at aktiviteten avtok med lavere oksygenmetninger. En kjenner lite til øvre grenser for oksygenmetning, men sannsynligvis kan torsk tåle mye oksygen dersom nitrogen holdes på normalnivå.

Metabolsk vindu (MS) kan defineres som forskjellen mellom maksimalt oksygenforbruk ved aktivitet (MMR) og standard (eller vedlikeholds-) metabolsk rate (SMR). Størrelsen på dette vinduet er påvirket av mange faktorer, spesielt fiskestørrelse, temperatur, oksygenmetning, og fôropptak. Aktivitet forbruker oksygen, og ved svært lave oksygenverdier vil torsken forbruke mer oksygen enn den kan hente fra vannet. Laboratorieundersøkelser viser dødelighet i løpet av 96 timer når oksygenmetningen faller under 28 %, og 50 % dødelighet inntreffer når oksygenmetningen er rundt 20 % ved temperaturer fra 2–6 °C (Plante *et al.* 1998). Andre har observert at den kritiske oksygenmetningen ved 5, 10 og 15 °C var henholdsvis 16, 23 og 30 % (Schurmann og Steffensen 1997). Vår erfaring er at dødeligheten observeres lenge før oksygenmetningen når under 30 %, men dette vil avhenge av om fisken er stresset eller fôret, begge deler vil øke oksygenforbruket betydelig. Ved kritisk lave oksygenverdier øker også kortisolnivået, en indikasjon på at torsk oppfatter de lave verdiene som stress. Oksygenforbruk forbundet med å fordøye fôret er betydelig, og utgjør for torsk i størrelsesorden 10–15 % av totalforbruket. Denne økningen kommer etter et måltid, og er på topp åtte–ti timer etter måltidet (Soofiani og Hawkins 1982). Forskjellige fôrtyper med ulike fordøvelsesrater vil slå forskjellig ut på oksygenforbruket.

Dødeligheten avhenger også av fiskens svømmeaktivitet og omgivelsestemperatur, da høyere temperatur øker oksygenforbruket samtidig som vannets evne til å inneholde oksygen avtar med økende temperatur. Kaldt vann inneholder mer oksygen enn varmt vann. Ved 100 % metning inneholder 6 °C vann 9,8 mg/l O₂ sammenlignet med 8,2 mg/l O₂ ved 14 °C. Oksygenmetningen i sjøvannet er normalt over 95 %. Torsk som utsettes for redusert

oksygenmetning øker svømmehastigheten som en initiell unngåelsesmekanisme, men den vil snart redusere svømmehastigheten for å minske oksygenforbruket (Herbert og Steffensen 2005).

Oksygenforbruket øker eksponentielt med økende svømmehastighet (Webber *et al.* 2001). Maksimalt oksygenforbruk (når fisken svømmer maksimalt) utgjør ca. 200–220 mg O₂ per kg per time (Dutil *et al.* 2007). I forsøk hvor oksygenmetningen ble endret mellom 15 og 100 %, var oksygenforbruket ved normal lav aktivitet ca. 20, 31 og 54 mg O₂ per kg per time ved henholdsvis 2, 5 og 10 °C. Den aktive metabolske raten ved aktiv svømming var ved de samme temperaturene 65, 120 og 177 mg O₂ per kg per time. I andre forsøk har man undersøkt standard metabolsk rate, aktiv metabolsk rate og kritisk oksygenmetning hos torsk ved 5, 10 og 15 °C. Ved disse temperaturene var standard metabolsk rate henholdsvis 35, 57 og 78 mg O₂ per kg per time og kritisk oksygenmetning var da 16,5, 23,2 og 30,3 %. Aktiv metabolsk rate var 147, 198 og 200 mg O₂ per kg per time. I åpne respirometrisforsøk med to temperaturer (10 og 14 °C) og to saltholdigheter (15 og 31) er det vist at oksygenforbruket til liten torsk (snittvekt 11,5 g) ligger mellom 148 og 409 mg O₂ kg⁻¹ time⁻¹ (Bentsen 2007). Forbruket øker med økende temperatur, og avtar ved avtakende saltholdighet, i tillegg var det en tendens til at den største fisken hadde noe lavere forbruk enn den minste.

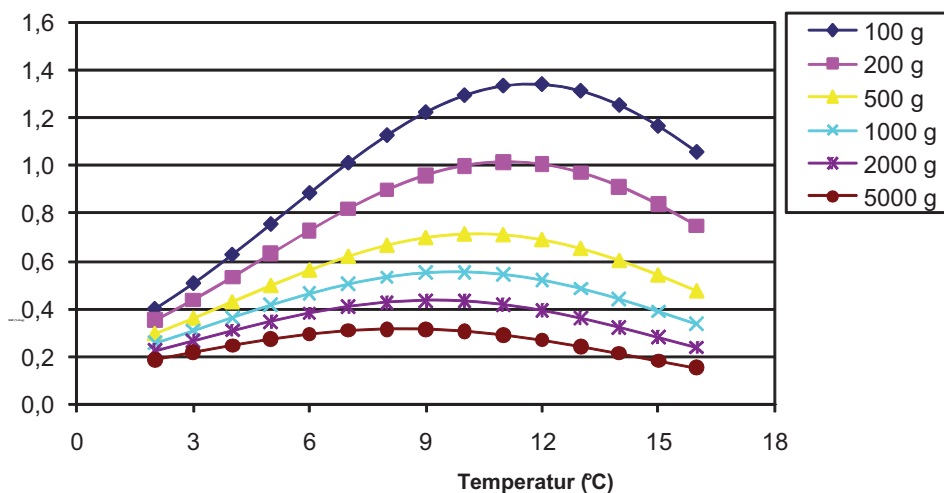
3.2.4. Temperatur

Torsk overlever i lengre perioder med temperaturer nær 0 og 20 °C. Den spiser ved temperaturer > 3 °C og < 17 °C. Optimal temperatur for vekst er for liten fisk (< 100 g) over 14 °C, den synker for større fisk (< 3 kg) til nær 10 °C. Ved gradvis nedkjøling av vannet vil torsk produsere antifryseproteiner, og den kan overleve selv når sjøtemperaturen er < -1 °C (Lannig *et al.* 2003). Det ble ikke observert dødelighet i forsøk hvor torsk ble holdt ved 0,6 °C (Brown *et al.* 1989).

Temperatur er viktig for metabolismen til torsk, og ulike fiskestørrelser har ulike optimale temperaturer for vekst (Jobling 1988; Björnsson *et al.* 2001, 2007; Björnsson og Steinarsson 2002). Torsk holdt i laboratorier med ubegrenset førtilgang viser at vekstratene øker med økende temperatur til en optimal temperatur er oppnådd, deretter synker vekstraten med ytterligere økning i temperaturen. Videre er det vist at temperatur relativt sett har større effekt på liten fisk enn på stor fisk (Björnsson og Steinarsson 2002). Flere vekstmodeller for torsk som inkluderer temperatur og fiskestørrelser er tilgjengelige. Modellen til Björnsson *et al.* (2007) viser at spesifikk vekstrate (SGR) er:

$$\ln \text{SGR} = ((-0,7620)+(0,3982 \cdot T)+(-0,0128 \cdot T^2)) + (-0,15+(-0,0215 \cdot T)) \cdot \ln \text{Vekt}$$

Benyttes denne modellen, kan forventet vekst settes opp ut fra startvekt og temperatur. Figur 3.3 viser at optimal veksttemperatur i denne modellen gir optimale temperaturer på 12, 10 og 9 °C for hhv. 100, 500 og 2000 g torsk, det er noe lavere enn hva andre har funnet.



Figur 3.3. Spesifikk vekstrate (SGR %/dag) for ulike størrelser av torsk ved ulike temperaturer. Vekstmodell fra Björnsson *et al.* (2007).

Som en videreføring av disse modellene er det forsøkt å bruke modeller som tar hensyn til størrelse og temperatur (TGC eller VF^3 , Thermal Growth Coefficient). For torsk må man i hvert fall foreløpig være forsiktig med dette, da det har vist seg at modellen bare er gyldig innenfor gitte temperaturer (Jobling 2003). Torskens vekst er lineær med økende førtilgang (Braaten 1984) opp til metthet.

I laboratorieforsøk er det vist at en temperaturøkning øker svømmeaktiviteten og hjertefrekvens (Claireaux *et al.* 1995). I lagdelt vannsøyle (temperaturer) unngikk torsk uvante vanntemperaturer, men man fant også at fisk tenderte mot å oppholde seg dypere i kaldere vann om dagen, og i grunnere og varmere vann om natten. Claireaux *et al.* (1995) fant også at endringer i temperatur på 2,5 °C opp eller ned endret oksygenforbruket med 15 og 30 % respektivt. Oksygenforbruket etter føring økte med 80 %, noe som reduserer torskens mulighet for aktivitet.

3.2.5. Andre miljøkrav

Saltholdighet

I forsøk er det vist at torsk ikke opplever en nedgang i saltholdighet til 7 som en stressituasjon (Dutil *et al.* 1992). Det er også påvist at det var problemfritt å holde torsk i saltholdigheter på 20 selv ved så lave temperaturer som 2 °C (Nelson *et al.* 1996). Torsk vokser bedre i lavere (14) saltholdigheter (Dutil *et al.* 1997), men dette kan ikke forklares ved endringer i standard metabolsk rate, proteinfordøyelse eller førintak.

For anlegg lokalisert utenfor fjordsystemene, vil saltholdighet trolig aldri bli noe problem. Saltholdigheten i kyststrømmen ligger vanligvis mellom 33 og 35, men kan være lavere i fjorder med stor ferskvannsavrenning. Selv om torsk ikke tåler ferskvann, vil dens toleranse til lave saltholdigheter i praksis bety at saltholdighet ikke setter begrensninger i oppdrett av torsk. En skal likevel være oppmerksom på at fisk kan få utfelling av aluminium på gjellene ved lave saltholdigheter, men dette er ikke undersøkt for torsk.

Ammonium

Ammonium er sluttproduktet av nitrogen-metabolismen til fisk (Foster og Goldstein 1969). Ammonium forekommer både som ionisert (NH_4^+) og uionisert (NH_3). Giftigheten er stort sett forbundet med uionisert ammonium og påvirker torskens vekst (Foss et al. 2004). Foster og Goldstein (1969) nyttet konsentrasjoner på 0,0005 (kontroll), 0,06, 0,11 og 0,17 mg per l og de fant at konsentrasjoner på 0,11 og 0,17 mg l⁻¹ hadde en vekstreduserende effekt, mens ingen av konsentrasjonene gav økt dødelighet. I merdoppdrett skal det svært høye tettheter til, kombinert med dårlig vannutskifting, før vekstreduserende konsentrasjoner nås. Likevekten er påvirket av miljøparametere som oksygen, saltholdighet, temperatur, pH og alkalitet. Det er derfor ikke nødvendig å ta hensyn til forhøyede konsentrasjoner av ammonium ved normal lokalisering og drift av matfiskanlegg for torsk.

Isdannelse

I fjorder med lite vannutskifting og/eller mye ferskvannsavrenning kan det oppstå problemer med isdannelse. Ferskvannet kan legge seg som et lokk over det varmere saltvannet og fryser lett ved lave lufttemperaturer. Isdekke om vinteren medfører ikke problemer for torsken, da den ikke har behov for å snappe luft. De største problemene med is er de skadene isen kan påføre anleggene med mulig rømning som resultat, samt driftsforhold med føring og lignende.

Bølger

Torsk er en bunnfisk, men svømmer pelagisk i merdene. Bølgebevegelser vil ikke skade fisken. Selv om det er påstått at torsk kan gulpe opp mat ved sterke bølgebevegelser, bør ikke bølger sette hindringer for plassering av anleggene. På samme måte som for matfiskanlegg for laks er det derfor anleggenes tåleevne som avgjør betydningen av bølgeeksponering.

Algeoppblomstring

Algeoppblomstringer kan medføre problemer for fisken, både fordi enkelte algearter er giftige eller giftproduserende, kan skape sår og hudirritasjoner, eller legger seg på gjellene. Ved store oppblomstringer kan det også være et problem at algene forbruker oksygen om natten. For å unngå oppblomstringer, kan man senke merdene, men man må være oppmerksom på at man etter senking bare kan løfte merden en begrenset distanse før torsken får problemer med trykket i den lukkede svømmeblæren.

Vannstrøm

Torsk er en utholdende svømmer, og i naturen vandrer enkelte torskestammer lange strekninger mellom oppvekst, føde- og gyteområder, slik som for eksempel skrei (Godø og Michalsen 2000). Det er vist at torsk mellom 36 og 60 cm (ca. 0,5 til 2,5 kg) kan svømme minst én kroppslengde i sekundet i månedsvis (Karlsen et al. 2006). Andre forsøk har vist at noe mindre torsk (størrelsen varierte fra 21 til 39 cm) kan svømme med en fart på opptil 1,5 kroppslengde i sekundet uten å bli utmattet, mens all fisk er utmattet etter 10–20 minutter når strømmen økes til to kroppslengder i sekundet (Schurmann og Steffensen 1997). Toleransegrensen er derfor mellom 1 og 1,5 kroppslengder i sekundet. Fisk i dårlig kondisjon

har dårligere svømmeevne (Lapointe et al. 2006), mens saltholdighet ikke synes å påvirke svømmeevne (Nelson et al. 1996).

Torskens svømmeevne avhenger av oksygenmetningen i vannet. Under normale oksygenmetninger ved 7 °C vil torsk på omkring 50 cm utmattes ved omtrent 80 cm per sek, mens med 50 % oksygenmetning utmattes den samme fisken ved svømmehastighet under 60 cm per sek (Dutil et al. 2007). Torsk har relativt sett lite aerob rød muskulatur, som normalt forbruker lite oksygen. Torsk som holdes ved maksimal svømmehastighet uten at den utmattes, har betydelig lavere oksygenforbruk enn fisk som presses til utmattelse (Soofiani og Priede 1985). Kombineres derfor intens føring med sterk vannstrøm, kan man risikere at fisken ikke klarer å ta til seg nok oksygen til å opprettholde nødvendig svømmeaktivitet, og den vil da enten måtte gulpe opp føret, eller la seg drive med vannet.

Lys

Under normale forhold er det ikke nødvendig å redusere lysintensiteten til torsk, selv om den nok trives bedre i litt lavere lysintensiteter enn hva som oppleves på Vestlandet i sommerhalvåret. Vanligvis vil torsk stå i nedre del av merden om dagen, og fordele seg jevnere om natten.

Vertikaleffekter

Det er ingen praktisk dybdebegrensing for torsk. Men siden torsk har en lukket svømmeblære som vil punkteres hvis trykkreduksjonen blir for stor, har det praktisk betydning for hvordan fisken håndteres. Hvis svømmeblæren punkteres, vil luften komme ut i bukhulen. Torsken vil i så fall ikke lenger klare å opprettholde nøytral oppdrift, og flyter opp til overflaten, ofte med buken opp. Denne fisken dør.

Tetthet

I forsøk der tettheten av 500 g torsk ble variert mellom 2 og 40 kg/m³, ble det vist at ved 20 kg/m³ var veksten redusert med 12 % i forhold til fisk holdt ved 2 og 10 kg/m³ (Lambert og Dutil 2001). Disse forsøkene var gjort i 1,5 m³ kar, og effekten er nok større enn hva en ville opplevd med større kar eller merder. De fleste oppdrettere legger seg på tettheter under 20 kg/m³, da det påstås at veksten blir dårligere hvis dette overstiges.

3.2.6. Utslipp fra torskeoppdrett

Fôret som benyttes i torskeoppdrett var tidligere bare basert på fiskemel, fiskeolje og med stivelse som binder. Sammensetningen av fôret varierer noe, men normalt inneholder fôret 50–55 % proteiner, 15–18 % fett og 10–15 % karbohydrater (stivelse). Etter hvert er det også tilgjengelig fôrtyper basert på vegetabiliske råstoffer, men sammensetningen av hovedbestanddelene er noenlunde lik.

Under kontrollerte fôringsforsøk kan man oppnå fôrfaktorer (dvs. utfôret mengde fôr/økt fiskevekt) på under 0,8, men i praktisk oppdrett er ikke dette mulig. Fôringsforsøk i merder indikerer at en fôrfaktor på rundt 1 er mer realistisk, og tilsvarende tall (1,0–1,1) oppgis også

fra oppdrettere og fôrfirmaer. Dette forutsetter at torsken ikke kjønnsmodner. Fôrfaktoren til torsk er avhengig av i hvilken grad de ulike næringsstoffene fordøyes. Det er gjort en rekke fordøyelighetsmålinger av ulike naturlige fôrkilder som brisling (*Sprattus sprattus*, Lied *et al.* 1982), krill (*Meganyctiphanes norvegica*, Solbakken 1984), lodde (*Mallotus villosus*, Lied *et al.* 1982), raudåte (*Calanus finmarchicus*, Solbakken 1984), reke (*Pandalus borealis*, Solbakken 1984), sild (*Clupea harengus*, Jobling *et al.* 1991) og tobis (*Ammodytes lancea*, Solbakken 1984). Her har man normalt funnet at fordøyeligheten av protein lå mellom 87 og 96 % og for fett mellom 89 og 96 %.

Tilsvarende undersøkelser er gjort en rekke ganger for formulert fôr. Normalt finner man selv med store variasjoner i sammensetningen (protein 34–59 %), fett (6–26 %), stivelse (5–18 %) at fordøyeligheten av proteiner varierer mellom 81 og 87 %, for fett nesten 100 %, for stivelse 78 og 95 % og for tørrstoff mellom 72 og 83 % (Hemre *et al.* 2004). I tillegg finner man ofte at jo hyppigere torsk fôres, dess lavere blir fordøyelsen (Lie *et al.* 1988, 1989; Lied *et al.* 1985). Effekten av temperatur har i liten grad vært undersøkt.

Fordøyelse og absorpsjon av fett foregår hovedsakelig i blindtarmene og fremre del av tarmen (ileum). Nedbryting i magen er ubetydelig (Lie *et al.* 1987). Fordøyelsen avhenger av fettkilde (Lie *et al.* 1986), fettsyrelengde og metningsgrad (Lie *et al.* 1987). Korte mettede fettsyrer er mindre fordøyelige enn langkjedete umettede fettsyrer (Lied og Lambertsen 1982; Lie *et al.* 1987). Også proteinene brytes hovedsakelig ned i blindsekkene og fremre del av tarmen (Lied *et al.* 1982; Lied og Njaa 1982), selv om der er noe absorpsjon over hele tarmlengden (Solbakken 1984; Lied og Solbakken 1984). Selv om noe protein brytes ned i magen, er absorpsjonen i magen neglisjerbar (Lied og Solbakken 1984). Sammensetningen av proteinet har betydning for dets fordøyelighet. Hvis aminosyresammensetningen avviker fra hva torsken trenger, ser det ut til å redusere avleiringen av aminosyrer som vekst (Lied *et al.* 1985). Aminosyrer i overskudd av behov vil deamineres, og karbonkjedene vil enten bli katabolisert (nedbrutt) eller brukt i fettsyntesen. Fordøyeligheten til karbohydrater er begrenset i torsk, og avhenger av inntatt mengde, mengde i fôr, karbohydratkilde og grad av behandling (gelatinisering) (Hemre *et al.* 1989, 1990). Hvis dietten inneholder en balansert mengde karbohydrater og den er lettfordøyelig, kan karbohydratene ha en viss vekststimulerende og proteinsparende effekt.

