

ISSN 0804 - 211X

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
RAPPORT FRA SENTER FOR HAVBRUK 1993 NR.3

Jens Chr. Holm og Per Inge Søreide

TILRÅDD TETTHET FOR LAKS

Sluttrapport for fase 1 og 2

HAVFORSKNINGSINSTITUTTET
SENTER FOR HAVBRUK - AUSTEVOLL HAVBRUKSSTASJON

SAMMENDRAG OG ANBEFALINGER

Mengden fisk pr enhet vannvolum påvirker vannkvaliteten, i forsøk ble dette vist for oksygen og ammoniakk.

Målinger av kronisk stress viste vedvarende effekt av tetthet, men på lavt nivå. Det var ingen entydig sammenheng mellom fiskemengde og nivå av kronisk stress. Det er ikke framkommet entydige svar på i hvilken grad fiskens helsetilstand påvirkes av tetthet.

Det synes ikke å være nødvendig å størrelsessortere liten laks (200-500 g), og det synes å gi en gevinst å holde den nyutsatte fisken ved lave tettheter. Smolt og laks under 0,5 kg kan beholde et aggressivt atferdsmønster og en vekstmessig respons som tidligere er vist for lakseparr (ferskvannsstadiet før smoltperioden).

Laks over 1 kg viste en tetthetstilvenning m.h.t. vekstrate. Tilsvarende effekt for mindre fisk ble ikke vist. Fiskens slaktekvalitet var ikke påvirket av tetthetsbehandling. Eksponering i høy tetthet i en måned ga kraftigere miljøfarge enn for lavere tettheter.

Resultatene understreker at mengde fisk som kan holdes i et gitt vannvolum vil være avhengig av vannutskiftning og kvaliteten til tilførte vannmasser. Oksygentilgjengelighet vil antagelig for de fleste situasjoner være den faktor som begrenser den biologiske kapasiteten i en oppdrettsenhet. Dette tilsier at fisk må holdes ved lavere belegg (biomasse pr volumenhet) i perioden juni - oktober som normalt har høy vanntemperatur, sammenlignet med resten av året. Flere av resultatene synes å indikere at det vil være biologisk formålstjenlig å oppdrette småfisk under 0,5 kg ved et langt lavere belegg enn det som er nødvendig for fisk over 1 kg. Et biologisk fornuftig belegg for nyutsatt fisk ligger derfor antagelig langt under dagens maksimumsgrenser.

Det anbefales ut fra resultatene i prosjektet videre forskning på følgende:

- (a) Skjer det en tilvenning til tetthet i fiskens immunsvær, og er en eventuell tilvenning størrelsesavhengig? Dette vil være vesentlig i en revurdering av dagens tetthetsgrense.
- (b) Kan oksygentilgjengelighet målt i en oppdrettsmær være et tjenlig kriterium for å vurdere om fisken går for tett eller ikke?

INNHALDSFORTEGNELSE

SAMMENDRAG OG ANBEFALINGER.....	02
FORORD.....	04
DEL A: INNLEDENDE BETRAKTNINGER.....	05
Fisketetthet som biologisk problem	05
Fisketetthet som problem i oppdrettsforvaltningen	08
Tidligere utførte tetthetsforsøk og problemstillinger for prosjektet "Tilrådd tetthet for laks"	09
DEL B: SAMMENFATNING AV UTFØRT AKTIVITET.....	12
Prosjektets forsøkgjennomføring	12
Sammendrag av resultatene	16
SITERT LITTERATUR.....	28

FORORD

På oppdrag fra Fiskeridepartementet har Havforskningsinstituttet, Austevoll havbruksstasjon undersøkt effekter av tetthet på laks i sjøfasen. Prosjektaktiviteten har vært gjennomført som to ettårsprosjekter (fase 1 og 2) i henholdsvis 1990 og 1991.

Aktiviteten hadde som overordnet mål å verifisere hvorvidt en øvre tetthet lot seg definere i matfiskoppdrett av laks, og om en kunne finne anbefalte verdier for en slik øvre tetthet. Som mål for fase 1 (biologisk karakterisering av for høy tetthet) ble følgende problemstilling undersøkt: Virkningen av kronisk høy tetthet på liten og stor fisk, og om fisken tilvennes gitte tettheter. Som mål for fase 2 (konsekvenser av tetthet) undersøkte en effekter av tetthet og fôringsregime på laks som nettopp er satt i sjø samt tetthet og grad av størrelsessortering hos liten laks. Forsøket fra fase 1 ble også fulgt opp første delen av fase 2.

Prosjektet har mottatt økonomisk støtte i to år direkte fra Fiskeridepartementets utredningsmidler, sum kr 1.453.000,-. Hydrogas AS har støttet prosjektet ved å stille komplett tankanlegg og innblandingsutstyr for oksygen til disposisjon for prosjektet. Firmaet har også bekostet deler av nødoksygeneringsutstyret. Støtten fra Hydrogas AS har vært av uvurderlig nytte for prosjektgjennomføringen.

Havforskningsinstituttet har stilt interne ressurser til disposisjon slik at en antar at totalt ressursforbruk i prosjektet ligger i størrelsesorden 2,5 - 3 mill. kr. Prosjektet har hatt et godt samarbeid med en rekke personer og fagmiljøer. Spesielt viktig for den løpende prosjektgjennomføringen har samarbeidet med sykdomsforskerne ved Senter for Havbruk vært.

Per Inge Søreide døde 14.juni 1992. Han har stått for den praktiske gjennomføringen av prosjektet, samtidig som han har bidratt vesentlig til planlegging såvel som øvrige deler av det vitenskapelige arbeidet.

Jens Chr. Holm
Prosjektansvarlig

DEL A: INNLEDENDE BETRAKTNINGER

FISKETETTHET SOM BIOLOGISK PROBLEM

Konkurransen om mat er en viktig begrensende faktor for vekst hos ung fisk i oppdrett. Den enkelte fisks konkurransevne bestemmer gjerne rangen i et hierarki, noe som resulterer i at individer med høy rang får bedre tilgang på mat. Slike dominante individer opprettholder høyere vekstrater enn individer med lav rang. Dersom næringsknapphet inntreffer, øker konkurransen og aggressiv atferd. Dette er de fleste settefiskoppdrettere kjent med; glemmer en å fôre parr ved rimelig høye temperaturer vil ryggfinnebiting raskt inntreffe. Ryggfinnebiting gir sekundære infeksjoner som gjerne kalles "saddleback disease". Før en kjente årsakssammenheng knyttet en dette til høye tettheter, og en tenkte seg at fisken simpelthen "slet" på finnene ved stadig å være borti hverandre og karveggen under den kaotiske høye tettheten. Rent logisk skulle det være andre finner enn ryggfinnen som burde bli påvirket, men dette heftet en seg ikke ved.

Laksefisk som er **territoriell** (det er den som liten, og når den reproduserer, begge faser i ferskvann), vil bruke ryggfinnen til å signalisere vilje til opposisjon i en konflikt. Jo kraftigere ryggfinnen spiles ut, jo "hissigere" er individet. Opponenten i en konflikt angriper helt naturlig dette "flagget" - dette er utløsende årsak til at saddleback disease oppstår hos laksefisk. Fenomènet kan lett frembringes på settefisk også ved lave tettheter, bare den sultavhengige aggresjonen er høy nok. Ved en meget lav tetthet vil settefisk etablere territorier i karet (gjærne under en ikke-spredende fôrautomat), og oppdretteren får mye aggresjon, ujevn og dårlig vekst igjen for pengene. Økes tettheten vil det bli så energikrevende for de fleste dominante fiskene at de ikke lenger foretrekker å forsvare territorier. Altså; ved å gå fra lav til moderat tetthet senkes territorialiteten og veksten forventes å bli mer jevn. Dette viser at fiskens sosiale organisering påvirker toleransen for tetthet. Dette er et generelt trekk hos dyr (Andrews 1979). Det er også vist at ungfiskpopulasjoner av laks reagerer ulikt på gitte tettheter (Fenderson & Carpenter 1971). Dette illustrerer at ulik **genetisk bakgrunn** også er avgjørende for tetthets-toleransen hos dyr (Andrews 1979).