Fôrets evne til å frembringe vekst er korrelert med dets sammensetning av aminosyrer for syntese av muskelproteiner. Skjelettmuskulaturen i oppdrettstorsk utgjør ca. 50 % av totalvekten. Omtrent 70 % av inntatt protein forbrukes som energi (Lie *et al.* 1986, 1988). Muskelvekst i den magre torsken skyldes hovedsakelig proteinsyntese (Greer-Walker 1970, Lied og Rosenlund 1984). I muskelmassen er det en kontinuerlig oppbygging (syntese) og nedbryting (katabolisme) av protein, og vekst skyldes at syntesen er høyere enn katabolismen. Det er funnet en lineær sammenheng mellom proteininntak og vekstrate (Houlihan *et al.* 1988). Proteinsyntesen, og derfor vekst, er avhengig av mengde og kvalitet av inntatt protein. Kapasiteten for proteinsyntese minker når andelen av protein i dietten er indre enn 47 % av totalenergien (Lied og Rosenlund 1984). En økt andel av totalenergien i form av proteiner øker bare syntesen marginalt. I tillegg finner en at tapet av nitrogen over

gjellene var lavest når 48 % av energien kom fra protein (Lied og Braaten 1984). Deponeringen av protein kan uttrykkes som mengde protein spist/mengde protein i fisk (PPV). Denne er ofte i størrelsesområdet 0,25–0,40, med noe høyere verdier for liten hurtigvoksende torsk (Rosenlund *et al.* 2004; Karlsen *et al.* 2006), lavere for større fisk. Nitrogenretensjonen (g nitrogen i hel fisk/g nitrogen spist) ligger for liten fisk på ca. 30 % (Hatlen *et al.* 2007).

Leveren utgjør energilageret til torsk, og inntatt energi i overskudd av behov vil lagres her. Leveren kan inneholde 40–70 % fett på våtvektsbasis, og kan utgjøre 18 % av totalvekten hos oppdrettstorsk, mens i naturen er vanligvis leverindeksen (andelen leveren utgjør av totalvekten) 3–8 % (Du Buit 1989). I oppdrettstorsk er det en lineær sammenheng mellom leverindeks og mengde inntatt fett (Lie *et al.* 1988; Jobling 1988; Rosenlund *et al.* 2004). I tillegg øker leverindeksen med økende fôrinntak inntil metthet (Edwards *et al.* 1972). Av de inntatte lipidene lagres ca. 60 % (Lie *et al.* 1986; Lied *et al.* 1989). For de fleste fettsyrene er det en uspesifikk lagring (Lie *et al.* 1986), men noen prosesser vil influere dette, som for eksempel oppbygging av gonadene (Takama *et al.* 1985). Økte lipidnivåer i dietten gir i liten grad noen proteinsparende effekt (Lie *et al.* 1988; Rosenlund *et al.* 2004). Fettinntak i overskudd av behov vil derfor lagres i leveren (Jobling 1988).

For å kunne sette opp detaljerte budsjetter over hva som tapes i forhold til hva som føres, er en avhengig av å kjenne en rekke parametere som sammensetning av fisk, sammensetning av fôr og hvordan fiskestørrelse, temperatur og førsammensetning påvirker fordøyelse og metabolisme. Med unntak av hvilken effekt temperatur har på fordøyelse, er de fleste faktorene kjent, og kan settes inn i beregningsmodeller.

Av en gitt mengde fôr tilbudt fisken vil en del tapes som fôrspill, mens noe ikke er fordøyelig for fisken og tapes i form av faeces. Disse to faktorene utgjør partikulært organisk avfall. Går man ut fra en fôrfaktor på 1, vil i overkant av 20 % av fôret som tilbys tapes i form av fôrspill. For hvert tonn utfôret, vil det tapes 200 kg fôr, hvorav protein utgjør 55 %, og nitrogen utgjør ca. 6,25 % av proteinet i fôret. Dette indikerer et nitrogentap som fôrspill på 6,9 kg/tonn fôret.

Energi for å dekke vedlikeholdsbehovet skalerer til fiskestørrelsen for en gitt temperatur. Fôrinntak hos fisk fører til økt varmeproduksjon, etterfulgt av økt oksygenforbruk (Saunders 1963; Paloheimo og Dickie 1966; Brett og Groves 1979). Denne økte metabolismen kalles ”Specific Dynamic Action (SDA)”. Ulike forsøk indikerer at denne hovedsakelig skyldes proteinsyntese i forbindelse med vekst (Jobling 1981; Houlihan *et al.* 1988). SDA vil derfor variere med fôrets sammensetning (Jobling og Davies 1980). Forsøk hvor torsk ble akklimatisert til 7, 10, 15 eller 18 °C med ulike fôringsintensiteter, viste at høyest oksygenforbruk forbundet med fôropptak kom åtte–ti timer etter måltidet (Claireaux *et al.* 1995). Økningen er korrelert til måltidsstørrelse, og kostnadene for fisk fôret til metthet utgjorde henholdsvis 11,9, 10,9, 16,4 og 17,1 % av inntatt energi ved 7, 10, 15 og 18 °C. Oksygenforbruket for hvilende mett fisk var nesten like høyt som maksimum oksygenforbruk for aktiv fisk.

Utnyttelsen av inntatt energi og proteiner avhenger av fôringsraten. Ettersom basalmetabolismen er rimelig konstant, vil andelen denne utgjør av energibudsjettet minke ettersom fôrmengden som inntas øker. Vedlikeholdsenergibehov skalerer med fiskestørrelsen, og er ca. $53.8 \pm 0.9 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1} \text{ d}^{-1}$ (Hatlen *et al.* 2007). Disse verdiene ligger noe over tidligere estimater. Plotter man deponert energi (som vekst) mot enten inntatt eller metaboliserbar energi, finner man oftest at stigningen ligger mellom 0,6 og 0,7 (Hatlen *et al.* 2007). For torsk er det vist en lineær sammenheng mellom energiinntak og vekst (Jobling 1982; Braathen 1984).

Oksygenforbruket for ufôret fisk lå på ca. 120 mg, mens for fôret fisk var forbruket ca. 180 mg (ca. 300 g fisk). Høyere proteininnhold (dvs. lavere fettinnhold i dietten) gir en noe høyere proteinfordøyelighet (Hemre *et al.* 2003, Hatlen *et al.* 2007). Høyere fettinnhold i diettene medfører at en lavere del av proteinet som fordøyes, forbrukes til energi, derved øker proteinavleiringen (dvs. nitrogen).

Av det proteinet som fordøyes, vil en del brennes som energi (kataboliseres), dette regnes som forskjellen mellom fordøyd protein og deponert protein (helfiskanalyser). Ekskresjonen beregnes ut fra 24,9 kJ/g nitrogen (som ammonium) og 23,1 kJ/g nitrogen (som urea) (Elliot og Davison 1975), og man antar at 17 % av nitrogenet utskilles som urea, og 83 % som ammonium (Chadwick og Wright 1999).

Tabell 3.5. Sammensetningen av fisk gitt dietter med ulik sammensetning av protein (P), fett (F) og karbohydrater (KH), samt retensjon (PPV) av protein. All fisken er holdt på kontinuerlig lys for å forhindre kjønnsmodning.

	66 %P - 9 %F - 4 %KH				51 %P - 17 %F - 11 %KH				46 %P - 16 %F - 17 %KH			
Rundvekt (g)	300	800	1500	2800	200	800	1500	2800	200	800	1500	2800
Leverindeks (%)		8,3	8,6	8,8		12,5	12,2	11,1		12,3	12,7	13,1
Analyser												
helfisk												
Tørrstoff	26,0	25,9	26,9	25,5	25,5	29,4	28,9	28,5	27,2	27,9	29,2	30,8
Fett	6,2	5,5	6,2	5,7	5,2	9,3	8,7	9,4	7,8	7,8	8,8	11,6
Protein	16,0	17,3	17,2	15,8	16,6	16,8	15,9	15,5	15,7	16,1	16,8	15,7
Analyse lever												
Tørrstoff		70,6	72,1	76,7		74,3	76,1	76,9		76,3	76,1	75,8
Fett		65,0	66,3	70,5		68,2	70,6	72,2		71,5	72,5	69,5
Protein		2,8	2,3	3,4		3,2	2,2	4,2		2,1	1,8	3,6
Analyse muskel												
Tørrstoff			21,7	21,5			21,8	21,7			21,9	21,8
Fett			0,1	0,4			0,1	0,5			0,1	0,6
Protein			19,9	17,8			19,9	19,7			20,3	16,6
Fôrfaktor		0,79				0,77				0,86		
PPV	0,33	0,25			0,43	0,28			0,48	0,29		

Sammensetningen av oppdrettstorsk varierer alt etter førsammensetning, og påvirkes i tillegg både av fiskestørrelse, årstid og om fisken kjønnsmodner. Fôrets betydning er primært drevet av innhold av proteiner og fett, i mindre grad av karbohydratet (brukes som binder i fôret). Ved innblanding av vegetabiliske råvarer i fôret blir bildet betydelig mer komplisert, da det er svært mange potensielle råvarer som kan benyttes som føringredienser. En rekke tilgjengelige vegetabiliske råstoffer har vist seg å kunne brukes i fôr til oppdrettstorsk, som f.eks. soya, hvete, maisgluten og erter. I tillegg kan disse fås med ulik tilvirkningsrad og med ulik fordøyelighet. En del av disse har vist seg å kunne inkluderes i fôret (e.g. Hansen *et al.* 2006; Hansen *et al.* 2007; Førde-Skjæresvik *et al.* 2007). Tabell 3.5 gir en oversikt over sammensetning at torsk ved ulike dietter.

Ved bruk av vegetabiliske råvarer, opplever man ofte en del endringer i forhold til fisk fôret med marine råvarer. Dette kan være redusert vekst, økt fôrfaktor, redusert proteinutnyttelse og morfologiske tarmendringer (Kaushik *et al.* 1995; Robaina *et al.* 1995; Refstie *et al.* 1998, 2000; Storebakken *et al.* 1998; Regost *et al.* 1999; Carter og Hauler 2000; Krogdahl *et al.* 2003; Gómez-Requeni *et al.* 2004; Lim *et al.* 2004; Hansen *et al.* 2006, 2007; Olsen *et al.* 2007). Noen av disse problemene kan skyldes en ubalansert aminosyresammensetning samt at vegetabiliske råstoffer inneholder antinæringsstoffer (Francis *et al.* 2001; Krogdahl *et al.* 2003). Eksempelvis er gluten lav i lysin, mens soya inneholder for lite både metionin og lysin. En ubalansert aminosyresammensetning vil medføre at en mindre andel av proteinet avleires som vekst, derfor vil fôrfaktoren øke.

Siden ulike planter inneholder ulike antinæringsstoffer og aminosyresammensetning, blandes ofte ingredienser med ulik grad av raffinering slik at effekten av en type antinæringsstoffer blir lav, samt at aminosyresammensetningen blir bedre. I tillegg tilsettes krystallinske aminosyrer etter behov. I torsk fôret med soya ble det funnet en proteinfordøyelighet på under 84 % sammenlignet med en ren fiskemelbasert diett på 88 % (Førde-Skjærevik *et al.* 2007). De fant også lavere fettfordøyelighet. Hansen *et al.* (2007) gjorde forsøk med større torsk (startvekt 1650 g) foret med vegetabiliske råvarer, uten å finne spesielt lavere fordøyelighet av protein eller fett. I forsøk med mindre torsk (150–500 g) fôret med blandinger av soya, fettekstrahert soya, hvete, hvetegluten og maisgluten ble det funnet effekter på fordøyelighet (Hansen *et al.* 2006). Fôrfaktoren øker oftest med økende innblanding av uraffinerte vegetabiliske råstoffer som soya (e.g. Hansen *et al.* 2006, 2007; Førde-Skjærevik *et al.* 2006). En god blanding av prosesserte råvarer trenger heller ikke gi dårligere fôrutnyttelse eller fordøyelighet Hansen *et al.* 2006).

3.2.7. Genetiske påvirkninger fra oppdrett av torsk

For torsk produsert i poll vil all fisk nå kjønnsmodning når de er to år gamle, det gjelder både hunner og hanner, kysttorsk og skrei. Man bør egentlig ikke snakke om noen nedre størrelsesgrense for når torsk vil modne. For intensivprodusert fisk vet vi at en hannfisk som er større enn 300 g ved årsskiftet, vil kjønnsmodne følgende vår, tilsvarende vil hunnfisk som er større enn 500 g modne. Siden kostnadene ved modning og gyting er så store (tapt appetitt, økt produksjonstid, tapt vekt, økt dødelighet), bruker i praksis alle torskeoppdrettere

kontinuerlig tilleggsllys for å utsette modningen. I merder er ikke denne behandlingen 100 % effektiv, og en varierende andel av fisken vil gyte til normal tid på våren, mens en del fisk vil modne utover sommeren og høsten. Dette har sammenheng med benyttet lysintensitet, plassering av lysene samt av produksjonsmetode for settefisken. Status per i dag er at en del av fisken vil gyte i merdene om våren (varierer i 2007 fra 0–30 % for noen undersøkte anlegg på Vestlandet), og slippe befruktede egg ut i nærliggende område. Hvordan eggene spres, avhenger av lokale strømforhold. I 2006 ble det gjennomført forsøk hvor man simulerte gyting i merd i Heimarkspollen. Analyser viste at 25 % av torskelarvene som ble funnet i de frie vannmassene i begynnelsen av april, kom fra gytemerden. I løpet av april spredte disse seg utover, også ut av pollen. 1 % av torskelarvene som ble fanget 8 km fra gytemerden var fra denne gytemerden.

Forsøket ble gjentatt i 2007, da med flere gytefisk, og andelen merket torsk fanget i midten av april hadde økt til 35 %. Også i 2007 hadde larvene spredt seg utenfor pollen, og 10–19 % av torskelarvene funnet i tilgrensende fjordområde var genetisk merket. Dette viser klart at gyting i merder frembringer og sprer torskelarver, men vi vet foreløpig ikke hvor mange av disse som vil overleve for selv å gyte. I regi av havbeiteprosjektet (PUSH) ble det satt ut over 200 000 genetisk merkede torsk på tre steder i Hordaland; Heimarkspollen i Austevoll, Øygarden og Masfjorden. Det er siden funnet en økt frekvens av dette markør-genet.

Hva som skjer med gyteproduktene til den fisken der modningen blir utsatt til sommer eller høst, er mer usikkert. Sjøtemperaturen på denne tiden av året er såpass høy at det trolig ikke produseres levedyktig avkom, men det er ikke gjort undersøkelser i nærområdet til oppdrettsanlegg med gytende torsk for å undersøke overlevelsen.

Statistikken viser at torsk rømmer. I 2006 rømte det ifølge Fiskeridirektoratet 290 000 torsk. Torsken som står i norske anlegg per i dag er i liten eller ingen grad avlet (maksimalt første generasjon avlet). Forsøk pågår nå for å avklare om gyteklar rømt oppdrettstorsk gyter sammen med villfisk. Dette er viktige tema, da det per i dag er etablert to avlsstasjoner for torsk. Den avlede fisken vil etter hvert skille seg genetisk fra villfisken. Det kan være grunn til å anta at torsken fra avlsstasjonene vil bli solgt over hele landet, uavhengig av hvor stamfisken en gang ble fanget.

3.2.8. Referanser

- Bentsen, B.I. 2007. Interactive effects of temperature and salinity on oxygen consumption and growth of juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua*). MSc thesis, Universitetet i Bergen.
- Björnsson, B. and Steinarsson, A. 2002. The food-unlimited growth rate of Atlantic cod (*Gadus morhua*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences 59: 494–502.
- Björnsson, B., Steinarsson, A. and Oddgeirsson, M. 2001. Optimal temperature for growth and feed conversion of immature cod (*Gadus morhua* L.). ICES Journal of Marine Science 58: 29–38.

- Braaten, B. 1984. Growth of cod in relation to fish size and ration level. Flødevigen Rapport serie 1: 677–710.
- Brander, K.M. 1994. Patterns of distribution, spawning and growth in North Atlantic cod: the utility of inter-regional comparisons. ICES Marine Science Symposia 198: 406–413.
- Brander, K.M. 2005. Cod recruitment is strongly affected by climate when stock biomass is low. ICES Journal of Marine Science, 62: 339–341.
- Brett, J.R. and Groves, T.D.D. 1979. Physiological energetics. I Hoar, W.S., Randall, D.J. and Brett, J.R. (Red.) Fish Physiology 8: 279–352. New York: Academic Press.
- Brown, J.A., Pepin, P., Methven, D.A. and Somerton, D.C. 1989. The feeding, growth and behaviour of juvenile cod, *Gadus morhua* L., in cold environments. Journal of Fish Biology 35: 373–380.
- Chabot, D. and Dutil, J.D. 1999. Reduced growth of Atlantic cod in non-lethal hypoxic conditions. Journal of Fish Biology 55: 472–491.
- Chadwick, T.C. and Wright, P.A. 1999. Nitrogen excretion and expression of urea cycle enzymes in the Atlantic cod (*Gadus morhua* L.): a comparison of early life stages with adults. Journal of Experimental Biology 202: 2653–2662.
- Claireaux, G., Webber, D.M., Kerr, S.R. and Boutilier, R.G. 1995. Physiology and behaviour of free-swimming Atlantic cod (*Gadus morhua*) facing fluctuating temperature conditions. Journal of Experimental Biology 198: 49–60.
- Claireaux, G., Webber, D.M., Kerr, S.R. and Boutilier, R.G. 1995. Physiology and behaviour of free-swimming Atlantic cod (*Gadus morhua*) facing fluctuating salinity and oxygenation conditions. Journal of Experimental Biology 198: 61–69.
- Claireaux, G., Webber, D.M., Lagardère, J.P. and Kerr, S.R. 2000. Influence of water temperature and oxygenation on the aerobic metabolic scope of Atlantic cod (*Gadus morhua*). Journal of Sea Research 44: 257–265.
- Clark, D.S., Brown, J.A., Goddard, S.J. and Moir, J. 1995. Activity and feeding behaviour of Atlantic cod (*Gadus morhua*) in sea pens. Aquaculture, 131: 49–57.
- Dahle, R., Taranger, G.L., Karlsen, Ø., Kjesbu, O.S. and Norberg, B. 2003. Gonadal development and associated changes in relative liver size and sexual steroids during the reproductive cycle of captive male and female Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). Comparative Biochemistry and Physiology part A, 136: 641–653.
- Davies, S.J. and Morris, P.C. 1997. Influence of multiple amino acid supplementation on the performance of rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum), fed soya based diets. Aquaculture Research 28: 65–74.
- Decken, A. v.d. and Lied, E. 1989. Myosin heavy chain synthesis in white trunk muscle of cod (*Gadus morhua*) fed different ration sizes. Fish Physiology and Biochemistry 6: 333–340.
- Drinkwater, K.F. 2005. The response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to future climate change. ICES Journal of Marine Science 62: 1327–1337.
- Du Buit, M.H. 1989. Quantitative analysis of the diet of cod (*Gadus morhua* L.) off the coast of Scotland. Annales de l'Institut océanographique, Paris. Nouvelle serie 65 : 147–158.