Bruker en gammeldagse fôrautomater som ikke sprer fôret på overflaten, og attpåtil fôrer sjelden (men egentlig i overflod), vil fisken tendere til å holde territorier ved høyere tettheter enn dersom fôret blir godt spredd på overflaten med hyppige fôringer. Dette fordi fisken med sistnevnte, moderne fôringsmåte ikke kan forutse hvor (og kanskje når) fôret kommer. Dermed er det heller ikke bestemte områder i karet hvor det lønner seg å etablere og forsvare et territorium. På denne måten er fôrtilgjengeligheten med på å styre atferden til fisken.

Skal en oppdrette settefisk ved høye tettheter (over $30 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ de fleste tilfeller), er det spesielt viktig å fôre fisken nok - og ofte nok. Når fôret i en porsjon kommer godt spredd på overflaten (eller godt omrørt i en vannstrøm) oppstår det en konkurransesituasjon som kalles "**scramble competition**". Denne termen har dessverre ikke noe godt norsk navn, da det ligger tre relevante betydninger i "scramble": (1) kjempe for å oppnå noe, (2) flytte seg raskt og (3) blande uten å favorisere noe(n). Dette er en situasjon som oppdretteren egentlig ønsker seg fordi det vil senke behovet for hyppige sorteringer, da all fisk vil få mulighet til å spise. Vi antar imidlertid at fôret bør komme porsjonsvis (støtvis) for settefisk, med ca 10 minutters mellomrom, slik at en unngår dominante individer som hele tiden klarer å ta store deler av fôret. Ved å fôre ut i små porsjoner vil slike dominanter ikke klare å spise så mange fôrpartikler som de ville ha gjort dersom en og en partikkel ble presentert.

Kunnskapen om laks i settefiskfasen er etterhvert blitt detaljert. Den er imidlertid ikke tilsvarende god for laks i sjøfasen. Laksen vil i naturen endre atferdsmønster rett før og under utvandringen. Den slutter da å ha territoriell legning og blir stimende. Dette er ingen brå overgang, og vi har ikke god nok kunnskap om hvordan eksempelvis lysmanipulert smolt gjennomfører dette atferdsskiftet. Noen undersøkelser på naturlig utvandrende laksefisk synes å tyde på at dominanshierarkier etablert i ferskvann kan holde seg flere måneder etter utvandring. Generelt vil sjøvannstilvendt laks være stimende, aggresjonshandlinger observeres sjelden eller aldri, og det er evnen til å beherske "scramble competition" som for en stor del vil avgjøre individets fôrintak ved knapphets-situasjoner. Følgelig vil ikke aggresjonsskader oppstå på laks ved normal drift i sjøvann. § 14 (skade skal ikke voldes) i lov om dyrevern av 20. des 1974 synes således ikke å komme til anvendelse for matfiskproduksjon i

denne konkrete sammenhengen. Fisken vil ikke lenger ha behov for hyppige fôringer blant annet fordi (a) atferden er endret og (b) laksen nå vokser relativt sett langsommere enn yngre fisk, og (c) den generelt oppdrettes ved lavere temperaturer. Forsøk utført ved HI Austevoll Havbruksstasjon har vist at fôring til metthet to ganger pr dag er tilstrekkelig for laks i sjøfasen.

Foruten evnen til å beherske "scramble competition" (avgjørende vil være svømmeevne, syn etc) vil også fiskens **spisemotivasjon** (appetitt) være helt sentral. En fisk som er mett vil ha lav spisemotivasjon, en sulten fisk vil ha tilsvarende høy spisemotivasjon. Men det er ikke bare hvor mye fisken har spist tidligere som bestemmer spisemotivasjonen. Hvis fisken er kjønnsmodnende, men ennå ikke har startet gonadeoppbyggingen (februar til mai), vil den spise og vokse mer enn fisk som ikke er i modning. På denne måten vil kjønnsmodningen kunne endre spisemotivasjonen, noe som ble vist i forsøk ved Austevoll Havbruksstasjon våren 1990 (Tuene og Holm 1990).

Blir fisken stresset av høy tetthet ?