- Dutil, J.-D., Lambert, Y. and Boucher, E. 1997. Does higher growth rate in Atlantic cod (*Gadus morhua*) at low salinity result from lower standard metabolic rate or increased protein digestibility? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 54: 99–103.
- Dutil, J.-D., Munro, J., Audet, C. and Besner, M. 1992. Seasonal variation in the physiological response of Atlantic cod (*Gadus morhua*) to low salinity. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 49: 1149–1156.
- Dutil, J.-D., Sylvestre, E.-L., Gamache, L., Larocque, R. and Guderley, H. 2007. Burst and coast use, swimming performance and metabolism of Atlantic cod *Gadus morhua* in sub-lethal hypoxic conditions. *Journal of Fish Biology*, 71: 363–375.
- Edwards, R.R.C., Finlayson, D.M. and Steele, J.H. 1972. An experimental study of the oxygen consumption, growth, and metabolism of the cod (*Gadus morhua* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 8: 299–309.
- Elliott, J.M. and Davison, W. 1975. Energy equivalents of oxygen consumption in animal energetics. *Oecologia*, 19: 195–201.
- Førde-Skjærvik, O., Refstie, S., Aslaksen, M.A. and Skrede, A. 2006. Digestibility of diets containing different soybean meals in Atlantic cod (*Gadus morhua*); comparison of collection methods and mapping of digestibility in different sections of the gastrointestinal tract. *Aquaculture*, 261: 241–258.
- Foss, A., Kristensen, T., Åtland, Å., Hustveit, H., Hovland, H., Øfsti, A. and Imsland, A.K. 2006. Effects of water reuse and stocking density on water quality, blood physiology and growth rate of juvenile cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture*, 256: 255–263.
- Foss, A., Siikavuopio, S.I., Sæther, B-S. and Evensen, T.H. 2004. Effect of chronic ammonia exposure on growth in juvenile Atlantic cod. *Aquaculture Research*, 237: 179–189.
- Foster, R.P. and Goldstein, L. 1969. Formation of excretory products. In: Hoar, W.S. and Randall, D.J., Editors, 1969. *Fish Physiology* vol. 1, Academic Press, New York, pp. 313–350.
- Francis, G., Makkar, H.P.S. and Becker, K. 2001. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. *Aquaculture*, 199: 197–227.
- Godø, O.R. and Michalsen, K. 2000. Migratory behaviour of northeast Arctic cod, studied by use of data storage tags. *Fisheries Research* 8: 127–140.
- Gómez-Requeni, P., Mingarro, M., Kirchner, S., Caldach-Giner, J.A., Médale, F., Corraze, G., Panserat, S., Martin, S.A.M., Houlihan, H.M., Kaushik, S.J. and Pérez-Sánchez, J., 2003. Effects of dietary amino acid profile on growth performance, key metabolic enzymes and somatotrophic axis responsiveness of gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 220: 749–767.
- Greer-Walker, M. 1970. Growth and development of the skeletal muscle fibres of the cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine Science*, 33: 228–244.
- Hansen, A.-C., Karlsen, Ø., Rosenlund, G., Rimbach, M. and Hemre, G.-I. 2007. Dietary plant-protein utilisation in Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Aquaculture Nutrition*, 13: 200–215.
- Hansen, A.-C., Rosenlund, G., Karlsen, Ø., Olsvik, P. and Hemre, G.-I. 2006. The inclusion of plant protein in cod diets, its effects on macronutrient digestibility, gut and liver histology and heat shock protein transcription. *Aquaculture Research*, 37: 773–784.

- Hansen, A.-C., Rosenlund, G., Karlsen, Ø., Koppe, W. and Hemre, G.-I. 2007. Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) I - Effects on growth and protein retention. *Aquaculture*, in press.
- Hatlen, B., Helland, S.J. and Grisdale-Helland, B. 2007. Energy and nitrogen partitioning in 250 g Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) given graded levels of feed with different protein and lipid content. *Aquaculture*, 270: 167–177.
- Hemre G.-I. and Kahrs F. 1997: ¹⁴C-injection in Atlantic cod (*Gadus morhua*), metabolic responses and excretion via the gill membrane. *Aquaculture Nutrition*, 2: 3–8.
- Hemre, G.-I., Karlsen, Ø., Eckhoff, K., Tveit, K., Mangor-Jensen, A. and Rosenlund, G. 2004. Effect of season, light regime and diet on muscle composition and selected quality parameters in farmed Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *Aquaculture Research*, 35: 1–15.
- Hemre, G.-I., Karlsen, Ø., Mangor-Jensen, A. and Rosenlund, G. 2003. Digestibility of dry matter, protein and lipid by cod, *Gadus morhua*, comparison of sampling methods. *Aquaculture*, 225: 225–232.
- Hemre, G.-I., Lie, Ø. and Lambertsen, G. 1990. Digestibility of different carbohydrate sources in cod (*Gadus morhua*), and its relation to glucose content in blood and urine. *Fiskeridirektoratets Skrifter, Serie Ernæring* 3: 3–9.
- Hemre, G.-I., Lie, Ø., Lied E. and Lambertsen, G. 1989. Starch as an energy source in feed for cod (*Gadus morhua*): Digestibility and retention. *Aquaculture*, 80: 261–270.
- Herbert, N.A. and Steffensen, J.F. 2005. The response of Atlantic cod, *Gadus morhua*, to progressive hypoxia: fish swimming speed and physiological stress. *Marine Biology* 147(6): 1403-1412.
- Holdway, D.A. and Beamish, F.W.H. 1984. Specific growth rate and proximate body composition of Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 81: 147–170.
- Houlihan, D.F., Hall, S.J., Gray, C. and Noble, B.S. 1988. Growth rates and protein turnover in Atlantic cod, *Gadus morhua*. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences* 45: 951-964.
- Jobling, M. and Davies, P.S. 1981. Effects of feeding on metabolic rate, and The Specific Dynamic Action in plaice, *Pleuronectes platessa* L. *Journal of Fish Biology*, 16: 629-638.
- Jobling, M. 1981. Mathematical models of gastric emptying and the estimation of daily rates of food consumption for fish. *Journal of Fish Biology* 19: 245–257.
- Jobling, M. 1982. Food and growth relationship of the cod, *Gadus morhua* L., with special reference to Balsfjorden, north Norway. *Journal of Fish Biology*, 21: 357–371.
- Jobling, M. 1988 A review of the physiological and nutritional energetics of cod, *Gadus morhua* L., with particular reference to growth under farmed conditions. *Aquaculture*, 70: 1–19.
- Jobling, M. 2003. The thermal growth coefficient (TGC) model of fish growth: a cautionary note. *Aquaculture Research*, 34: 581-584.
- Jobling, M., Knudsen, R., Pedersen, P.S., Dos Santos, J. 1991. Effects of dietary composition and energy content on the nutritional energetics of cod, *Gadus morhua*. *Aquaculture* 92: 243–257.

- Karlsen, Ø., Hemre, G.-I., Tveit, K. and Rosenlund, G. 2006. Effect of varying levels of macro nutrients and continuous light on growth, energy deposits and maturation in farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture*, 255: 242–254.
- Karlsen, Ø., Holm, J.C. and Kjesbu, O.S. 1995. Effects of periodic starvation on reproductive investment in first-time spawning Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture*, 133: 159–170.
- Karlsen, Ø., Norberg, B., Kjesbu, O.S. and Taranger, G.L. 2006. Effects of photoperiod and exercise on growth, liver size, and age at puberty in farmed Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *ICES Journal of Marine Sciences*, 63: 355–364.
- Kaushik, S.J., Cravedi, J.P., Lalles, J.P., Sumpter, J., Fauconneau, B. and Laroche, M. 1995. Partial or total replacement of fish meal by soybean protein on growth, protein utilization, potential estrogenic or antigenic effects, cholesterolemia and flesh quality in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*. *Aquaculture*, 133: 257–275.
- Krogdahl, Å., Bakke-McKellep, A.M. and Baeverfjord, G. 2003. Effects of graded levels of standard soybean meal on intestinal structure, mucosal enzyme activities, and pancreatic response in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture Nutrition*, 9: 361–371.
- Lambert, Y. and Dutil, J.D. 2001. Food intake and growth of adult Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) reared under different conditions of stocking density, feeding frequency and size-grading. *Aquaculture*, 192: 233–247.
- Lannig, G., Eckerle, L.G., Serenderon, I., Sartoris, F.J., Fisher, T., Knust, R., Johansen, T. and Pörtner, H.O. 2003. Temperature adaptation in eurythermal cod (*Gadus morhua*) a comparison of mitochondrial enzyme capacities in boreal and Arctic populations. *Marine Biology*, 142: 589–599
- Lapointe, D., Guderley, H. and Dutil, J.D. 2006. Changes in the condition factor have an impact on metabolic rate and swimming performance relationships in Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Physiological and Biochemical Zoology*, 79: 109–119
- Lie, Ø., Lied, E. and Lambertsen, G. 1986. Liver retention of fat and fatty acids in cod (*Gadus morhua*) fed different oils. *Aquaculture*, 59, 187–196.
- Lie, Ø., Lied, E. and Lambertsen, G. 1987. Lipid digestion in cod (*Gadus morhua*). *Comparative Biochemistry and Physiology Part B: Biochemistry and Molecular Biology*, 88: 697–700.
- Lie, Ø., Lied, E. and Lambertsen, G. 1988. Feed optimization in Atlantic cod (*Gadus morhua*): fat versus protein content in the feed. *Aquaculture*, 69: 333–341.
- Lie, Ø., Lied, E. and Lambertsen, G. 1989. Feed attractants for cod (*Gadus morhua*). *Fiskeridirektoratets Skrifter, Serie Ernæring*, 2: 227–235.
- Lied, E. and Braaten, B. 1984. The effect of feeding and starving, and different ratios of protein energy to total energy in the feed on the excretion of ammonia in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 78A: 49–52.
- Lied, E. and Lambertsen, G. 1982. Apparent availability of fat and individual fatty acids in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Fiskeridirektoratets Skrifter, Serie Ernæring*, 3: 63–75.
- Lied, E. and Njaa, L.R. 1982. Apparent availability of total nitrogen, protein nitrogen and of individual amino acids in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Fiskeridirektoratets Skrifter, Serie Ernæring*, 2: 53–62.

- Lied, E. and Rosenlund, G. 1984. The influence of the ratio of protein energy to total energy in the feed on the activity of protein synthesis *in vitro*, the level of ribosomal RNA and the RNA-DNA ratio in white trunk muscle of atlantic cod (*Gadus morhua*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 77A: 489–494.
- Lied, E. and Solbakken, R. 1984. The course of protein digestion in Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Comparative Biochemistry and Physiology*, 77A: 503–506.
- Lied, E., Julshamn, K. and Braekkan, O.R. 1982. Determination of protein digestibility in Atlantic cod (*Gadus morhua*) with internal and external indicators. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 39: 854–861.
- Lied, E., Lie, Ø. and Lambertsen, G. 1985. Nutritional evaluation in fish by measurement of *in vitro* protein synthesis in white trunk muscle tissue. In: Cowey, C.B., Mackie, A.M. & Bell, J.G. (Red.) *Nutrition and Feeding in Fish*, s. 169–176. London: Academic Press.
- Lim, S.R., Choi, S.M., Wang, X.J., Kim, K.W., Shim, I.S., Min, T.S. and Bai, S.C. 2004. Effects of dehulled soybean meal as fish meal replacer in diets for fingerling and growing Korean rockfish *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture*, 231: 457–468.
- Lyndon, A.R., Houlihan, D.F. and Hall, S.J. 1992. The effect of short-term fasting and a single meal on protein synthesis and oxygen consumption in cod, *Gadus morhua*. *Journal of Comparative Physiology B*, 162: 209.
- Martinez, M., Bedard, M., Dutil, J.-D. and Guderley, H. 2004. Does condition of Atlantic cod (*Gadus morhua*) have a greater impact upon swimming performance at Ucrit or sprint speeds? *Journal of Experimental Biology*, 207:2979–2990.
- Martinez, M., Guderley, H., Nelson, J.A., Webber, D. and Dutil, J.-D. 2002. Once a fast cod, always a fast cod: maintenance of performance hierarchies despite changing food availability in cod (*Gadus morhua*). *Physiological and Biochemical Zoology*, 75: 90–100
- Morais, S., Bell, J.G., Robertson, D.A., Roy, W.J. and Morris, P.C. 2001. Protein/lipid ratios in extruded diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.): effects on growth, feed utilisation, muscle composition and liver histology. *Aquaculture*, 203: 101–119.
- Nelson, J., Tang, Y. and Boutilier, R. 1996. The effects of salinity change on the exercise performance of two Atlantic cod (*Gadus morhua*) populations inhabiting different environments. *Journal of Experimental Biology*, 199: 1295–1309.
- Nelson, J.A., Tang, Y. and Boutilier, R.G. 1994. Differences in exercise physiology between two Atlantic cod (*Gadus morhua*) populations from different environments. *Physiological Zoology*, 67(22): 330–354
- Olsen, R.E., Hansen A.-C., Rosenlund, G., Hemre, G.-I., Mayhew, T.M., Knudsen, D.L., Erolđođan, O.T., Myklebust, R. and Karlsen, Ø. 2007. Total replacement of fish meal with plant proteins in diets for Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) – II Health aspects. *Aquaculture*, in press.
- Paloheimo, J.E. and Dickie, L.M. 1966. Food and growth of fishes. II. Effects of food and temperature on the relationship between metabolism and body size. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 23: 869–908.
- Pelletier, D., Dutil, J.D., Blier, P. and Guderley, H. 1994. Relation between growth rate and metabolic organization of white muscle, liver and digestive tract in cod, *Gadus morhua*. *Journal of Comparative Physiology B*, 164: 179–190.

- Pelletier, D., Guderley, H. and Dutil, J.D. 1993. Does the aerobic capacity of fish muscle change with growth rates? *Fish Physiology and Biochemistry*, 12: 83–90.
- Plante, S., Chabot, D. and Dutil, J.-D. 1998. Hypoxia tolerance in Atlantic cod. *Journal of Fish Biology*, 53: 1342–1356.
- Purchase, C.F. and Brown, J.A. 2000. Interpopulation differences in growth rates and food conversion efficiencies of young Grand Banks and Gulf of Maine Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fish and Aquatic Sciences*, 57: 2223–2229
- Purchase, C.F. and Brown, J.A. 2001. Stock-specific changes in growth rates, food conversion efficiencies, and energy allocation in response to temperature change in juvenile Atlantic cod. *Journal of Fish Biology*, 58: 36–52.
- Refstie, S., Førde-Skjærvik, O., Rosenlund, G. and Rørvik, K.-A. 2006. Feed intake, growth, and utilisation of macronutrients and amino acids by 1- and 2-year old Atlantic cod (*Gadus morhua*) fed standard or bioprocessed soybean meal. *Aquaculture*, 255: 279–291.
- Refstie, S., Korsøen, Ø.J., Storebakken, T., Baeverfjord, G., Lein, I. and Roem, A.J. 2000. Differing nutritional responses to dietary soybean meal in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) and Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 190: 49–63.
- Regost, C., Artzel, J. and Kaushik, S.J. 1999. Partial or total replacement of fish meal by corn gluten meal in diets for turbot (*Psetta maxima*). *Aquaculture*, 180: 99–117.
- Reidy, S.P., Kerr, S.R. and Nelson, J.A. 2000. Aerobic and anaerobic swimming performance in individual Atlantic cod. *Journal of Experimental Biology*, 203: 347–357.
- Reidy, S.P., Nelson, J.A., Tang, Y. and Kerr, S.R. 1995. Post-exercise metabolic rate in Atlantic cod and its dependence upon the method of exhaustion. *Journal of Fish Biology*, 47: 377–386.
- Robaina, L., Izquierdo, M.S., Moyano, F.J., Socorro, J., Vergara, J.M., Montero, D. and Fernández-Palacios, H. 1995. Soybean and lupin seed meals as protein sources in diets for gilthead seabream (*Sparus aurata*): nutritional and histological implications. *Aquaculture*, 130: 219–233.
- Rosenlund, G., Karlsen, Ø., Tveit, K., Mangor-Jensen, A. and Hemre, G.-I. 2004. Effect of feed composition and feeding frequency on growth, feed utilisation and nutrient retention in juvenile cod, *Gadus morhua*. *Aquaculture Nutrition*, 10: 371–378.
- Ruzzante, D.E., Wroblewski, J.S., Taggart, C.T., Smedbol, R.K. and Goddard, S.V. 2000. Bay-scale population structure in coastal Atlantic cod in Labrador and Newfoundland, Canada. *Journal of Fish Biology*, 56: 431–447.
- Saunders, R.L. 1963. Respiration of the Atlantic cod. *Journal of the Fisheries Research Board of Canada*, 20: 373–386.
- Scholz, U. and Waller, U. 1992. The oxygen requirement of three species from the German Bight – Cod *Gadus morhua*, Plaice *Pleuronectes platessa*, and Dab *Limanda limanda*. *Journal of Applied Ichthyology* 8: 72–76.
- Schurmann H. and Steffensen, J.F. 1997. Effects of temperature, hypoxia and activity on the metabolism of juvenile Atlantic cod. *Journal of Fish Biology*, 50: 1166–1180.
- Schurmann, H. and Steffensen, J.F. 1994. Spontaneous swimming activity of Atlantic cod, *Gadus morhua* exposed to graded hypoxia at three temperatures. *Journal of Experimental Biology*, 197: 129–142.

- Skjæraasen, J.E., Salvanes, A.G., Karlsen, Ø., Dahle, R., Nilsen, T. and Norberg, B. 2004. The effect of photoperiod on sexual maturation, appetite, 30: 163–174.
- Solbakken, R. 1984. Fordøyelighetsforsøk hos torsk (*Gadus morhua*) gitt fisk, krill, reker og rauåte. Vurdering av kalsium (Ca) som intern fordøyelighets indikator. Cand.scient.-thesis. Universitetet i Bergen, Norge. 145 s.
- Soofiani, N.M. and Hawkins, A.D. 1982. Energetic costs at different levels of feeding in juvenile cod, *Gadus morhua* L. Journal of Fish Biology, 21: 577–592.
- Soofiani, N.M. and Priede, I.G. 1985. Aerobic metabolic scope and swimming performance in juvenile cod, *Gadus morhua* L. Journal of Fish Biology, 26: 127–138.
- Storebakken, T., Kvien, I.S., Shearer, K.D., Grisdale-Helland, B., Helland, S.J. and Berge, G.M. 1998. The apparent digestibility of diets containing fish meal, soybean meal or bacterial meal fed to Atlantic salmon (*Salmo salar*): evaluation of different faecal collection methods. Aquaculture, 169: 195–210.
- Takama, K., Love, R.M. and Smith, G.L. 1985. Selectivity in mobilisation of stored fatty acids by maturing cod, *Gadus morhua* L. Comparative Biochemistry and Physiology, 80B: 713–718.
- Tang, Y., Nelson, J.A., Reidy, S.P., Kerr, S.R. and Boutilier, R.G. 1994. A reappraisal of activity metabolism in Atlantic cod (*Gadus morhua*). Journal of Fish Biology, 44: 1–10.
- Toppe, J., Aksnes, A., Hope, B. and Albrektsen, S. 2006. Inclusion of fish bone and crab by-products in diets for Atlantic cod, *Gadus morhua*. Aquaculture, 253: 636–645.
- Webber, D.M., Boutilier, R.G., Kerr, S.R. and Smale, M.J. 2001. Caudal differential pressure as a predictor of swimming speed of cod (*Gadus morhua*). Journal of Experimental Biology, 204: 3561–3570.

3.3. Kveite

Tabell 3.6. Parametrer med betydning for oppdrett av kveite.

Parameter	Grense for egnethet	Optimal iht. produksjon	Interaksjon
Temperatur (°C)	0–18	8–14	Størrelse
Oksygen (%)	?–100	80–100	Oksygen Temperatur Størrelse Tetthet Alger (andre konsumenter)
Saltholdighet	11?–35	15–35	
Dyp (m)	20 -	20-	Strøm
Strømhastighet (cms ⁻¹)	?	?	Størrelse Temperatur
Fisketetthet (dekningsgrad)	?	Liten < 100 % Stor < 200 %	
Lysforhold	Naturlig	Må reduseres	Bare problem om sommeren
Bølger	?	?	Merddyp Anleggsutforming

3.3.1. Biologi

Kveiteyngelen lever i de frie vannmasser i minst tre måneder før de er ferdig metamorfoisert til en flatfisk og bunnsår, ca. 3–4 cm lange. I Norge er det funnet bare et fåtalls kveitelarver i planktontrekk i havet, og de minste kveitene finnes først når de er ca. to år og 20–30 cm lange på relativt grunne oppvekstområder langs kysten. I noen fjorder på Island er det oppdaget oppvekstområder på sandbunn (20–60 m dyp) hvor en finner 4–5 cm stor kveiteyngel. Når kveitene er tre–fire år gamle, begynner de å vandre ut fra oppvekstområdene og kan legge ut på lange vandringar. Av 300 småkveiter merket i Lofoten, ble 140 gjenfanget i nærområdet og 40 i områder lengre unna. Enkeltfisk ble funnet så langt unna som Island, Kvitsjøen og Nordsjøen. Tilsvarende langdistansevandringar er dokumentert fra merkinger ved Færøyene og Island. Når de er kjønnsmodne, samles kveitene på gytefelt på leire- og mudderbunn på 300–700 m dyp i dyphavsrenner og i fjorder. Ved Færøyene modnet 50 % av hannene i fire–femårsalder (gjennomsnitt 1,3 kg og 55 cm), mens tilsvarende alder for hunnene var syv år og 115 cm/18kg. Merkeforsøk har vist at kveitene kommer tilbake til de samme gytefeltene år etter år. Utenom gytesesongen finner en kveita både på dypt og grunt vann, og de kan vandre lange strekninger (>100 km).