I de fleste undersøkelser av tetthet er begrepet "**stress**" trukket inn i diskusjonen. Stressbegrepet har en noen annen betydning i dagligtale enn det har i fiskefysiologisk sammenheng. Stress er en tilstand som er igangsatt av endringer i fiskens miljø. Det ytre stimuli kalles gjerne en stressor. Stress-tilstanden vil ha to utløp; enten venner fisken seg til sine nye miljøforhold, eller så klarer ikke fisken dette og dør til slutt. En skiller gjerne mellom to hovedtyper stress; **akutt** stress og **kronisk** (vedvarende) stress. Spesielt ved kronisk stress må fisken kompensere fullstendig for virkningen av stressor. Ved akutt stress kan fisken frisette energi for flukt, kamp eller andre tiltak. Når fisk måles og veies oppfattes dette som et akutt stress, og etter er en stund vil fisken ha gått tilbake til en tilsynelatende normal tilstand.

Både akutt og kronisk stress vil være energikrevende, og en regner derfor med at begge typer stress generelt gir reduksjon i tilvekst. Inntreffer ikke tilvekstreduksjon må en enten anta at fisken ikke opplever et stress, eller at stresset har et så lavt nivå at det ikke gir statistisk sikreutlag. En kan

også tenke seg at fisk fôret i overskudd kan øke forinntaket for å kompensere for et marginalt stress.

FISKETETTHET SOM PROBLEM I OPPDRETTSFORVALTNINGEN

Sterkt medvirkende til fokuseringen på tetthet i matfiskproduksjon av laks er at konsesjon har vært gitt med en volumbegrensning. Så lenge oppdretteren ikke hadde andre offentlige begrensninger av virksomhetens omfang enn dette, fikk en oppdrettsanlegg med et belegg som til sine tider antagelig var høyere enn ønskelig. Når samtidig presset for å redusere kostnadene økte, tilsa også foretaksøkonomiske hensyn at en økte tettheten i den enkelte oppdrettsenhet. Dette aktualiserte arbeidet med å finne alternative reguleringsformer til volum. Antatte sammenhenger mellom mottagelighet for sykdom og tetthet førte også til styrking av ønsket om å komme vekk fra volumbegrensningen. Dette har nå manifestert seg som et påbud om maksimal tetthet ($25 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ i.h.h.t. forskrift om etablering og drift av oppdrettsanlegg, Melding fra Fiskeridir. J-121-91, §10). Ønsket om produksjonsbegrensning sammenfaller med en slik begrensning.

Sett ut fra et **forvaltningsmessig synspunkt** er det derfor vesentlig å skaffe seg økt kunnskap om utslag av tetthet i oppdrett. Det hersker en rekke, til dels sterke oppfatninger om emnet, samtidig som det er gjennomført svært få forsøk som er av en slik kvalitet at resultatene er anvendelige for en tidsmessig forvaltning. Slik forskning er vanskelig, en må luke vekk flest mulig av de faktorer som samvarierer med tetthet for å kunne beskrive følgende årsakssammenheng:

(type 1)	Antall individer pr volum- eller arealenhet	Atferd, ----Fysisk--> kontakt	Effekt på vekst, helse, kvalitet, m.m.
----------	---	-------------------------------------	--

Videre må forsøkssituasjonen beskrives så godt at en kan avgjøre om resultatene er overførbare til en storskala driftssituasjon eller ikke. For de fleste forsøk i litteraturen er dette ikke gjort, og en må anta at de undersøker vel så mye følgende årsakssammenhenger:

(type 2)	Antall individer pr volum- eller arealenhet	--Meta--> bolisme (oks, amm. etc)	Effekt på vannkvalitet --Stress-->	Effekt på vekst, helse, kvalitet, atferd m.m.
----------	---	--------------------------------------	---------------------------------------	---

Ut fra resultatene fra LENKA-prosjektet (innsamling av bakgrunnsdata for utarbeidelsen av planverktøyet), ser en også klare sammenhenger mellom mengde fisk som kan oppdrettes i et område, og den effekt virksomheten har på vannkvaliteten i området. For oppdretteren vil dette framstå som en effekt av type (2). LENKA har knyttet god vannutskiftning til definisjonen til soner som er godt egnet til oppdrett.