Fra mageundersøkelser vet vi at kveite som er mindre enn 30 cm hovedsakelig spiser krepsdyr som lever på eller nær bunnen. F.eks. utgjør eremittkreps og småkrabber en stor del av dietten, noe som viser at de plukker dyr fra bunnen. Kveiter fra 30–60 cm spiser fortsatt en god del krepsdyr, men etter hvert mer og mer fisk, og særlig bunntilknyttede arter som hyse og sil. Stor kveite spiser nesten bare fisk, og særlig uer ser ut til å spille en viktig rolle. Siden ueren vanligvis står i bratte heng og fjellvegger, må kveita trolig ut på jakt for å fange disse.

Gode kveitefangster er imidlertid tatt på hyller i disse fjellveggene, så kveita plasserer seg trolig nærmest mulig matfatet.



Figur 3.4. Villkveite på naturlig bunn.
Hentet fra Kveitemanualen.imr.no.

Foto: Rudolf Svendsen

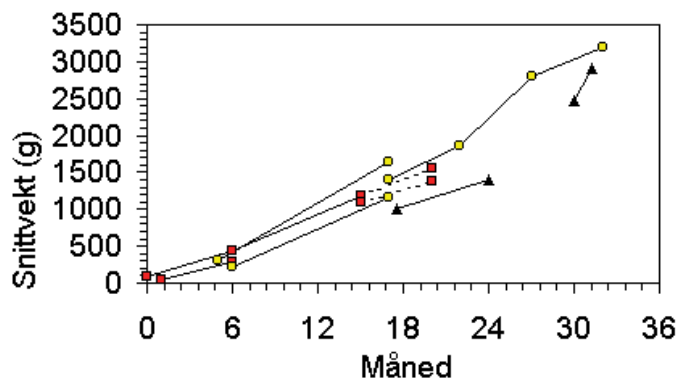
3.3.2. Oppdrettsmetoder

Metodene for oppdrettsmetodene av kveite avviker betydelig fra andre arter som laksefisk og torsk, og vil derfor bli inngående omtalt. Forskjellen skyldes i all vesentlighet at kveite som flatfisk utbytter areal og ikke volum.

All yngelen som brukes i oppdrett i Norge er intensivprodusert (innendørs systemer, anrikt *Artemia* som startfôr), enten i Norge eller på Island. Settefiskproduksjonen foregår i egne kar, og her holdes ofte fisken til den blir ganske stor (500–1000 g) før den settes ut i merd, men dette varierer fra anlegg til anlegg. Også påvekstfasen til kveite kan gjennomføres i kar på land. Karsystemene som benyttes for kveiteoppdrett er ikke vesensforskjellig fra systemer som brukes på ferskvannsfasen av laksefisk. Erfaringer og kompetanse på vannforsyning og vannbehandling er òg overførbare, bortsett fra at det benyttes saltvann, samt at karbunnen må være flat eller svakt konet. Oppdrettskar er vanligvis sirkulære, men både 4- og 8-kantete kar er i bruk. I tillegg har enkelte bygd "kveitefjøs", som i prinsippet er store 8-kantete kar av betong hvor skilleveggene mellom karene kan fjernes. Merdene som benyttes må ha en stiv bunn, hvor fisken kan ligge uforstyrret. For å øke tilgjengelig areal, settes det ofte inn hyller både i merdene og karene. Det har vært et problem i landbaserte anlegg at kveite får sår langs finnebremmer og på undersiden. Dette skyldes trolig slitasjeskader ved at fisken har en tendens til å forsøke å grave seg ned. En rekke forsøk har vist at bunnsstrat er gunstig både for å forhindre og lege sår (Rabben & Huse 1986; Ottesen & Strand 1996; Tuene 1998). Merdene som benyttes til kveiteoppdrett er utviklet fra lakseoppdrett. I begynnelsen bestod de av vanlige laksemerder, som etter hvert fikk en fast bunn hvor fisken kan ligge.

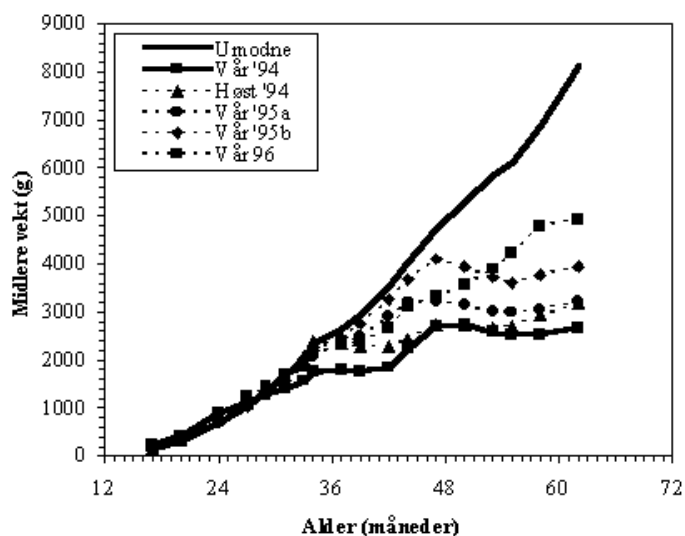
Veksten hos kveite er svært variabel, og gjenspeiler manglende kunnskap om hvordan fisken skal holdes for å øke trivselen i merdene. Produksjonstiden er minst 30 måneder, oftest betydelig lengre. Optimal temperatur for vekst avtar fra rundt 15 °C for 5–10 g kveite, 13–15 °C for 10–100 g kveite, 10–14 °C for 100–500 g kveite til 7–12 °C for 3–5 kg kveite (Hallaråker *et al.* 1995; Björnsson & Tryggvadottir 1996; Jonassen *et al.* 1999). Oppdrett i kontinuerlig lys har en vekstfremmende effekt (Holm *et al.* 1993; Simensen *et al.* 2000), men fremskynder også pubertet (Norberg *et al.* 2001). Björnsson (1995) holdt villfanget kveite i

tre år og fant en lineær vekst på 3,17 kg/år for hunner og 1,36 kg/år for hannene. Det er også en stor individuell forskjell i vekstrate, og denne korrelerer med fôrinntak (Tuene & Nortvedt 1995). Figur 3.5 viser estimerer på vekst hos kveite, men indikerer bare veksten. Små, kortvarige forsøk har vist at veksten kan forbedres betydelig i forhold til det som er vist i figuren.



Figur 3.5. Diagrammet viser beste vekst oppnådd i en rekke ulike forsøk ved to årsklasser ved Havforskningsinstituttet, Forskningsstasjonen Austevoll. Det er hentet fra rapporten "Kveite i merd" av Holm m.fl. (1993).

Vi forventer at veksten kan forbedres betydelig ettersom erfaringsgrunnlaget øker. Det er ikke tilgjengelig tilstrekkelig datamateriale for å kunne sette opp presise tabeller som viser hvor godt kveite vokser under ulike betingelser. Det er stor forskjell i vekstrate mellom hann- og hunnkveite, og hunnene vokser betydelig raskere enn hannene (Jakupsstovu & Haug 1988; Haug 1990; Björnsson 1995; Norberg *et al.* 2001). Som for andre fiskearter i oppdrett, er tidlig alder ved pubertet et problem, men for kveite gjelder dette bare hannkveite. I normal drift i et anlegg med god vekst, vil normalt en stor del av hannfisken nå pubertet i en alder av to–tre år og ofte under 2 kg, dvs. før den når slaktbar størrelse (Norberg *et al.* 2001). Foreløpig medfører ikke kjønnsmodning hos hunnene noe problem, da de slaktes før de modner. For hannene derimot, har kjønnsmodningen en betydelig effekt på videre vekst. Figur 3.6 illustrerer veksten til umodne fisk (hovedsakelig hunner), og ulike grupper med modnende hannfisk. Som det framgår, stagnerer veksten nesten helt hos hannene som modner.



Figur 3.6. Snittvekt for ulike grupper kveitehanner som blir kjønnsmodne ved ulik alder fra våren 1994 til våren 1996. Fra Holm m.fl. 1996.

Siden kveite utnytter areal og ikke volum, må tetthet beregnes ut fra areal (kg per kvadratmeter), eller beregnet dekningsgrad (%) som sier hvor stor del av bunnarealet som er dekket av kveite. 100 % dekningsgrad tilsier ett lag med kveite. Vannvolumet betyr derfor mindre. For å beregne dekningsgrad tar vi utgangspunkt i at arealet til en kveite er $0,19 \cdot \text{snittvekt}^{0,14}$. Nedenfor er gitt et eksempel på utregning av dekningsgrad for 1000 kveiter med snittvekt på 1 kg med et bunnareal på 25 m^2 .

Antall	1000
Snittvekt i kg	1
Areal (m^2)	25
Tetthet som kilo per kvadratmeter = antall·snittvekt / areal	40
Dekningsgrad (%) = tetthet / ($0,19 \cdot \text{snittvekt}^{0,14}$)	211

For liten fisk (< 100 g) ser det ut til at dekningsgraden bør være under 100 %, mens et sted mellom 100 og 200 % dekningsgrad passer for større fisk. Det har vært anbefalt at kveiten holdes på tettheter som tilsvarer mellom 100 og 200 % dekning av effektivt bunnareal. Vi synes dette virker høyt. For 2 kg kveite vil dette si mellom $25\text{--}50 \text{ kg/m}^2$, mens det for 10 kg kveite ligger mellom $50\text{--}100 \text{ kg/m}^2$ (Björnsson 1992, 1994). For yngel og småkveite anbefales ikke en dekningsgrad utover 100 % (Kvalsund 1995). I merder er det vist at 1 kg kveite i tettheter over 250 % vokste dårligere enn tilsvarende kveite med tettheter rundt 200 % (Tuene *et al.* 1998). Erfaringer tilsier at tetthetene i Tabell 3.7 ikke bør overstiges.

Tabell 3.7. Anbefalt tetthet for ulike størrelser av kveite.

Størrelse	Vekt per m^2
10 g	1–2 kg
100 g	ca. 8 kg
500 g	ca. 11 kg
1 kg	ca. 20 kg
3 kg	ca. 80 kg

Uansett tetthet vil ikke kveiten spre seg jevnt over tilgjengelig areal, men fordele seg klumpvis og delvis overlappende. Tendensen til klumping avtar med økende fiskestørrelse, det ser ut til at en større andel av kveiten svømmer ved en dekningsgrad over 100 % hos stor kveite (> 1 kg). Selv om dette ikke er målt, er det en fare for at oksygenmengdene vil være lave i de områdene der fisken klumper seg. I kar vil kveite som utsettes for lave oksygenverdier ikke søke områder med bedre tilførsel (Kvalsund, 1995), om dette gjelder for merd vites ikke. Selv om det skal svært lave oksygenverdier til før det oppstår dødelighet som følge av oksygensvikt, vil lave oksygenverdier medføre tapt tilvekst.



Figur 3.7. Oppdrettskveite i kar med sandkasse føret fra en førfontene. Legg merke til kveitas ulike kamuflasjefarger når den ligger på bunnen og når den svømmer i vannsøylen. T.v. sandkasse med kveiter med ulike kamuflasjemønster. Kveiter som har ligget lengst i sanden, har fått et mønster som gjør dem nesten usynlige.

3.3.3. Oksygen

Det er gjort svært få undersøkelser for å avklare toleransegrensene for kveite for ulike miljøfaktorer. Grensene som er stipulert her, er derfor basert på erfaringer og resultater fra forsøk som ofte er gjort for å undersøke helt andre forhold.

Vi kjenner ikke kveitens toleransegrenser for oksygen. Vi antar at oksygeneffekten er mye tilsvarende andre marine arter, dvs. at en vil observere vekstreduksjoner når oksygenmetningen kommer under ca. 80 %, og at dødelighet vil inntreffe når metningen kommer under ca. 30 %. Overmetning har vist seg å kunne? skape gassbobler, men da er det sannsynligvis ikke oksygenet som er årsaken, men nitrogen. Tilsetning av oksygen i kar har ikke skapt problemer, og vi må derfor forvente at en mild overmetning av oksygen ikke er skadelig.

Tilgjengeligheten av oksygen er styrt av mengde oksygen tilført via vannstrømmene. I tillegg kan kaldt vann inneholde mer oksygen enn varmt vann. Ved 100 % metning inneholder 6 °C vann 9,8 mg/l O₂, sammenlignet med 8,2 mg/l O₂ ved 14 °C. Oksygenmetningen i sjøvannet nær overflaten er normalt over 95 %. Siden oksygenforbruk er høyest under aktivitet og under fordøyelse av føret, vanligvis en–tre timer etter føring, må tilgjengelig oksygen beregnes når det er høyest forbruk kombinert med minst vannstrøm og høyest temperatur. Under store algeoppblomstringer kan oksygenmetningen i vannet synke betydelig om natten, fordi algene da forbruker oksygen. Ved lave oksygenverdier ser det ikke ut til at kveite forflytter seg til områder med mer oksygen, og vi skal være oppmerksom på at oksygenverdiene kan bli svært lave når det ligger mye fisk samlet på ett sted.

Oksygenbehovet, målt som forbruk per kg kveite, minker med fiskestørrelsen, men øker med aktivitet og med føropptak. Vi foretrekker å legge oss på en minimumsgrense på 5–7 ppm O₂ i vannet fra anlegget. Fisken kan godt overleve på langt lavere verdier, men det kan medføre redusert tilvekst. Det er ingen data på kveite som bekrefter dette. For å beregne nødvendig

vannmengde må vi vite hvor mye oksygen det er i vannet, og hvor mye oksygen en kveite forbruker ved ulike størrelser. Tabell 3.8 som viser oksygenforbruk ved ulike størrelser av kveite og Tabell 3.9 viser vannets innhold av oksygen ved 100 % metning ved ulike temperaturer.

Tabell 3.8. Oksygenforbruk (mg O₂ per kg per min) for ulike kveitestørrelser ved ulike temperaturer.

Fiskestørrelse	Temperatur	Oksygenforbruk (mg/kg/min)	Kilde
10–80 g	6	1,9	Jonassen m.fl. (2000)
20–100 g	7	2,3	Hallaråker m.fl. (1995)
	10	2,7	Hallaråker m.fl. (1995)
	12	2,3	Jonassen m.fl. (2000)
	13	3,0	Hallaråker m.fl. (1995)
	16	3,3	Hallaråker m.fl. (1995)
1–4 kg	8	1,4	Rønnestad (1988)

Tabell 3.9. Innhold av oksygen per liter sjøvann med 100 % metning ved ulike temperaturer (saltholdighet 35). Kjenner en vannstrøm, kan en beregne hvor mye oksygen som tilføres til ett areal.

Temperatur (°C)	Oksygen (mg/l)
4	10,5
6	9,8
8	9,5
10	9,0
12	8,6
14	8,2
16	8,0

3.3.4. Temperatur

Heller ikke for temperatur kjenner vi eksakte toleransegrenser, og antagelig er det flere forhold som spiller inn, slik som fiskestørrelse og tilvenning. Temperaturer under 0 °C er dødelige, tilsvarende er temperaturer over 19–20 °C dødelige for stor kveite. Temperaturer under 2 °C og høyere enn 16 °C bør unngås. På Vestlandet må en være spesielt oppmerksom på høye sommertemperaturer. Vintertemperaturer er ikke så lave at de vil medføre dødelighet, men kveitene vil få nedsatt appetitt.

I et vekstforsøk med villfanget kveite døde all fisken i forbindelse med håndtering da temperaturen sank til under 1 °C (Haug *et al.* 1989). Tilsvarende opplevde en på Vestlandet stor dødelighet da temperaturen holdt seg over 19 °C i en treukersperiode. I andre tilfeller med nesten like høye temperaturer, døde ingen stor kveite. I forsøk overlevde stor kveite best når fisk av ulik størrelse ble overført til merder hvor temperaturen varierte, og den laveste temperaturen ved utsettingstidspunkt (4,6 °C i snitt) gav høyere dødelighet enn høyere temperaturer (Johnsen & Jonassen 1999).

Når vekst måles som % vektøkning (SGR), øker denne mot en optimal temperatur hvor summen av faktorer som fôropptak, fordøyelse, metabolisme og appetitt gir høyest SGR. Denne optimale temperaturen endres med fiskestørrelsen, og den påvirkes av andre forhold, som for eksempel daglengde. Fra slutten av november til midten av mai vokste kveite som i utgangspunktet var 8 g til 150 g ved 13 °C, dvs. 50 og 100 g mer enn de som gikk på henholdsvis 10 og 7 °C. Vekstraten ved 13 °C var 2,1 % per dag. For større fisk, utgangsstørrelse 140 g, var resultatene ikke så entydige, men fra mai til desember vokste fisken best ved 9 °C (til 502 g). Dette tilsvarer en vekstrate på 0,6 % per dag (Björnsson 1992). Det er noe tidlig å si eksakt hva som er optimal temperatur, da den vekstfremmende effekten av kontinuerlig lys var sterkere ved 6 enn ved 12 °C på liten (< 100 g) kveite. Uansett viser data at liten fisk (< 100 g) vokste best på temperaturer over 12 °C, mens større fisk bør ha lavere temperaturer (10–12 °C). Stor matfisk bør ha enda litt lavere temperatur. Matfisk bør ikke ha temperaturer over 11–12 °C (Kvalsund 1995).

Tabell 3.10 oppsummerer en del vekstresultater fra kveite ved ulike fiskestørrelser og temperaturer. Den er laget ut fra en rekke tilgjengelige data fra flere forsøk, og ved en rekke ulike forhold (lys, fôringsregime). Det er derfor stor vekstspredning, og tabellen oppsummerer bare yttergrensene mellom ulike forsøk. Det mangler også en del informasjon, og tabellen gir bare en indikasjon for vekstpotensialet.

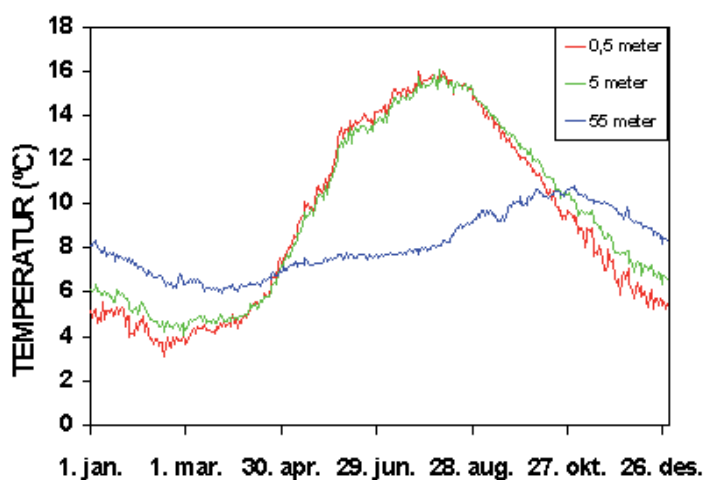
Tabell 3.10. Spesifikk vekstrate (SGR % per dag) rapportert fra ulike vekstforsøk med kveite, skilt for ulike fiskestørrelser og ved ulike temperaturer.

Størrelse (gram)	Temperatur					
	6	8	10	12	14	16
10	1,0–1,3	1,6–2,0	1,8–2,5	2,4–2,9	3,1	3,0
50	0,6–0,7	0,8–1,25	1,0–1,5	1,2–1,8	1,4–1,7	1,6
100	0,5	0,6	0,8	0,8–1,7	1,5–2,1	
200	0,3	0,4–0,7	0,8–1,0	0,7–0,9	0,8	
500	0,2	0,2–0,5	0,7	0,8		
1000	0,2	0,2	0,3	0,4		
2500	0,1	0,4	0,6	0,3		
5000	0,2					

Ved temperaturer under 5 °C stagnerer veksten mer eller mindre hos fisk av alle størrelser. Temperaturen på kysten gir en grov skisse av forventet temperatur i oppdrettsanlegg, men denne vil påvirkes av andre forhold, eksempelvis ferskvannslag (i fjorder). Det anbefales derfor på det sterkeste å undersøke temperaturforholdene der anlegget for kveite er tenkt plassert. Det er også slik at temperaturtoleransen øker med fiskestørrelsen, slik at veksten til stor fisk ikke er like influert av temperaturen som for liten fisk. Selv om man i liten grad kan påvirke temperaturen i sjøanlegget, kan en forhindre de største variasjonene ved å gi fisken

anledning til å stå dypere. Anlegget må derfor plasseres slik at det er dypt nok til at en kan senke merdene eller ha dype merder.

Temperatursvingningene i sjøen er langt høyere nær overflaten enn lengre nede (Figur 3.11). Overflatelagene har ofte høyere (sommeren) eller lavere (vinteren) temperatur enn vann bare et par meter lenger ned. Det ser ikke ut til at kveite selv velger dypet med gunstigst temperatur for vekst. Endring i temperatur fra 7,5 °C opp eller ned med 3 °C ga bare en kortvarig effekt ved nedsatt appetitt. Det ga imidlertid mer øyeskader, men appetitten var ikke ulik kontrollgrupper på de respektive temperaturene to døgn etter temperatursjokket. Dette indikerer at hurtige endringer i temperatur ikke har langvarig virkning, men viser også at en bør unngå slike endringer. Det ble ikke undersøkt om denne appetittendringen ville funnet sted om fisken hadde opplevd slike temperaturendringer ofte.



Figur 3.8. Gjennomsnittlige temperaturer i tre ulike dyp i perioden 1978 til 1998 ved Havforskningsinstituttet, Forskningsstasjonen Austevoll. Temperaturene blir mer stabile med økende dyp. Selv om det ikke kommer så tydelig frem her, er de daglige temperatursvingningene langt større på 0,5 enn på 5 m dyp.

3.3.5. Andre miljøkrav

Saltholdighet

Kveite er stenohalin (tåler lite variasjon i saltholdighet), og har liten fluktusjon i saltholdigheten innen utbredelsesområdet (Haug 1990). Nyere resultater indikerer likevel at selv saltholdighet ned i 15 ikke har noen negative effekter (Opstad & Rust 2004). For anlegg lokalisert utenfor fjordsystemene, vil saltholdighet trolig aldri bli noe problem. Saltholdigheten i kyststrømmen ligger vanligvis mellom 33 og 35, men kan være lavere i fjorder med stor ferskvannsavrenning. Om lavere saltholdigheter enn dette har en langvarig effekt på tilvekst på stor kveite, er ikke kjent, men på Sunndalsøra er stamfisken holdt gjennom en gytesesong ved 28 uten at dette medførte dødelighet. Mindre kveite, 2–4 kg, er holdt i en uke i 11–15 saltholdighet uten at det medførte dødelighet. Antiparasittbehandling av stamkveite gjennomføres ved ved å bruke rent ferskvann i opptil en halv time.

Isdannelse og nedbør

Isdekke medfører ikke problemer for kveite, da den ikke har behov for å snappe luft. Inne i fjorder med lite vannutskifting og/eller mye ferskvannsavrenning kan det oppstå problemer med isdannelse. Ferskvannet som tilføres fjordene kan legge seg som et tynt lokk over det varmere saltvannet, og fryser lett. De største problemene med isdannelse er de skadene isen

kan påføre anleggene, med mulig rømming som resultat samt vanskelige driftsforhold med føring og lignende. Nedbør skader ikke fisken.

Bølger

For anlegg hvor merden henger i anlegget, vil alle bølgebevegelser forplante seg nedover til bunnen der kveita skal ligge. Noe av bevegelsen vil tas opp av notveggene. Ved store bølger, eller hurtige bølgebevegelser, vil fisken ikke ligge på bunnen. Tilsvarende gjelder for eventuelle hyllesystemer i merdene. Dette kan motvirkes enten ved å plassere anlegget i ly for de store bølgene (men med god vannutskifting), eller ha anlegg hvor bølgebevegelserne ikke blir forplantet til bunnen. Bølgene forplanter seg nedover i sjøen, og i store bølger ser det ut til at kveita mistrives, kanskje blir den faktisk sjøsyk. Det har vært hevdet at kveita kan gulpe opp maten i dårlig vær. Foreløpig ser det derfor ut til at det kan være en fordel å unngå områder med mye bølger.

Algeoppblomstring

Store algeoppblomstringer kan medføre problemer for fisken, ved at enkelte alger enten er giftige eller produserer gift, skaper sår og hudirritasjoner, legger seg på gjellene, og forbruker oksygen om natten. Kveitemerder kan senkes ned under algelaget.

Hydrografiske forhold

Vanntilførselen skal sørge for nok tilgjengelig oksygen (minst 5–7 ml O₂/l på utsiden av anlegget, metningsprosenten avhenger av temperatur). Kveite unngår om mulig sterk strøm. I kar unngår den områder med strøm hvis den kan, og i systemer hvor fisken kan velge, foretrekker de fleste individene det roligste området (Kvalsund 1995). Anlegget må plasseres slik at strøm transporterer bort avfallstoffer fra anlegget (fôrspill og faeces). Det er derfor en fordel at det er dypt under anlegget. Det er også viktig at det er en god strøm gjennom anlegget og langs bunnen. En god strøm vil sikre at avfallsstoffer fra anlegget spres, og ikke samler seg opp under anlegget. Bunnens topografi er mindre viktig ved økende dyp under merdene. Kveite har ikke problemer med å tåle en del strøm, og strømmen langs bunnen bør være 3–5 cm/s. Det bør ikke være lange strømfrie perioder, perioder med sterkere strøm er en fordel.

Anlegget bør plasseres i forhold til dominerende strøm slik at det får best mulig vanngjennomstrømming. Vannhastigheten reduseres for hver gang den passerer en notvegg. Blir vannet bremsert opp, vil utskifting av vannet i merdene foregå ved vertikal konveksjon, det betyr gjennom bunnveggen og oppover eller nedover. Slik vannutskifting er ikke gunstig.

Lys

Kveita blir solbrent, sommerstid (vår–høst) skal derfor kveitemerder og kar utendørs ha lysreducerende dekknot. Vi har god erfaring med å benytte ei dekknot som reduserer lyset med 70 %. Spesielt viktig er tildekning om sommeren. Hvis disse justeringene foretas, vil ikke lyset sette begrensninger i kveiteoppdrett. Kveite trives også dårligere i sterkt lys, og det ser ut til at en økende andel av fisken svømmer i mye lys.

Flere forsøk har dokumentert økt vekst med bruk av kontinuerlig tilleggslys i forhold til simulert naturlig lys, også på stor fisk. Effekten var langt tydeligere for hunnfisk enn for hannfisk. De fleste holder kveite på ganske lav lysintensitet. Hos kveite over én kg ble det ikke funnet forskjell i fôrkonsum på fisk holdt fra 1 til 3000 lux, men det var en tendens til høyere fôrkonsum ved 100–1000 lux. 1000 lux er et meget sterkt lys. Større kveite (over 3 kg) synes å ha noe lavere toleranse for de høyeste lysintensitetene. Disse forsøkene ble gjennomført med 12 timers natt. I merdforsøk hadde kveite holdt på kontinuerlig tilleggslys et høyere fôropptak og bedre vekst enn kveite uten tilleggslys (Tuene *et al.* 1998).

3.3.6. Utslipp fra kveiteoppdrett

Produksjonen av avfallsstoffer fra kveiteoppdrett er beregnet fra skotsk oppdrett (Davies & Slaksi, 2003). De fant at utslipp av oppløst nitrogen (N) utgjorde 48 kg N per tonn kveite produsert. Partikulært organisk avfall (fôrspill og ufordøyd fôr) utgjorde 150–200 kg per produsert tonn kvite, da med en fôrfaktor på 1,3, samt en fôrsammensetning på 48 % protein (nitrogen utgjør ca. 6,25 % av proteinet). Erfaringer fra andre forsøk indikerer at deres verdier ligger noe høyt. Fôrfaktoren er viktig for regnestykket. Sammenlignet med laks og torsk er kveite mindre aktiv, og en større andel av fôret kan derfor benyttes til vekst. Under nøye kontrollerte omgivelser har en oppnådd fôrfaktor (dvs. utfôret mengde/tilvekst) på ned mot 0,5 for kveite under 500 g. I stor skala er dette urealistiske verdier. Av inntatt fôr er en del ufordøyelig, og i den skotske modellen er det regnet en nitrogenfordøyelse på 85 % (Berge *et al.* 1999). Av inntatt energi vil en del inkorporeres som vekst, mens en del vil tapes til miljøet som oppløste stoffer (hovedsakelig ammonium og oppløste organiske stoffer). Av tilført nitrogen (6,25 % av proteinet i fôret) tapes 19,5 % som partikulært materiale, 30 % blir gjenfunnet som vekst og 50,5 % tapt som oppløst materiale. Veksten avtar med synkende temperaturer, og da får en også økt fôrfaktor. Dette har sammenheng med at fisken vokser mindre, mens andelen av fôret som benyttes til fysisk aktivitet og vedlikehold, er tilnærmet det samme. Modellen som er benyttet er svært sensitiv for fôrfaktor. Andre har funnet litt andre verdier for nitrogenbudsjettet. Helland & Grisdale-Helland (1998) fant at 41 % av inntatt nitrogen ble gjenfunnet som vekst, mens Berge *et al.* (1999) kom fram til at 43–47 % av inntatt nitrogen, og 51–56 % av fordøyd nitrogen, ble gjenfunnet som vekst. Fordøyelsen av fosfor er om lag 69 % (Aas *et al.* 2007), og i samme forsøk fikk de et resultat mht. nitrogenfordøyelse på ca. 89 %. De fant også at av inntatt nitrogen og fosfor ble respektive 51 og 38 % gjenfunnet i fisken.

Fôrsammensetningen betyr mye for hvor stor andel av fôret som omdannes til muskelmasse. Jo bedre fôret er tilpasset fisken, jo større andel gjenfinnes som vekst. Kunnskapen om betydningen av makronæringsstoffene (dvs. protein, fett og karbohydrater) er imidlertid mangelfull, og til dels motstridende. For liten fisk, frem til ca. 300 g, ser de fleste undersøkelser ut til å enes om at kveite trenger ganske mye protein, medium mengde fett og lite karbohydrater. Det er funnet at for liten kveite (ca. 100 g) ble protein bedre utnyttet til vekst hvis fôret hadde høyt fettinnhold (34 % fett, 46 % protein), enn hvis fôret hadde lavere fettnivå (23 % fett, 52 % protein). Utnyttelsen av fett var imidlertid dårligere i den første gruppen, slik at disse vokste dårligere (SGR: 0,9 vs. 1,4 % per dag). Andre har anbefalt at

proteinnivået i dietten bør overstige 58 %. Enkelte forfattere har derimot anbefalt et maksimalt innhold av proteiner på 51 %. Disse fant da også en proteinsparende effekt av fett ved å øke fettinnholdet fra 24 til 27 %, samtidig som karbohydratnivået ble økt fra 7 til 10 % (140 g kveite, SGR: 0,87 % per dag). Atter andre har derimot ikke funnet noen effekt av å endre proteininnholdet mellom 54 og 61 %. Kartlegging av behovet for hovednæringsstoffene i større kveite viser heller ikke entydige resultater. I forsøk med varierende temperatur, og varierende andel av fett fra 15 til 34 % og protein fra 41 til 68 %, ble det ikke funnet noen effekt på tilvekst eller fôrutnyttelse på kveite fra 250 til 1200 g. Heller ikke på større individer, 800 til 1800 g, ble det funnet noen effekt av å endre fettinnholdet mellom 10 og 39 %.

3.3.7. Genetiske påvirkninger fra oppdrett av kveite

Så vidt vi er kjent med gyter ikke kveite frivillig i merder. I landbasert oppdrett er det observert naturlig gyting i store kar, men dette er svært vanskelig å få til. I oppdrett kjønnsmodner i tillegg hunnene så sent at de slaktes før de når puberteten. Sidene hannene kjønnsmodner før de når slaktbar størrelse, brukes det ofte kontinuerlig tilleggsbelysning i merdene som vil utsette modningen. Foreløpig må vi derfor anta at det ikke slippes befruktede egg ut fra kveiteoppdrett. Siden kveite oppdrettes i merd, kan vi forvente rømming. Noe rømt fisk vil overleve, andel ikke kjent, og vi vet heller ikke om oppdrettet rømt kveite vil gyte i naturen.

3.3.8. Referanser

- Aksnes, A. and Mundheim, H. 1997. The impact of raw material freshness and processing temperature for fish meal on growth, feed efficiency and chemical composition of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture*, 149: 87–106.
- Aksnes, A., Hjertnes, T. and Opstvedt, J. 1996. Effect of dietary protein level on growth and carcass composition in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*, 145: 225–233.
- Berge, G.M., Grisdale-Helland, B. and Helland, S.J. 1999. Soy protein concentrate in diets for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*). *Aquaculture*, 178: 139–148.
- Bergheim, A., Hustveit, H., Kittelsen, A. and Selmer-Olsen, A.E. 1984. Estimated pollution loadings from Norwegian fish farms: Part II. Investigations 1980–1981. *Aquaculture*, 36: 158–168.
- Björnsson, B. and Tryggvadottir, S.V. 1996. Effects of size on optimal temperature for growth and growth efficiency of immature Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*, 142: 33–42.
- Björnsson, B. 1994. Effects of stocking density on growth rate of halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared in large circular tanks for three years. *Aquaculture*, 123: 259–270.
- Björnsson, B. 1995. The growth pattern and sexual maturation of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared in large tanks for 3 years. *Aquaculture*, 138: 281–290.

- Davenport, J., Kjørsvik, E. and Haug, T. 1990. Appetite, gut transit, oxygen uptake and nitrogen excretion in captive Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L., and lemon sole, *Microstomus kitt* (Walbaum). *Aquaculture*, 90: 267–277.
- Davies, I.M. and Slaski, R.J. 2003. Waste production by farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*, 219: 495–502.
- Dosdat, A., Servais, F., Metailler, R., Huelvan, C. and Desbruyeres, E. 1996. Comparison of nitrogenous losses in five teleost fish species. *Aquaculture*, 141: 107–127.
- Fraser, K.P.P., Lyndon, A.R. and Houlihan, D.F. 1998. Protein synthesis and growth in juvenile Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* (L.): application of ¹⁵N stable isotope tracer. *Aquaculture Research*, 29: 289–298.
- Gara, B., Shields, R.J. and McEvoy, L. 1998. Feeding strategies to achieve correct metamorphosis of Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L., using enriched Artemia. *Aquaculture Research*, 29: 935–948.
- Greaves, K. and Tuene, S. 2001. The form and context of aggressive behaviour in farmed Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). *Aquaculture*, 193: 139–147.
- Grisdale-Helland, B. and Helland, S.J. 1998. Macronutrient utilisation by Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*): diet digestibility and growth of 1 kg fish. *Aquaculture*, 166: 57–65.
- Grisdale-Helland, B., Helland, S.J., Bæverfjord, G. and Berge, G.M. 2002. Full-fat soybean meal in diets for Atlantic halibut: growth, metabolism and intestinal histology. *Aquaculture Nutrition*, 8: 265–270.
- Hallaråker, H., Folkvord, A. and Stefansson, S.O. 1995. Growth of juvenile halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) related to temperature, day length and feeding regime. *Netherlands Journal of Sea Research*, 34: 139–147.
- Hamre, K., Bæverfjord, G. and Harboe, T. 2005. Macronutrient composition of formulated diets for Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*, L.) juveniles, II: protein/lipid levels at low carbohydrate. *Aquaculture*, 244: 283–291.
- Harboe, T. 2002. Yngelproduksjon av kveite. I: Glette, J, van der Meeren, T., Olsen, R.E., og Skilbrei, O. (red), *Havbruksrapport 2002, Fisken og havet, særnr. 3–2002*.
- Hatlen, B., Grisdale-Helland, B. and Helland, S.J. 2005. Growth, feed utilization and body composition in two size groups of Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets differing in protein and carbohydrate content. *Aquaculture*, 249: 401–408.
- Haug, T. 1990. Biology of the Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L. (1758). *Advances in Marine Biology*, 26: 1–69.
- Helland, S.J. and Grisdale-Helland, B. 1998. Growth, feed utilisation and body composition of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets differing in the ratio between the macronutrients. *Aquaculture*, 166: 49–56.
- Holm, J.C., Hennø, J.S., Karlsen, Ø., Skiftesvik, A.B. og Huse, I.J. 1993. *Matfiskoppdrett av kveite. Faglig sluttrapport til oppdragsgiver Stolt Sea Farm fra delaktiviteter utført i regi av Havforskningsinstituttet, Forskningsstasjonen Austevoll*, 21 s.
- Holm, J.C., Karlsen, Ø. og Norberg, B. 1996. *Vekst og kjønnsmodning hos kveite og torsk. Sluttrapport til Norges forskningsråd, prosjekt 104835/110 og 107225/100*, 27 s.
- Holm, J.C., Tuene, S.A. and Fosseidengen, J.E. 1998. Halibut behaviour as a means of assessing suitability of ongrowth systems. *ICES CM 1998/L:4* (mimeo.).

- Jakupsstovu, S.H. and Haug, T. 1988. Growth, sexual maturation, and spawning season of Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus*, in Faroese waters. Fisheries Research, 6: 201–215.
- Johnsen, K. og Jonassen, T. 1999. Vekst og overlevelse for kveite i merd – grunnlag for vurdering av egnet settefiskstørrelse. Akvaplan-niva rapport, APN-632.1395, 12 s.
- Jonassen, T.M., Imsland, A. and Stefansson, S.O. 1999. The interaction of temperature and fish size on growth of juvenile halibut. Journal of Fish Biology, 54: 556–572.
- Jonassen, T.M., Imsland, A.K., Kadowaki, S. and Stefansson, S.O. 2000. Interaction of temperature and photoperiod on growth of Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* L. Aquaculture Research, 31: 219–227.
- Kristiansen, T.S. og Fernö, A. 2003. Trivselsatferd hos kveite. Sluttrapport til Forskningsrådet, Prosjnr. 134020/129, 23 s.
- Kristiansen, T.S., Fernö, A., Holm, J.C., Privitera, L., Bakke, S. and Fosseidengen, J.E. 2004. Swimming behaviour as an indicator of low growth rate and impaired welfare in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) reared at three stocking densities. Aquaculture, 230:137–151.
- Kvalsund, R. 1995. Vekst, tetthet og kjønnsmodning av oppdrettskveite. I: Pittman, K., Kjørrefjord, A.G., Berg, L. og Engelsen, R. (Eds.), Kveite – fra forskning til næring. s. 53–60.
- Norberg, B., Weltzien, F.-A., Karlsen, Ø. and Holm, J.C. (2001). Effects of photoperiod on sexual maturation and somatic growth in male Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). Comparative Biochemistry and Physiology part B, 129: 357-365.
- Nortvedt, R. and Tuene, S.A. 1995. Multivariate evaluation of feed for Atlantic halibut. Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems, 29: 271–282
- Ottesen, O.H. and Strand, H.C. 1996. Growth, development, and skin abnormalities of halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) juveniles kept on different bottom substrates. Aquaculture, 146: 17–25
- Rabben, H. and Huse, I. 1986. Growth of juvenile halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.) in captivity. ICES C.M., F:20, 11 pp.
- Sayer, M.D.J. and Davenport, J. 1987. The relative importance of the gills to ammonia and urea excretion in five seawater and one freshwater teleost species. Journal of Fish Biology 31: 561–570.
- Simensen, L.M., Jonassen, T.M., Imsland, A.K. and Stefansson, S.O. 2000. Photoperiod regulation of growth of juvenile Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus* L.). Aquaculture, 190: 119–128.
- Sparboe, L.O. 2000. Sluttrapport produksjonsoppfølging Kveitenett Nord april -99 til april -00. Akvaplan-niva rapport nr. APN 630.1779. 10 s.
- Suontama, J., Karlsen, Ø., Moren, M., Melle, W., Langmyhr, E., Mundheim, H., Ringø, E. and Olsen, R.E. 2007. Growth, feed conversion ratio and chemical composition of Atlantic salmon (*Salmo salar*) and Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets supplemented with Northern krill *Thysanoessa inermis*, Antarctic krill *Euphausia superba* or the Arctic amphipod *Themisto libellula*. Aquaculture Nutrition, 13: 241–255.