I samtaler med praktiserende havbruksveterinærer framkommer det en klar formening om at fisketetthetsens innflytelse på faren for sykdomsutbrudd er sterkt avhengig av vannkvaliteten som fisken opplever. For eksempel hevdes det at risiko for sykdom på liten fisk ved høy temperatur selv ved moderate tettheter er relativt stor, mens faren for sykdomsutbrudd på stor fisk ved lav temperatur er liten selv ved høye tettheter. Ved stigende temperatur går vannets evne til å løse oksygen ned, og det blir mindre oksygen tilgjengelig for fisken, samtidig som fiskens oksygenbehov øker. Dette støtter ytterligere opp under antagelsen om at de fysiske-kjemiske forhold (type 2) vil være utslagsgivende ved tettheter som er lavere enn de tettheter hvor individtetthet som sådan vil være avgjørende (type 1).

TIDLIGERE UTFØRTE TETTHETSFORSØK OG PROBLEMSTILLINGER FOR PROSJEKTET "TILRÅDD TETTHET FOR LAKS"

De fleste tetthetsforsøk med laksefisk har vært utført på ungfisk (yngel og parr). Spesielt eldre forsøk konkluderer med varige eller fatale tetthets-effekter (Tabell 1). De to eneste mærforsøkene med større fisk som vi finner publisert internasjonalt de siste ti årene konkluderer således. Ingen av disse er utført på laks. Vannkvaliteten (først og fremst $\text{NH}_4\text{-N}$ og O_2) er helt avgjørende for fiskens reaksjoner på denne typen oppdrett (se f.eks. Soderberg og medarbeidere 1983, Poston og Williams 1988, Fivelstad, Bergheim og Tyvold 1991). En kan følgelig ikke generalisere ut fra resultater fra oppdrettsforsøk hvor en ikke har kompensert for endringer i vannkvalitet.

Dersom en kompenserer for endring i vannkvalitet, blir bildet langt mer variert (Tab. 1; nedre del). Flertallet av undersøkelser konkluderer med at det er ingen klare eller bare forbigående tetthetsrelaterte effekter.

Tabell 1: Oversikt over litteratur som omfatter tetthetseffekter på laks og ulike arter stillehavslaks (herunder regnbueaure). Referanser merket med ^L er laks, ^M er mæroppdrett i sjøvann .

Forsøksdesign	Forfatterernes konklusjon		
	Ingen klar tetthetseffekt	Forbigående tetthetseffekt	Varige eller fatale tetthetseffekter
Kompenserer ikke for endret vannkvalitet			Papoutsoglou et al (1987) ^M Refstie (1977) Fagerlund et al (1981) Dalsgaard (1986) Teskeredzic et al (1986) ^M Atay et al (1988) Baker & Ayles (1990) Sower & Fawcett (1991) Refstie & Kittelsen(1976) ^L Fenderson & Carpenter (1979) ^L Schreck et al (1991)
Kompenserer for endret vannkval. ved å øke gjennomstrømning	Blackburn & Clarke (1990) Laidley & Leatherland (1988) Kjartansson et al (1988) ^L		Holm et al (1990) Holm et al, in prep. ^L Patiño et al (1986)
Kompenserer for endret vannkval. ved hjelp av oksygenering eller sikrer jevnt oksygen-nivå på annen måte	Soderberg et al (1983) Soderberg & Meade (1987) ^L	Wedemeyer (1976) Medland & Beamish (1985) DA1, denne rapp. ^L	DA1-3, denne rapp. ^L

Flere av forsøkene i Tabell 1 er gjort over forholdsvis kort tid. Dette på tross av at flere mer grunnleggende fysiologiske studier på regnbueaure og vanlig brunaure viser at det skjer en **tilvenning** (akklimering) til økt tetthet etter en varierende tidsperiode (Simpson 1975, Wedemeyer 1976, Pickering & Stewart 1984).

Grunnleggende arbeidshypotese

Det er derfor rimelig grunn til å anta at følgende gjelder for laks i mæroppdrett i saltvann:

Siden miljøforholdene i en oppdrettsmær er et resultat av kvaliteten på tilført vannmengde, raten til denne tilførselen samt den rate fisken i oppdrettsmæren endrer disse forholdene med,

og at fisken akklimatiserer seg fysiologisk og atferdsmessig til endrede tettheter,

vil det som vanligvis betegnes som tetthetseffekter i mæroppdrett av laks være knyttet til vannkvalitet og fluktuasjoner i denne.