- Tuene, S. and Nortvedt, R. 1995. Feed intake, growth and feed conversion efficiency of Atlantic halibut, *Hippoglossus hippoglossus* (L.). *Aquaculture Nutrition* 1: 27–35.
- Tuene, S. 1994. Sluttrapport for prosjektet “Hyllesystem i lukket merd for produksjon av kveite”. Intern rapport. Havforskningsinstituttet, Austevoll Havbruksstasjon 5 s.
- Tuene, S., Holm, J.C., Haugen, T., Fosseidengen, J.E., Mangor-Jensen, R., Bergh, Ø., Karlsen, Ø., Norberg, B., Kalvenes, H. og Rabben, H. 1999. Kveite i merd. Sluttrapport til Norges forskningsråd 115690/122, 16 s.
- Aas, T.S., Hatlen, B., Grisdale-Helland, B., Terjesen, B.F., Penn, M., Bakke-McKellep, A.M. and Helland, S.J. 2007. Feed intake, growth and nutrient utilization in Atlantic halibut (*Hippoglossus hippoglossus*) fed diets containing a bacterial protein meal. *Aquaculture Research*, 38: 351–360.

3.4. Hummer

Tabell 3.11. Parametere med betydning for havbeite med hummer.

Parameter	Grense for egnethet	Optimal iht. produksjon	Interaksjon
Dyp (m)	0–100	0–50	
Bunntype		Variert; skjellsand/ hardbunn med mange og ulike typer skjul	
Temperatur (°C)	0–25	18–23	Saltholdighet
Saltholdighet	25–35	30–35	Temperatur

3.4.1. Biologi

Havbeite defineres her som utsettinger av klekkeriproduserte hummerunger og gjenfangst av voksne dyr innenfor en lokalitet. Europeisk hummer (*Homarus gammarus*; heretter referert som hummer) har langs norskekysten sin naturlige utbredelse fra Hvaler i sørøst til Tysfjord i nord. Den voksne hummeren trives best i sjøtemperaturer mellom 10 og 20 °C, og lever hovedsakelig på hardbunn med skjulesteder i steinrøyser, kløfter eller i huler under store steiner. Hummeren er generelt nattaktiv, men i områder med midnattssol endres dette atferdsmønsteret. Merkeforsøk har vist at hummer kan foreta betydelige nattevandringer, opptil én km per natt, og den kan vandre fra ganske dypt vann og helt opp mot fjæra i løpet av kort tid (60 minutter) (J.A. Knutsen, K.E. Jørstad, Havforskningsinstituttet, pers. medd.; Smith m.fl. 1998). Andre merkeforsøk har imidlertid vist at årlige vandringer eller forflytninger sjelden er på mer enn 500 m (Agnalt *et al.* 2007).

For å forstå hvilke områder som er egnet til havbeite med hummer og hvilke mulige grenseverdier som kan påvirke vekst og overlevelse, er det nødvendig med en generell beskrivelse av hummerens biologi. Reproduksjon og forplantning i naturen skjer om sommeren, i tilknytning til skallskifte. Oppbygging av innrogn tar ca. ett år før eggene legges ut på bakkroppen til hunnen, hvor de festes til svømmeføttene. Det tar i underkant av nok et år før larvene klekkes, noe som normalt skjer i perioden juni–august. De frittstående larvene er forholdsvis store, nesten 1 cm i total lengde. De gjennomgår tre skallskifter før de aktivt søker mot bunnen. Ved temperaturer over 18 °C varer det frittstående stadiet 14 til 18 dager. I forsøk er det vist at hummer kan bunnslå på grus, skjellsand og mudderbunn når dette er tilbudt (Linnane *et al.* 2001; Jørstad m.fl. 2001), men vi vet ikke hva slags habitat larvene foretrekker i naturen (Mercer *et al.* 2001). En rekke arter som leppefisk, ulke, torsk og strandkrabbe er rovdyr på nylig utsatt hummeryngel med ca. 3–4 cm total lengde (van der Meeren 2003). Det er derfor rimelig å tro at det er viktig for hummeren å finne skjul når den begynner å leve på bunnen.

Kriterier for lokalisering av havbeitelokaliteter for hummer er i det sørlige Norge knyttet til habitat, temperatur og saltholdighet. Strømforholdene kan imidlertid også ha en innvirkning.

Det finnes lite dokumentasjon om toleransegrenser for temperatur, saltholdighet og oksygen for europeisk hummer (Wickins & Lee 2002). Nødvendig informasjon er derfor hentet fra den nærstående arten amerikansk hummer (*H. americanus*) (Factor 1995) med tanke på at informasjonen har overføringsverdi til vår hummer.

3.4.2 Bunntype-habitat

Vi vet ennå ikke hvilke habitater som er egnet for hummerunger fra 2–8 cm tottallengde. Det antas at graving er en viktig atferd for nylig utsatt hummeryngel, og bunntyper som er egnet for graving, som f.eks. skjellsand (grov/fin), er vurdert som viktig for at utsettingen skal være vellykket. En godt egnet havbeitelokalitet består av varierte habitater, fra bunntyper som yngel kan grave i for å søke skjul fra rovdyr, til ulike hardbunntyper med variert tilgang til skjul som er egnet for større hummer. Kunstig skjul er under utprøving i Norge og kan være aktuelt på ensformig bunn, som for eksempel mudderbunn.

3.4.3. Andre miljøkrav

Dyp

Hummer finnes naturlig fra 0 til omtrent 50 m dyp, men kan finnes også dypere på enkelte lokaliteter. Store forekomster på dyp større enn 70–100 m er lite sannsynlig. En egnet lokalitet vil derfor omfatte tidevannssonen og nedover til omtrent 50 m.

Saltholdighet

Hummer er følsom for endringer i saltholdighet og finnes langs kysten der saltholdigheten er typisk høyere enn 25. Amerikansk hummer kan finnes i brakkvannsområder i deler av året. Generelt avtar toleransen for lav saltholdighet med økende størrelse. Den optimale saltholdigheten til amerikanske hummerlarver er 30–31. Den lavest dødelige grense for voksen hummer ligger mellom 8 og 14 og er avhengig av temperatur og oksygeninnhold. Dyr som er i skallskifte er mest sensitive for lave saltholdigheter. Stor dødelighet er observert etter ekstrem ferskvannsavrenning om våren i estuarier i USA. Estuarier bør unngås ved havbeite med hummer.

Temperatur

Temperatur er kanskje den viktigste faktoren som påvirker hummerens vekst og overlevelse i en havbeitelokalitet. Lav temperatur forlenger utviklingen og reduserer veksten. Voksen hummer har en toleranse som går fra -1 til 30 °C. Den voksne hummeren trives derimot best i sjøtemperaturer mellom 10 og 20 °C. En egnet havbeitelokalitet bør i normalår ha en sommertemperatur over 15 °C i noen uker, men ideelt sett bør temperaturen for en periode gå over 18 °C.

Oksygen

Hummer kan overleve i vann med lavt oksygennivå. Det laveste nivået som juvenile og voksne dyr av amerikansk hummer overlever ved en saltholdighet på 30, varierer fra 0,2 mg O₂ per liter ved 5 °C, til 1,2 mg O₂ per liter ved 25 °C. Optimal oksygenkonsentrasjon for amerikansk hummer rapportertes å være over 6,4 mg per liter.

Strømhastighet

Områder med stillestående vann vurderes som uegnet for havbeite med hummer. Det er også å anbefale å unngå lokaliteter med for sterk strøm. Hummer på 14–16 cm totallengde oppfører seg normalt ved strømhastigheter på 5 cm/s, men får problemer og mister antennene dersom strømmen øker til 10–15 cm/s (Howard & Nunny 1983). Smith *et al.* (1998) fant at hummer beveget seg mellom noen kunstige rev i tidevannstrøm med en hastighet på opp mot 54 cm per sek.

3.4.4. Referanser

- Agnalt, A.-L., Jørstad, K.E. and Kristiansen, T.S. 2007. Size and age at maturity in an enhanced stock of European lobster (*Homarus gammarus* L.) distributed off southwestern Norway.
- Factor, J.R. (ed). 1995. Biology of the lobster *Homarus americanus*. Academic Press, New York, 528 pp.
- Howard, A.E. and Nunny, R.S. 1983. Effects of near-bed current speeds on the distribution and behaviour of the lobster, *Homarus gammarus* (L.). *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 71: 27–42.
- Jørstad, K.E., Nøstvold, E., Kristiansen, T.S. and Agnalt, A.-L. 2001. High survival and growth of European lobster juveniles (*Homarus gammarus*), reared communally with natural bottom substrate. *Marine and Freshwater Research*, 52: 1431–1438.
- Linnane, A., Ball, B., Mercer, J.P., Browne, R., van der Meeren, G.I., Ringvold, H., Bannister, R.C.A., Mazzoni, D. and Munday, B.W. 2001. Searching for the early benthic phase (EBP) of the European lobster: a trans-European study of cobble fauna. *Hydrobiologia*, 465(1–3): 63–72.
- Mercer, J.P., Bannister, R.C.A., van der Meeren, G.I., Debuse, V., Mazzoni, D., Lovewell, S., Browne, R., Linnane, A. and Ball, B. 2001. An overview of the LEAR (Lobster Ecology and Recruitment) project: results of field and experimental studies on the juvenile ecology of *Homarus gammarus* in cobble. *Marine and Freshwater Research*, 52: 1291–1301.
- Smith, I.P., Collins, K.J. and Jensen, A.C. 1998. Movement and activity patterns of the European lobster, *Homarus gammarus*, revealed by electromagnetic telemetry. *Marine Biology*, 132: 611–623.
- Wickins, J.F. and Lee, D.O'C. 2002. Crustacean Farming. Ranching and Culture. Blackwell Science. 446 pp.

3.5. Laks

Tabell 3.12. Sammenfattende opplysninger om miljøforhold som har betydning for oppdrett av laks.

	Temperatur °C min/maks	Saltholdighet min/maks	pH min/maks	CO ₂ (mg/l) maks	Oksygen- metning min	NH ₃ maks
Stamfisk	2–12	<10	-	-	60	0,025
Egg	< 8	-	-	-	70	-
Plommesekk- yngel	8–12	-	-	-	70	-
Yngel, parr og presmolt,	< 18	< 10	6,0–8,5	< 10	70	0,025
Postsmolt og voksen fisk	3–18	15–35	7,0–8,5	<10	60	0,020

3.5.1. Biologi

Atlanterhavslaksen er utbredt på begge sider av Atlanteren. I Nord-Amerika finnes det laks i elver fra Maine til Labrador. På den europeiske siden er laksen utbredt fra Portugal i sør til Barentshavet i Nordvest-Russland. Genetisk deler vi atlanterhavslaks i tre hovedkomponenter; vestatlantisk, østatlantisk og østersjølaks. Innenfor disse hovedkategoriene er det igjen regionale grupperinger som er sammensatt av mange lokale populasjoner fra ulike lakseelver. I større elvesystemer som Tana, ser vi også at laksen i elven kan deles opp i ulike genetiske komponenter eller subpopulasjoner.

Hovedbeiteområdene er Nord-Atlanteren med de europeiske populasjonene på østsiden og de nordamerikanske på vestsiden, men med betydelig overlapp sør for Grønland. Østersjølaksen vandrer utelukkende i Østersjøen. Laksen har en opportunistisk beiteatferd og spiser fisk, krepsdyr og blekksprut. Under naturlige forhold kan laksen gå i lange perioder uten mat, for så å kan spise mye når mattilgangen er god.

Laksen er i hovedsak en anadrom art hvor ungfisken (smolten) vandrer fra elven og ut i havet på beitevandring og hvor den kjønnsmodne fisken vandrer tilbake og opp i ferskvann for å gyte. Det finnes imidlertid eksempler på laksestammer som fullfører hele livssyklus i ferskvann (for eksempel Blega i Byglandsfjorden og ulike populasjoner i den store svenske innsjøen Vänern).

Under beitevandringen er laksen sølvblank. Veksten i havet er rask og laksen vokser til 50–75 cm i løpet av det første året. Etter to sjøvintre er laksen gjerne 70–90 cm, og laks som har vært tre vintre i havet er gjerne over 100 cm.

Når laksen kjønnsmodner skifter fargen til en kombinasjon av brun, grønn og rød, og hannen utvikler en karakteristisk hakekrok på underkjeven. Kjønnsmodningen skjer etter ett–tre år i havet. Tidspunktet for første kjønnsmodning er avhengig av stamme og er delvis genetisk

bestemt. I laksestammer med innslag av fisk som tilbringer mer enn én sjøvinter på beitevandring, er det vanlig at hannene kjønnsmodner tidligere enn hunnene. I de fleste laksestammene er det vanlig at mange av hannene (gjennomsnittlig 52 %) kjønnsmodner på parrstadiet (dverghanner) før de vandrer ut som smolt (Fleming 1998).

Den kjønnsmodnende laksen vandrer tilbake til kysten og går vanligvis opp i den elven hvor den selv ble født for å gyte. Gytetidspunktet varierer fra sør til nord og også mellom elver. Gytingen skjer så tidlig som oktober i kalde elver i Nord-Norge, og så sent som februar i varme elver i Sør-Norge. Under gytingen graves eggene ned i elvegrusen (15–30 cm).

Når plommesekken er absorbert kommer yngelen opp av grusen for å spise. Yngelen (parren) har distinkte, mørke fingermerker (parrmerker) langs kroppssidene og kan også ha røde prikker. På høstparten utvikler populasjonen i elven en todelt (bimodal, totoppet) størrelsesfordeling. Den fisken som er stor nok (typisk over 10 cm) fortsetter å vokse gjennom vinteren. Denne gruppen, som kalles øvre modal, forandrer kroppsform (blir slankere) og blir sølvfarget, i en prosess som kalles smoltifisering. Samtidig forandrer den atferd og utvikler evnen til å kunne leve i sjøvann. Den mindre fisken vokser ikke gjennom vinteren og må tilbringe minst ett år til i elven. Tiden fra befruktning til smoltifisering varierer mellom elver og også mellom ulike deler av elvene. Dette er påvist å være styrt av de vekstmulighetene som finnes på oppvekstområdet. Vekstmulighetene er hovedsakelig bestemt av temperaturen og daglengden (Metcalfé og Thorpe 1990). Smoltalderen i naturen kan variere mellom ett og åtte år.

Smoltifiseringen skjer om våren og smolten vandrer ut i havet i løpet av våren eller forsommeren. Utvandringen fra elven varierer mellom stammene (Hvidsten *et al.* 1998). Smoltifiseringen styres av endringer i daglengden.

3.5.2. Oppdrett av laks

Oppdrett av laks startet i 1969. I 2008 var verdensproduksjonen bortimot 1,5 millioner tonn, med Norge, Chile og Storbritannia som de viktigste produsentlandene. I rognsesongen 2006/07 ble det lagt inn ca. 310 millioner rognkorn av laks i Norge. I 2007 ble det satt ut 207 millioner smolt i norske lakseanlegg. Dette fordelte seg med 115 millioner ettårssmolt (vårutsett) og 92 millioner nullårig smolt (høstutsett). I 2007 ble det satt ut ca. 22 millioner settefisk av regnbueørret. I løpet av 2007 ble det slaktet knappe 795 000 tonn laks og ørret i Norge, en økning på ca. 139 000 tonn fra året før. Av dette utgjorde laks ca. 723 000 tonn (Kjønhaug 2008).

I Norge holdes stamfisken i merder i sjøen fram til april–juni, det året de skal strykes. Etter dette flyttes de til kar på land. I de landbaserte anleggene blir vanligvis ikke fisken føret, og de akklimatiseres til ferskvann. I andre land hender det at laks som holdes i merder i sjøvann strykes uten forutgående ferskvannstilvenning.

Gytetidspunktet (tidspunkt for egglosning) er i all hovedsak regulert av de sesongmessige endringene i daglengde (antall timer lys per dag). På noe av stamfisken bruker en kunstige lysregimer for å framskynde eller forsinke gytingen (Norberg *et al.* 2006). Gytingen kan framskyndes ved å gi stamfisken lang dag om våren, kort dag om høsten eller kombinasjoner av de to metodene. Det er også kjent at høye temperaturer (13–14 °C) kan stoppe egglosningen hos laks. I de tilfellene hvor en framskynder gytetiden til en tid på året hvor temperaturen er for høy, må en derfor kjøle vannet for å frambringe egglosning. I noen tilfeller har en også brukt kunstig framstilte hormoner (gonadotropin releasing hormone analogue – GnRHa, se f.eks. Taranger *et al.* (1992) for å framskynde gytingen i kommersielt oppdrett. I landbaserte anlegg på Island produseres det i dag lakserogn elleve måneder i året ved å kontrollere daglengde og temperatur (Norsk Fiskeoppdrett, 4/08).

Den europeiske lakseindustrien er basert på noen få avlslinjer som i hovedsak har norsk opphav (Verspoor *et al.* 2007). Den første ble etablert tidlig på 1970-tallet med 190 hanner og 430 hunner fra 40 norske elver (Gjøen and Bentsen, 1997). Verspoor *et al.* (2007) har beskrevet avlsarbeidet på laks i Europa i en reviewartikkel.

Det er i dag fire avlsprogrammer i Norge, og disse forsyner ca. 80 % av de norske lakseanleggene (Verspoor *et al.* 2007). To av disse bruker et familiebasert avlsprogram. Seleksjonskriteriene for stamfisk varierer mellom selskapene. Et selskap har utviklet en seleksjonsmodell hvor parametere som vekst, sen alder ved kjønnsmodning, sykdomsresistens, stresstoleranse og slaktekvalitet er inkludert i en familiebasert utvalgsmodell. Programmet medfører testing av 300–400 familier hvert år med avlspopulasjoner som er store nok til å unngå innavl på kort sikt. Det foregår bare i liten grad utveksling av materiale mellom de norske avlsprogrammene, men det eksporteres materiale både til Europa og andre verdensdeler. Lignende avlsprogrammer finnes på Island, Færøyene og i Irland, Skottland, Chile og Canada (Verspoor *et al.* 2007).

Eggene tas ut av hunnfisken ved stryking, ved bruk av trykkluft eller ved å åpne bukhulen og la eggene renne ut. I Norge gjennomgår stamfisken en regelmessig veterinærkontroll det siste året før stryking. Stamfisken blir drept før stryking og blir undersøkt av veterinær etter at egg og melke er hentet ut. Laksen produserer vanligvis mellom 1500 og 2200 egg per kg kroppsvekt.

I befruktningsprosedyren desinfiseres eggene med en jodbasert desinfeksjonsløsning for å fjerne virus og bakterier. I inkubasjonsperioden behandles eggene med soppdrepende midler.

I noen områder har ferskvannet for lav pH (høy surhet) og må behandles for å redusere surheten og for å redusere de negative effektene av metallioner som aluminium (Al) og jern (Fe). Nøytraliseringen skjer med kalk eller sjøvann, og i noen tilfeller tilsettes vannglass (natriumsilikat) for å fjerne/binde metallioner. En må unngå sjøvannstilsetning i befruktningsprosessen og under svellingen av eggene. De negative effektene av aluminium er i hovedsak knyttet til utfelling av positive metallioner på det negativt ladete slimet på gjellene. Det er også kjent at aluminium og jern i kombinasjon kan forsterke gifteffekten av hverandre.

Lakseeggene inkuberes vanligvis mellom 4 og 8 °C. Ved denne temperaturen tar det omtrent 500 døgngader fra befruktning til klekking. I noen tilfeller blir lakseegg inkubert ved lavere temperaturer for å forsinke klekkingen. Ved lav temperatur vil inkubasjonstiden i døgngader synke (bli lavere enn 500), men inkubasjonstiden i dager vil allikevel øke. Høye temperaturer og varmesjokk fører begge deler til at andelen defomerte individer øker (Wargelius *et al.* 2005; Takle *et al.* 2005). Både egg og plommeseekkyngel inkuberes i mørke.

Etter omtrent 200–250 døgngader kan øynene til larven ses gjennom eggeskallet. Fra dette stadiet og fram til klekking kalles derfor egget for øyerogn. Før øyerognstadiet er egget følsomt for håndtering, og alle arbeidsoperasjoner må derfor gjøres meget forsiktig. På øyerognstadiet tåler egget mye mer og kan håndteres. Oppdretterne bruker derfor gjerne enn håndtering/sjokking på dette stadiet for å skille de døde eggene fra de levende. Etter en mekanisk behandling blir de døde eggene hvite og kan lett plukkes vekk fra de levende som er oransje og delvis gjennomsiktige. Denne sorteringen skjer vanligvis maskinelt.

Etter at de døde eggene er fjernet, plasseres den levende øyerognen på rister med spalter som er små nok til å holde tilbake eggene, men store nok til at de nyklekkede larvene kan svømme gjennom. Klekkekarene/bakkene er vanligvis utstyrt med et kunstig klekkesubstrat som er en erstatning/substitutt for elvegrus (Hansen & Møller 1985). Noen dager før plommemassen er absorbert, overføres yngelen til oppdrettskar og blir gitt et tørrfôr. Første fôrinntak skjer vanligvis mellom 300 og 350 døgngader etter klekking, og i kommersielt oppdrett skjer dette vanligvis en gang mellom februar og april.

Når yngelen er klar til å ta til seg fôr, flyttes den fra klekkesystemene til fôringskar. Yngelen oppdrettes vanligvis i runde kar med vanninntak på én side og med avløp i midten av karet (det finnes noen unntak). Under startfôringen holdes vanligvis yngelen under kontinuerlig lys og har tilgang på tørrfôr hele døgnet.

Fordi smoltifiseringen styres av endringer i daglengden, kan en bruke lys for å produsere sjøvannsklar settefisk (smolt) til ulike tider av året. Rundt midtsommer blir vanligvis fisken delt i to ulike produksjonsstrategier. Den første strategien kalles produksjon av halvtårssmolt, nullåringer eller høstsmolt, den andre produksjon av ettårssmolt eller vårs smolt. Disse to produksjonsstrategiene gir smolt som overføres til sjøvann henholdsvis om høsten og våren.

Fisk som skal inn i en halvtårssmoltproduksjon sorteres, og de største individene oppdrettes videre under et kunstig lysregime. Dette lysregimet startes ca. 12 uker før den planlagte overføringen til sjøvann, og består av en seksukers periode med kort daglengde (12 timer eller kortere), etterfulgt av seks uker på kontinuerlig lys (Hansen *et al.* 1998a, c; Bjørnsson *et al.* 2000). I næringen finner en imidlertid betydelige variasjoner omkring dette anbefalte regimet. Ved smoltproduksjon med intensivt regime overføres smolten til sjøvann på sensommer/høst, og alderen er mindre enn ett år fra befruktning. Størrelsen på en høstsmolt er vanligvis mellom 40 og 60 gram.

Fisk som skal inn i en vanlig ettårssmoltproduksjon blir vanligvis overført fra kontinuerlig lys til naturlig lys eller simulert naturlig lysperiode en gang mellom midtsommer og oktober. Fisken holdes vanligvis under dette lysregimet helt fram til smoltifisering den påfølgende våren. Ettårssmolten er følgelig mellom 14 og 18 måneder når den settes ut i sjøvann. Tidspunktet for når laksen utvikler sjøvannstoleranse er også avhengig av temperaturen (Solbakken *et al.* 1994; Hansen *et al.* 1998b) og i Norge smoltifiserer fisken tidligere i sør enn i nord. Ettårssmolten overføres imidlertid til sjøvann en gang mellom tidlig vår og tidlig sommer. Størrelsen på en ettårssmolt er vanligvis mellom 60 og 200 g.

I Norge produseres stort sett all smolt i glassfiberkar på land. Disse karene varierer i størrelse fra noen hundre liter og opp til mer enn 1000 m³. Noen få smoltprodusenter holder fisk i merder i ferskvann og noen bruker resirkulasjon av vann. Men de fleste anleggene er basert på ren gjennomstrømming, og vannet brukes bare én gang. Det er imidlertid vanlig å tilsette oksygen i perioder med lav vanntilgjengelighet, høy temperatur og høye fisketettheter. Noen anlegg har også muligheten for å resirkulere vannet internt i karet, kombinert med utstyr for å fjerne karbondioksyd.

I Chile overføres mer enn 50 % av yngelen til innsjøer og holdes der fram til smoltifisering. På grunn av sykdomssituasjonen flyttes imidlertid mer og mer av produksjonen til store resirkulasjonsanlegg på land. Også i Skottland produseres noe av molten i merder i innsjøer, men i langt mindre grad enn i Chile.

All fisk vaksineres før overføring til sjøvann. I Norge er det vanlig å vaksinere med en polyvalent vaksine (mot furunkulose (*Aeromonas salmonicida* subsp. *salmonicida*), vibriose (*Vibrio anguillarum* serovar O1 og O2), kaldtvannsvibriose (*Vibrio salmonicida*), vintersår (*Vibrio viscosus*) og infeksiøs pancreas nekrose (IPN-virus). Vaksinen injiseres i bukhalen (intraperitonealt). Det anbefales å vaksinere minst 500 døgngader før sjøvannsoverføring for å være sikker på at fisken har utviklet tilstrekkelig sykdomstoleranse. Vaksinering ved høye temperaturer kan gi uønskede bivirkninger (Berg *et al.* 2006), og det er anbefalt å vaksinere ved temperaturer lavere enn 15 °C. I løpet av vaksineringen blir vanligvis dverghanner (hanner som er blitt modne i ferskvann) og deformerte individer fjernet og avlivet.

I Norge transporteres vanligvis molten med brønnbåt fra smoltanlegget til merdanlegget, men noe transport foregår også med bil. Disse transportene er regulert gjennom dyrevernsloven (LOV-1974-12-20-73) og forskrift om transport av levende akvatiske organismer (FOR 1997-02-20 nr 193). Formålet med denne forskriften er å redusere eller forhindre spredning av smittsomme sykdommer mellom akvatiske dyr gjennom krav til transportør og utstyr til transport, og å sørge for at transporten ikke fører til unødvendig lidelse for levende dyr. Alt transportutstyr må derfor godkjennes av Mattilsynet og alle transportører og alt transportutstyr kontrolleres og må godkjennes årlig. Forskriften setter også regler for rengjøring, desinfeksjonsrutiner, dødfiskhåndtering og dokumentasjon.

Moderne brønnbåter kan ha et volum på opptil 900 m³ og kan transportere opptil 100 tonn levende fisk. Den siste tids utvikling, hvor vi har fått store vertikalt integrerte selskaper, har ført til at transportdistansene i næringen har økt.

Smolten transporteres vanligvis ved tettheter på 30–50 kg/m³ når transporten foregår med åpne ventiler (Rosten *et al.* 2005). Vanngjennomstrømningen er vanligvis ikke et problem fordi vanngjennomstrømningen i en brønnbåt kan være tre–fire ganger så stor som i en vanlig smoltproduksjon.

Tillatelser til å oppdrette laks i Norge er regulert gjennom en konsesjonsordning (FOR 2004-12-22 nr. 1798). En konsesjon er begrenset til en maksimal total biomasse (MTB) på 780 tonn. I Troms og Finnmark er tillatelsen begrenset til en maksimal total biomasse på 900 tonn hvis alle lokalitetene som tilhører konsesjonen ligger i Troms og Finnmark.

Mesteparten av produksjonen i sjøvann foregår i flytende merdsystemer som er laget av sirkulære plastringer eller hengslede eller stive stålkonstruksjoner. Konstruksjonene varierer i størrelse fra 12x12x14 m merder med volum på 2 000 m³ til merder med omkrets på opptil 300 m, dybder på opptil 40 m og volum på over 300 000 m³. Generelt har nøtenes størrelse økt over tid. Vanligvis regner en at de runde plastringene er best egnet på lokaliteter med høy bølgeeksponering. Hovedoppgaven til den flytende konstruksjonen er å holde noten åpen og flytende og sørge for festepunkt for fortøyningene, men ofte er flytesystemene også utformet med plattformer for lager, maskineri og arbeidsoperasjoner. De sirkulære merdene flyter vanligvis fritt med god avstand mellom hver enhet, mens de firkantete enhetene ligger tettere sammen i kvadratiske eller rektangulære klynger. Nedsenkbare merder kan i fremtiden være aktuelt for bruk på laks for å unngå kortere perioder med ugunstige forhold i overflaten (Korsøen *et al.* 2008), mens det for torsk og andre arter med lukket svømmeblære kan bli aktuelt brukt for hele tilvekstfasen.

Selve merden eller noten er formet som en pose og er vanligvis laget av nylon. I dag er notmaterialet konstruert slik at noten ikke revner hvis en tråd skulle ryke. Noten er delt inn i hoppenett, notvegg og bunn, med innfesting til flytekonstruksjon i vannflaten og lodd festet til bunnlinen i overgangen mellom vegg og bunn.

Tendensen i dag er at næringen gjør seg mer og mer uavhengig av landbaserte fasiliteter og at anleggene flyttes til mer eksponerte lokaliteter. Fôringssystemene og fôrlager integreres i anlegget og flere konsesjoner/tillatelser samlokaliseres for å minimere kostnaden til infrastruktur. Samlokaliserte anlegg er også mindre arbeidsintensive.

Produksjonstiden fra overføring til sjøvann til slakting varierer mellom syv og 18 måneder for ettårssmolt og mellom 12 og 20 måneder for høstsmolt. Produksjonstiden varierer også mellom selskaper, anlegg og fra sør til nord. Laksen slaktes ved en størrelse mellom 2–3 og over 10 kg.

Fisketettheten per produksjonsenhet med stamfisk og matfisk av laks og regnbueørret er foreslått ikke å skulle overstige 25 kg per m³ (Akvakulturdriftsforskriften til høring) der beregning av fisketettheten gjøres ved at det hele reelle volumet fiskene har mulighet til å bevege seg i legges til grunn. I lange perioder av året er det imidlertid sterke miljøgradienter i vannsøylen, slik at miljøforholdene varierer svært mye innenfor merden, og fisken velger å utnytte bare en liten del av det tilgjengelige volumet. Laksen vil normalt svømme dypt i merden om vinteren og trekke mot det varmere overflatelaget om våren og sommeren (Oppedal *et al.* 2007), samtidig både tiltrekkes den av moderat lysnivå og unngår sterkt lys, svømmer i foringsområdet (overflate) ved føring eller dersom den har høyt sultnivå. Dersom temperaturen blir for høy (>18 °C), vil den prøve å unngå dette området og unnvikelsestrangen øker med avstanden til optimaltemperaturen (Johansson *et al.* 2006). Således observeres laksen ofte på to–fem m, ekstremverdier på ti, ganger beregnet tetthet og en begrensning i produksjonen basert på beregnet tetthet er ikke gyldig for alle forhold.

De høyeste tettheter observert i merder (over 200 kg per m³) var i et noe kaldere, ferskvannspåvirket overflatelag om høsten hvor fisken forsøkte å unngå varmt vann dypere nede. Basert på en tetthetsstudie ved et skotsk kommersielt anlegg med relativt små merder (110 m³), indikerer Turnbull *et al.* (2005) at det under de gitte forhold var et knekkpunkt for tetthet på 22 kg per m³, hvor laksen fikk gradvis dårligere velferd ved større tettheter. I en karstudie med relativt få individer, indikerte Adams *et al.* (2007) at for høye og for lave tettheter er negativt for laksens velferd, med 25 kg per m³ som optimal tetthet. Generelt er det en sammenheng mellom antatt økt aggresjonsnivå ved meget lave tettheter og dokumentert dårlig vannkvalitet ved for høye tettheter. Dersom vannutskiftingen holdes tilstrekkelig god ved at man konsekvent lokaliserer anlegg i vannmasser som kontinuerlig beveger seg og til enhver tid sørger for å ha rene nøter, vil den beregnete tettheten kunne holdes på et høyere nivå enn om så ikke er tilfelle. Individuelle tilpasninger for maksimale tettheter må vurderes for ulike lokaliteter, anleggsutforming og merdstørrelser.

I et anlegg må store mengder fôr håndteres og fordeles hver dag. Fôret leveres vanligvis til en landbase eller direkte til anlegget. Fôret transporteres med bil eller båt enten i bulk eller i storsekk (500–800 kg). På anlegget lagres fôret i siloer og fordeles til de enkelte oppdrettsenhetene i rør, vanligvis ved hjelp av luft, men i enkelte tilfeller med vann. Føringssystemene er vanligvis datastyrt og koblet opp mot et produksjonskontrollsystem. Håndføring var vanlig tidligere, men brukes i dag bare unntaksvis i forbindelse med appetittkontroll og som et supplement til automatføring i kritiske perioder (f.eks. i forbindelse med smoltutsett og medisinføring). I anlegg kan det være betydelig variasjon i appetitt mellom enhetene, varierende fra en dag til en annen og med tid på dagen. I mange anlegg bruker en derfor en eller annen form for spillfôrdeteksjon slik som manuelle eller automatiske kameraobservasjoner, ulike spillførsensorer (akustiske, trakt med lyssensor) som registrerer fôr som faller gjennom vannmassen eller lift-up systemer som henger i eller på bunnen av merden og pumper spillfôret til overflaten.

Overvåkingen av miljøkvalitet og fiskevelferd i merdene kan være vanskelig og varierer fra anlegg til anlegg. Ettersom volumet på oppdrettsmerdene har økt de siste årene, er det også

blitt vanskeligere for oppdrettere å danne seg et helhetlig bilde av hvordan fisken har det i merdene og hvilke miljøforhold fisken lever under. Det er grunn til å tro at en del laks i merdene er utsatt for akutt og kronisk stress som følge av eksponering for ikke-dødelige miljøforhold. Per i dag blir temperaturmålinger normalt foretatt på ett eller få dyp som standard, mens oksygenmålinger foretas sporadisk på noen anlegg. Standard oksygenmålinger er foreslått innført i risikoperioder (Akvakulturforskrift på høring). Fiskens appetitt kan være en god velferdindikator og følges opp ved noen anlegg, men kobles sjelden mot målte miljøvariabler. Dødelighet registreres jevnlig, men er et dårlig mål for fiskens velferd, da dette måles som en siste konsekvens av dårlige forhold. Gode atferdsindikatorer for beskrivelse av velferd i merdene mangler, men flere lovende systemer for kontinuerlig overvåking av oppdrettsmiljø og fiskevelferd i oppdrettsmerder er under utvikling (Stien *et al.* 2008; www.imr.no/welfaremeter).

Uønsket tidlig kjønnsmodning er et av hovedproblemene i produksjonen av de fleste oppdrettsartene. I lakseoppdrett fører kjønnsmodningen til redusert vekst, tap av slaktekvalitet og høy dødelighet. Kjønnsmoden laks mister evnen til å regulere vann- og saltbalansen i sjøvann, og de fleste vil dø i løpet av vinteren hvis de holdes i sjøvann. Det å holde kjønnsmoden laks i sjøvann regnes derfor som et betydelig velferdsproblem.

Innslaget av uønsket tidlig kjønnsmodning begrenses ved hjelp av kunstig belysning. Den anbefalte metoden for høstsmolt er å holde fisken under naturlig lys fra utsett i august/oktober og fram til januar, og deretter holde under kontinuerlig lys (Oppedal *et al.* 2006). Denne strategien reduserer innslaget av tidlig kjønnsmodning (som vanligvis forekommer i større eller mindre grad rundt 24 måneder etter befruktning). Ettårssmolten holdes vanligvis under naturlig lys fra utsett i mars/juni og fram til kontinuerlig lys slås på i desember/januar (Hansen *et al.* 1992). Dette reduserer innslaget av tidlig kjønnsmodning, som vanligvis forekommer rundt 36 måneder etter befruktning.

Ved bruk av lys som er montert over overflaten anbefales en installasjon på 2–4 W per m² merdoverflate (Oppedal *et al.* 1997). I dag blir det mer og mer vanlig å bruke spesialdesignete undervannslys som er mer effektive. Som et resultat av dette er den uønskede belysningen av omgivelsene og det nødvendige energibehovet betydelig redusert. Laks har en preferanse for lys, sannsynligvis for å kunne opprettholde stimstruktur om natten (Juell *et al.* 2003; Juell and Fosseidengen 2004). Men samtidig har laksen en temperaturpreferanse, og dersom vannmassene er lagdelt med hensyn til temperatur overstyres delvis tiltrekkingen til lys (Oppedal *et al.* 2007). Ved å plassere lysene på ulike dyp kan laksen spres ut i dypet under ellers homogene forhold, mens ved temperaturstratifisering bør lyset plasseres i det dypet som sammentreffer med fiskens temperaturpreferanse. Laksens temperaturpreferanse i sjøvann ligger i området 16–18 °C (Johansson *et al.* 2006).

Oppdrettsnæringen har et betydelig problem knyttet til lakselus (den viktigste arten er *Lepeophtheirus salmonis*). Lakselusa er en ektoparasitt på laks i sjøvann. Luseinfeksjoner kan ødelegge huden og slimlaget og gi problemer med osmoregulering og gi grunnlag for

sekundære infeksjoner. Lakselus regnes også som en alvorlig trussel for de ville laksestammene. Lakselus behandles med antiseptika, organiske fosfater, pyretriner og pyretroider, avermectiner og kitinsyntese-inhibitorer. Avermectinene og kitinsyntese-inhibitorerne gis gjennom fôret, mens de andre behandlingene gis som bad. Resistensutvikling er funnet for noen av avermectinene. Ved badebehandling blir en tett eller delvis tett presenning lagt rundt nota og behandling kjemikalierne tilsettes. Dette er en metode som er vanskelig å gjennomføre i dagens store merder. Leppefisk brukt som renseskisk (Bjordal 1990) har vært benyttet som et alternativ til kjemisk behandling i mer enn femten år.

På grunn av den alvorlige situasjonen har norske myndigheter laget en egen forskrift (FOR 2000-02-01 nr. 70) for å bekjempe luseproblemet. Ved sjøtemperaturer over 4 °C må fisken inspiseres minst hver andre uke. Antallet voksne hunner, antallet lakselus i de bevegelige stadiene (voksne hanner og preadulte hanner og hunner), antallet behandlinger, sjøtemperatur og bruk av leppefisk må registreres og rapporteres til Mattilsynet hver måned.

Mellom 1. desember (i Troms og Finnmark, 1. november) og 1. juli, må fisken behandles mot lus hvis det gjennomsnittlige antallet voksne hunnlus er mer enn 0,5 eller hvis summen av voksne hunner og bevegelige stadier per fisk i gjennomsnittlig er over fem. Mellom 1. juli og 1. desember (i Troms og Finnmark 1. november), må fisken behandles hvis det gjennomsnittlige antallet voksne hunnlus er over to, eller hvis summen av voksne hunnlus og bevegelige stadier er høyere enn ti. Vanligvis skal all fisk på lokaliteten behandles. Unntaket er for merder hvor summen av voksne hunnlus og mobile stadier er mindre enn 0,1. Fisken må behandles senest to uker etter at grenseverdien er overskredet.

Oppdrettslokaliteter for laks, ørret og regnbueørret i sjøvann (inkludert stamfisk) må brakklegges i minst to måneder mellom hver produksjonssyklus. Mattilsynet kan øke brakkleggingstiden og foreta samordnet brakklegging av større områder hvis dette er nødvendig av hensyn til fiskehelse.

Slaktefisken sultes før den transporteres til slakteriet. For at tarmen skal tømmes, oksygenforbruket reduseres og for å roe ned fisken, er det nødvendig med en sulteperiode på to til tre dager, avhengig av temperatur.

Noen selskaper sorterer fisken før slakting fordi slaktepopulasjonen kan ha betydelig størrelsesvariasjon. Brønnbåter med integrert sorteringsutstyr pumper fisken om bord, og fisk som er mindre enn en forutbestemt størrelse faller gjennom ristene og returneres til en tom merd for videre tilvekst.