Dette medfører igjen at oppdrettskapasiteten i den enkelte mær også varierer gjennom døgnet, med årstiden, fiskestørrelse, fôringsregime m.m. Kapasiteten vil også være svært ulik fra lokalitet til lokalitet grunnet naturgitte forhold og annen menneskelig aktivitet (jfr. LENKA).

Forsøk som på et sikkert vitenskapelig skal beskrive dette vil lett bli særdeles komplekse og i praksis ugjennomførlige. Resultatene vil lett få lav nytteverdi for oppdretter som driver i et fluktuerende miljø (grad av variasjon i den enkelte parameter vil i seg selv ha innflytelse). Også for forvaltningen vil slike resultater ha lav verdi da en ikke rår over en så detaljert lokalitets- og driftsbeskrivelse som anvendelsen av slike resultater vil kreve.

Prosjektet "Tilrådd tetthet av laks" har derfor funnet det mest fruktbart å demonstrere mulige tetthetseffekter i et stabilt, optimalt vannmiljø som vil være av generell verdi. Det kan tenkes livsfaser og forhold hvor miljøuavhengige effekter (type 1) kan bli utslagsgivende (overskygger type 2).

Prosjektets overordnede mål har vært å verifisere hvorvidt en øvre tetthet lar seg definere i matfiskoppdrett av laks, og om en (eventuelt) kan finne anbefalte verdier for tetthet.

I prosjektet har en derfor hatt følgende delmål:

- (1) Beskrive virkningen av kronisk høy tetthet på liten og stor fisk.**
- (2) Undersøke om laks i sjø kan tilvennes (høye) tettheter.**
- (3) Karakterisere effekt av tetthet på kjønnsmodning hos stor laks.**
- (4) Utrede sammenhengen mellom tetthet og fôring hos liten laks.**
- (5) Undersøke om sortering endrer effekter av høy tetthet.**
- (6) Karakterisere relativt oksygenforbruk og ammoniakkutskillelse¹**

B: SAMMENFATNING AV UTFØRT AKTIVITET

Det er utgitt to tidligere prosjektrapporter fra forsøket (Holm og Søreide 1991, Holm og medarbeidere 1991). Disse vil kunne gi en utdypning av resultatene gitt i den påfølgende delen av rapporten.

PROSJEKTETS FORSØKSGJENNOMFØRING [Materiale og metode]

De tre forsøkene som inngår i prosjektet (DA1-DA3) ble alle utført i et eget forsøksanlegg som ble etablert i prosjektets første fase. Forsøksanlegget består av tolv tremeters kar (7 m³) som hver har to vanntilførsler. Den ene gir råvann og den andre oksygenert vann av samme temperatur. Vannblandingen passerte en strømmåler før den ble introdusert i karet. Oksygennivå og vannutskiftning ble dermed regulert uavhengig av hverandre. Oksygenverdier under 8 mg/l i avløp medførte umiddelbar økning av andelen oksygenert vann i innløp. Dette ble kontrollert daglig. For alle forsøkene har hvert kar hatt en vanngjennomstrømning på 140 l/min introdusert i vertikalt spalteinnløp. Dette sikrer en god selvrensing. Forøvrig henvises det til nevnte prosjektrapporter.

Forsøkene er utført på individmerkede fisk (DA2 og DA3), eller på en blanding av individmerkede og umerkede fisk (DA1) hvor de merkede undergruppene ble fulgt spesielt. Karene hadde skyggenett (70% dempning) i alle tre forsøk.

¹ Delmålet ble vektlagt i liten grad da det i løpet av prosjektet ble utgitt artikler som dekket inn delmålet.

FORSØK DA1: EFFEKTER AV TETTHET PÅ STOR LAKS

Laks som hadde stått en vinter i sjø ble i begynnelsen av oktober 1990 overført fra mæranlegget på Sauaneset til tetthetsriggen, og ca 220 individer ble satt i hvert av 11 kar. Fisken ble gående i karene for tilvenning, og den tok raskt fôr. I dagene 22 -25.10.90 ble forsøket satt opp. All fisk ble veid og målt, samtidig som 1050 individer ble individmerket. Midlere lengde for merket og umerket fisk var 52,2 cm og snittvekten 1325 g. Fisken ble fordelt i tre paralleller med fire ulike tettheter (ML: 50 fisk/kar, L: 100 fisk/kar, M: 200 fisk/kar og H: 400 fisk/kar), se forøvrig tabell 2.