Slaktefisken transporteres alltid til slakteriet med brønnbåt. Fisken pumpes eller haves ombord. Hvis transporten skal gå med åpne ventiler kan tettheten være så høy som 115–180 kg per m³ (Rosten *et al.* 2005). Om sommeren tilsettes oksygen hvis store biomasser skal transporteres.

På slakteriet pumpes enten fisken direkte inn på slaktelinjen eller overføres til en ventemerd hvor den kan bli holdt i flere dager. Ved slaktingen trengs fisken sammen før de pumpes inn på slaktelinjen.

I de fleste store slakteriene pumpes fisken direkte inn i et karsystem med nedkjølt sjøvann ($0,0 \pm 0,5$ °C) som er tilsatt CO₂ (80–150 mg/liter) (Kießling *et al.* 2006). Etter to–tre minutter er fisken bedøvd og løftes videre inn på slaktelinjen hvor de bløgges. Det antas at nedkjølingen ikke har noen vesentlig bedøvningseffekt, og metoden brukes derfor hovedsakelig for å sette fart på kjøleprosessen.

Utblødning er fortsatt den normale avlivingsmetoden og foregår ved å kutte over gjellene. Når gjellebuene på en bedøvd laks kuttet, dør den uten å komme til bevissthet. Andre metoder som elektrisk avliving og avliving ved mekanisk ødeleggelse av hjernen før utblødning (stun and bleed) er blitt tatt i bruk. Bedøving med CO₂ tilfredsstillende ikke kravene til dyrevelferd og ble forbudt brukt i Norge fra juli 2008, men innføring av forbudet er foreløpig utsatt.

Bunnpåvirkning av matfiskanlegg blir nå regulert med overvåkning etter standard prosedyrer, (NS 9410). Et system som skal bidra til optimal lokalisering, MOLO (MOm-LOkalisering) er under utvikling. Det innebærer at miljøvirkningene av anlegget, inkludert miljøet i merdene, simuleres med matematiske modeller og den optimale biomasse for lokaliteten beregnes basert på fiskens behov for å opprettholde en akseptabel fiskevelferd.

3.5.3. Spesifikke miljøkrav

Vannkvalitet

Vannkvalitet refererer vanligvis til det fysiske-kjemiske miljøet fisken lever i og består av faktorer som temperatur, saltholdighet, oksygeninnhold osv. Alle vannlevende organismer har toleransegrenser for vannkvalitet, og innenfor disse kan organismen opprettholde homeostase. I tillegg har organismene utviklet en rekke kompensasjonsmekanismer som gjør at de over tid kan justere toleransegrensene sine ved akklimatisering. Trusselen mot velferd relaterer seg derfor ikke bare til absolutte verdier, men også til hvor hurtig forholdene endrer seg og til en rekke komplekse interaksjoner.

Temperatur

Laksens temperatortoleranse er sterkt påvirket av akklimering, og generelt sett ser det ut til at laksen kan overleve temperaturer langt over 20 °C hvis oksygentilgangen er tilstrekkelig. Den lavere letale grensen regnes for å være -1 °C. Postsmolt som går i merder i sjøen vil foretrekke den høyest tilgjengelige temperaturen opp til 16–18 °C og vil aktivt unngå temperaturer over 19 °C (Johansson *et al.* 2006).

Fiskens optimumstemperatur og toleranse endres med ulike livstadier. For å unngå utviklingsfeil, bør lakseggene holdes på temperaturer som er lavere enn 8 °C, og plommesekknyngelen bør holdes på temperaturer som er lavere enn 12 °C. Startfôringsyngel

og parr bør holdes ved temperaturer lavere enn 18 °C. Smolt bør holdes på temperaturer mellom 3 og 18 °C. Voksen fisk bør holdes på temperaturer mellom 1 og 18 °C. I perioden rundt eggløsning og spermløsning bør ikke stamfisken holdes ved temperaturer over 12 °C.

Oksygen

Når temperaturen i vannet øker, stiger fiskens oksygenbehov samtidig som oksygenkonsentrasjonen i vannet synker. Oksygenets løsningssevne i vann synker med saltholdigheten, og det er dermed mindre tilgjengelig oksygen i sjøvann enn ferskvann. Fiskens oksygenbehov er også sterkt påvirket av fôropptak og andre aktiviteter. Uten tilstrekkelig oksygentilførsel vil fisken kveles og dø. Ved lave oksygenverdier over den dødelige grensen vil en kunne observere symptomer som redusert appetitt (Kvamme *et al.* 2008), redusert vekst og unormal atferd. Det er antydning at stor laks prøver å unngå oksygenmetninger under 70 % (Johansson *et al.* 2007).

Av hensyn til fiskens velferd bør oksygenmetningen holdes så nær 100 % som mulig og bør i alle tilfeller være minimum 70 % for liten fisk i ferskvann og 60 % for voksen fisk. Oksygenkonsentrasjonen bør alltid være over 5 mg/l. I merder i sjøvann er det observert store fluktuasjoner i oksygeninnhold (Johansson *et al.* 2006; 2007). Dette skyldes ulike naturlige forhold som dag- og nattvariasjoner forårsaket av plantealgenes døgnlige endring i produksjon og forbruk, vannstrømmens tidevannsbetingede fluktuasjon, vinddrevet vannstrøm som kan gi oppstuing av overflatevann, eller oppstrømning av lite oksygenrikt dypvann. Mye av fluktuasjonene skyldes også laksens endring i oksygenforbruk gjennom dagen. Forbruket er høyt ved god vekst og høyest i timene etter fôring. Konsekvensene av de store svingningene i oksygeninnhold er lite studert, men det er klart at hvis hypoksi-periodene sammenfaller med perioder hvor fiskens metabolske margin (differansen mellom maksimalt tilgjengelig oksygenopptak under de rådende forhold og metabolsk nødvendig oksygenopptak) er liten, vil laksen i så fall konsentrere opp melkesyre i muskulaturen og på sikt dø (Stien *et al.* 2008).

Ammoniakk (NH₃)

Ammoniakk i den uioniserte formen er meget giftig for fisk. Andelen uionisert ammoniakk varierer med pH og temperatur. Andel uionisert ammoniakk øker med økende pH og problemet med giftighet minst i sjøvann som grunnet buffring har mer stabil pH enn ferskvann. Ammoniakk er en viktig faktor i systemer med begrenset vanngjennomstrømming; slik som karoppdrett ved høye tettheter og under fisketransporter. Maksimumnivået for uionisert ammoniakk bør ikke overstige 0,025 mg/l for alle stadier i ferskvann. Siden ammoniakk har en høyere gjellepermeabilitet i sjøvann, bør maksimumsnivået ikke overstige 0,020 mg/l (1 mg per l TAN ved pH=7, saltholdighet 0 og 12 °C).

Karbondioksid (CO₂)

Karbondioksid er endeproduktet for aerob metabolisme og produseres i cellene i en mengde som omtrent tilsvarer oksygenforbruket. Karbondioksid er sjelden et problem i åpne produksjonssystemer hvis det ikke tilsettes oksygen. I anlegg hvor det tilsettes oksygen og i resirkulasjonsanlegg kan imidlertid konsentrasjonen av karbondioksid bli for høy. Det er også

viktig å huske at CO₂ i vann danner likevekt med det ugiftige bikarbonationet, og at konsentrasjonen vil være sterkt påvirket av vannets pH, temperatur og saltholdighet. I oppdrett av laks anbefales det at CO₂-konsentrasjonen ikke overstiger 10 mg per l.

Surhet (pH)

Mange faktorer påvirker vannets pH, men generelt er pH mer stabil i sjøvann på grunn av sjøvannets høye bufferkapasitet. Tilsvarende vil pH kunne variere mye i ferskvann på grunn av en lav bufferkapasitet. Metabolske avfallsstoffer fra fisken vil redusere pH i vannet, og lav pH kan gi fysiologiske forstyrrelser ved å påvirke ionetransporten i gjellene. Lav pH kan også føre til at dannelse av giftige metallioner og noen ioner kan felles ut på gjellene og hindre oksygenopptaket. pH varierer med CO₂-nivået, vannets innhold av NH₃/NH₄⁺ og vannets bufferevne. For laks bør pH ligge mellom 6,0 og 8,5 i ferskvann og 7,0 og 8,5 i sjøvann.

Saltholdighet

Toleransegrenser/krav til saltholdighet varierer med laksens livsstadier. Befruktningen må skje i rent ferskvann, fordi selv små mengder av salter fra sjøvann vil skade spermen. Svellingen av egget bør også foregå i rent ferskvann, fordi salt vil hindre prosessen. Etter at egget er sveltet, tåler det imidlertid saltholdigheter opp mot 10. Generelt anbefales det at lakseunger ikke skal holdes ved saltholdigheter over 10.

I smoltifiseringsprosessen utvikles lakseungens evne til å kunne opprettholde vann- og saltbalansen i sjøvann med full saltholdighet. Voksen laks tåler saltholdigheter over 40 og ned mot nesten rent ferskvann hvis temperaturene ikke er for ekstreme. Det antas likevel at laksens optimale trivselområde ligger på saltholdigheter mellom 25 og 35.

Metaller

Giftige metaller, slik som jern og aluminium, utgjør et potensielt velferdsproblem for laks. Giftigheten til disse metallene inngår imidlertid i et meget komplisert samspill mellom temperatur, pH, alkalinitet og hardhet. I områder eller vannkilder hvor denne typen problemer kan oppstå, må en ta hensyn til dette for å redusere risikoen for episoder som kan føre til velferdsproblemer eller dødelighet.

3.5.4. Referanser

- Adams, C.E., Turnbull, J.F., Bell, A., Bron, J.E. and Huntingford, F.A., 2007. Multiple determinants of welfare in farmed fish: stocking density, disturbance, and aggression in Atlantic salmon (*Salmo salar*). Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 64: 336-344.
- Lov om dyrevern - LOV-1974-12-20-73; <http://www.lovdata.no/all/nl-19741220-073.html>
- Berg, A., Rødseth O.M., Tangerås, A. and Hansen, T. 2006. Time of vaccination influences development of adherences, growth and spinal deformities in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). Diseases of Aquatic Organisms, 69: 239-248.

- Bjordal, A. 1990. Sea lice infestation on farmed salmon: possible use of cleaner-fish as an alternative method for de-lousing. Canadian Technical Report of Fisheries and Aquatic Sciences, 761: 85–89.
- Bjørnsson, B.Th., Hemre, G.-I., Bjørnevik, M. and Hansen, T. 2000. Photoperiod regulation of plasma growth hormone levels during induced smoltification of underyearling Atlantic salmon. General and Comparative Endocrinology, 119: 17–25.
- Fleming, IA. 1998. Pattern and variability in the breeding system of Atlantic salmon, with comparisons to other salmonids. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 55 (Suppl. 1): 59–76.
- Forskrift om bekjempelse av lakselus.
<http://www.lovdato.no/cgi-wift/wiftldles?doc=/usr/www/lovdato/for/sf/fi/fi-20000201-0070.html&emne=lakselus&>.
- Forskrift om transport av akvatiske organismer –
 FOR 1997-02-20 nr 193; <http://www.lovdato.no/cgi-wift/ldles?doc=/sf/sf/sf-19970220-0193.html>
- Forskrift om drift av akvakulturanlegg -
 FOR 2004-12-22 nr 1785: <http://www.lovdato.no/for/sf/fi/xi-20041222-1785.html#35>
- Forskrift om tillatelse til akvakultur for laks, ørret og regnbueørret - FOR 2004-12-22 nr 1798: <http://www.lovdato.no/for/sf/fi/xi-20041222-1798.html>
- Gjøen H.M. and Bentsen H.B. 1997. Past, present and future of genetic improvement in salmon aquaculture. ICES Journal of Marine Sciences, 54: 1009–1014.
- Hansen, T. and Møller D. 1985. Yolk absorption, yolk sac constrictions, mortality, and growth during first feeding of Atlantic salmon (*Salmo salar*) incubated on astro-turf. Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences, 42: 1073–1078.
- Hansen, T., Stefanson, S.O. and Taranger, G.L. 1992. Growth and sexual maturation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., reared in sea cages at two different light regimes. Aquaculture and Fisheries Management, 23: 275–280.
- Hansen, T., Stefansson, S.O., Mortensen, A. og Skilbrei, O. 1998a. Lys. I: T. Hansen (redaktør) Oppdrett av laksesmolt. Landbruksforlaget, s. 114–130.
- Hansen, T., Stefansson, S.O. og Mortensen, A., 1998b. Temperatur. I: T. Hansen (redaktør) Oppdrett av laksesmolt. Landbruksforlaget, s. 131–137.
- Hansen, T., Taranger, G.L., Mortensen, A. og Stefansson, S.O. 1998c. Nye produksjonsstrategier. I: T. Hansen (redaktør) Oppdrett av laksesmolt. Landbruksforlaget, s. 167–186.
- Hvidsten, N.A., Heggberget, T.G. and Jensen, A.J. 1998. Sea water temperatures at Atlantic salmon smolt entrance. Nordic Journal of Freshwater Research, 74: 79–86.
- Johansson, D., Ruohonen, K., Kiessling, D., Oppedal, F., Stiansen, J.E., Kelly, M. and Juell, J.-E. 2006. Effect of environmental factors on swimming depth preferences of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and temporal and spatial variations in oxygen levels in sea cages at a fjord site. Aquaculture, 254: 594–605.
- Johansson, D., Juell, J.-E., Oppedal, F., Stiansen J.E. and Ruohonen, K. 2007. The influence of the pycnocline and cage resistance on current flow, oxygen flux and swimming behaviour of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in production cages. Aquaculture, 265: 271–287.

- Juell, J.-E., Oppedal, F., Boxaspen, K. and Taranger G.L., 2003. Submerged light increases swimming depth and reduces fish density of Atlantic salmon *Salmo salar* L. in production cages. *Aquaculture Research*, 34: 469–477.
- Juell, J.-E. and Fosseidengen, J.E. 2004. Use of artificial light to control swimming depth and fish density of Atlantic salmon (*Salmo salar*) in production cages. *Aquaculture*, 233: 269–282.
- Kiessling, A., Bjørnevik, B., Thomassen, M., Rørå, M.B., Mørkøre, T., Roth, B., Erikson, U. og Jordheim, O. 2006. Fra merd til kjøkkenbord (From cage to kitchen table), p. 43–60. I: Thomassen, M., Gudding, R., Norberg, B. og Jørgensen, L. Havbruksforskning: Fra merd til mat (Aquaculture research: From cage to food). Research Council of Norway. 373 pages.
- Kjønnhaug, A.F. 2008. Produksjon av laks og regnbueørret, Kapittel 3.1.1. I: Boxaspen, K.K., Dahl, E., Gjøsæter J., Sunnset B.H. Kyst og havbruk 2008. Fisken og havet, særnummer 2–2008, 108–110.
- Korsøen Ø., Dempster, T., Oppedal, F., Folkedal, O., Kristiansen, T. 2008. Nedsenkete merder – en del av det fremtidens lakseoppdrett? I: Boxaspen, K., Dahl, E., Gjøsæter, J., Sunnset, B. Kyst og havbruk 2008, Fisken og havet, særnummer 2-2008, 140–142.
- Kvamme, B.O., Oppedal, F., Torgersen, T., Fridell, F., Sundh, H. og Sundell, K.S. 2008. Fiskevelferd – oksygenet viktig for oppdrettsfisken sin helse og velferd. I: Boxaspen, K., Dahl, E., Gjøsæter, J., Sunnset, B. Kyst og havbruk 2008, Fisken og havet, særnummer 2-2008, 134–137.
- Metcalf, N.B. and Thorpe, J.E. 1990. Determinants of geographical variation in the age of seaward-migrating salmon (*Salmo salar*). *Journal of Animal Ecology*, 59: 135–145.
- Norberg, B., Taranger, G.L. and Tveiten, H. 2006. Reproduksjonsfysiologi hos marine kaldtvannsarter i oppdrett. (Reproductive physiology in farmed marine coldwater species), p. 62–75. In: Thomassen, M., Gudding, R., Norberg, B. and Jørgensen, L. Havbruksforskning: Fra merd til mat (Aquaculture research: From cage to food). Research Council of Norway. 373 pages.
- Oppedal, F., Taranger, G.L., Juell, J.-E, Fosseidengen, J.E. and Hansen, T. 1997. Light intensity affects growth and sexual maturation of Atlantic salmon (*Salmo salar*) postsmolts in sea cages. *Aquatic Living Resources*, 10: 351–357.
- Oppedal, F., Hansen, T., Taranger, G.L., Berg, A. and Olsen, R.E. 2006. Photoperiod in seawater-influenced seasonal growth and chemical composition in autumn sea-transferred Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture* 254: 396–410.
- Oppedal, F., Juell, J.-E. and Johansson, D., 2007. Thermo- and photoregulatory swimming behaviour of caged Atlantic salmon: Implications for photoperiod management and fish welfare. *Aquaculture* 265: 70–81.
- Rosten, T., Kristensen, T., Rosseland, B.O. og Åtland, Å. 2005. Transport av fisk i brønnbåt. NIVA Prosjektfakta. Juli 2005. 2 s.
- Solbakken, V., Hansen, T. and Stefansson, S.O. 1994. Effects of photoperiod and temperature on growth and parr-smolt transformation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and subsequent performance in seawater. *Aquaculture*, 121: 13–27.

- Stien, L.H., Gytte, T., Torgersen, T., Fosseidengen, J.E. og Kristiansen, T. 2008. Velferdsmeter. I: Boxaspen, K., Dahl, E., Gjørseter, J., Sunnset, B. Kyst og havbruk 2008, Fisken og havet, særnummer 2-2008, 143–145.
- Takle, H., Bæverfjord, G., Lunde, M., Kolstad, K., and Andersen, Ø. 2005. The effect of heat and cold exposure on HSP70 expression and development of deformities during embryogenesis of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, 249: 515–524.
- Taranger, G.L., Stefansson, S. and Hansen, T. 1991. Advancement and synchronization of ovulation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) following injections of LHRH analogue. *Aquaculture*, 102: 169–175.
- Turnbull, J., Bell, A., Adams, C. and Huntingford, F. 2005. Stocking density and welfare of cage farmed Atlantic salmon: application of multivariate analysis. *Aquaculture*, 243: 121–132.
- Verspoor, E., Olesen, I., Bentsen, H.B., Glover, K., McGinnit, P. and Norris, A. 2007. Genetic effects of domestication, culture and breeding of fish and shellfish, and their impacts on wild populations. Atlantic salmon – *Salmo salar*. p. 23–31, In: Svåsand T., Crosetti D., García-Vázquez E. and Verspoor E. (eds). Genetic impact of aquaculture activities on native populations. Genimpact final scientific report (EU contract n.RICA-CT-2005-022802).
- Wargelius, A., Fjellidal, P.G. and Hansen, T. 2005. Heat shock during early somitogenesis induces caudal vertebral column defects in Atlantic salmon (*Salmo salar*), *Development Genes and Evolution*, 215: 350–357.

Retur: Havforskningsinstituttet, Postboks 1870 Nordnes, NO-5817 Bergen



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Institute of Marine Research

Nordnesgaten 50 - Postboks 1870 Nordnes
NO-5817 Bergen
Tel.: 55 23 85 00 – Faks: 55 23 85 31

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

AVDELING TROMSØ

Sykehusveien 23, Postboks 6404
NO-9294 Tromsø
Tlf.: 77 60 97 00 – Faks: 77 60 97 01

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

FORSKNINGSSTASJONEN FLØDEVIGEN

Nye Flødevigveien 20
NO-4817 His
Tlf.: 55 23 85 00 – Faks: 37 05 90 01

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

FORSKNINGSSTASJONEN AUSTEVOLL

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

**HAVFORSKNINGSINSTITUTTET,
FORSKNINGSSTASJONEN MATRE**

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

**SAMFUNNSKONTAKT OG KOMMUNIKASJON
PUBLIC RELATIONS AND COMMUNICATIONS**

Tlf.: 55 23 85 00 – Faks: 55 23 85 55
E-post: informasjonen@imr.no

www.imr.no