Forsøket ble ettersett daglig (unntatt søndager), og antall døde fisk er tatt opp og notert. På virkedager ble de fleste døde fisk dissekert, og en prøvde å dyrke opp bakterier på selektivt medium for furunkulose. Det ble også fiksert vev for ILA-verifisering. Fisken hadde ved innsetting en relativt høy infeksjon av lakselus, men ny lus rekrutterte ikke i nevneverdig grad, slik at lakselusinfeksjonen var synkende gjennom hele forsøket. Kalkulerte fôrrasjoner er gitt hvert tiende minutt med transportbåndautomat. Fôrtildeling skjedde bare i dagslys.

Måling av fisk ble foretatt etter 33 dager (ultimo november), etter 71 dager (medio januar), etter 133 dager (medio mars) og ved avslutning dag 180 (primo mai). Omfordeling ble foretatt ved dag 73. Omfordeling ble gjort for de tre høyeste tetthetene (L, M og H) slik at 1/3 av merket fisk ble beholdt i karet, mens 1/3 ble overført til hver av de to andre tetthetene. Dermed framkom i alt ti grupper (tabell 2). Gruppekoden brukes videre i rapporten.

Tabell 2: Forsøksoppsett; DA1 tilvenning til tetthet. Tetthetskodene (andre og tredje kolonne er ideelle, dødelighet er ikke fratrukket. Tetthetene (fire kolonner til høyre) er reelle snittverdier.

Gruppe- kode	Tetthetskode		Tettheter (kg·m ⁻³)* ved dag				
	Dag 1 - 73	Dag 73 - 180	001	071	073	132	180
ML-ML	50/kar	50/kar	9,4	12,1	12,1	12,8	13,9
L-L	100/kar	100/kar			24,8	25,3	26,5
L-M	100/kar	200/kar	18,7	24,8	47,1	48,7	56,4
L-H	100/kar	400/kar			88,3	100,2	109,7
M-L	200/kar	100/kar			24,8	25,3	26,5
M-M	200/kar	200/kar	37,5	47,1	47,1	48,7	56,4
M-H	200/kar	400/kar			88,3	100,2	109,7
H-L	400/kar	100/kar			24,8	25,3	26,5
H-M	400/kar	200/kar	76,7	88,3	47,1	48,7	56,4
H-H	400/kar	400/kar			88,3	100,2	109,7

* Grunnet prøveuttak av fisk blir biomasseøkningen lavere enn det den individuelle tilveksten skulle tilsi.

All fisk ble veid ved hver måling, og individmerket fisk ble i tillegg lengdemålt (og merkenummer notert). Ved dag 133 ble dessuten all fisk stikkvaksinert mot furunkulose. Dette var første gangs vaksinasjon. Merket fisk ble gitt Norvax™, umerket Furogen™.

Systematiske registreringer av nivåer for oksygen og total ammoniakk i avløp ble gjort kjemisk (Winkler, spektrofotometrisk) for følgende datoer: 13.11.90; 20-21.11.90, 05.12.90, 28.01.91 og 04.02.91. Blodprøver av 100 metomidatbedøvet fisk (25 fra hver behandling) ble tatt 05.11.90; 26.11.90, 10.12.90 og 07.01.91. Etter omfordelingen ble det tatt prøver fra 10 fisk fra hver behandling (tilsammen 100 individer) 18.01.91 og 08.02.91. Prøvene ble tatt bl.a. for å kunne beregne andel røde blodlegemer (hematokritt), hvite blodlegemer (leukokritt), ioneinnhold i plasma (osmolalitet) samt plasmaglukose.

Ved siste blodprøvetaking ble det gjort fargemåling ved et Minolta CR-200 Chroma Meter™ som velvillig ble utlånt fra Matre Havbruksstasjon. Slike

fargemålere er vanlig i bruk når en trenger helt objektive fargemål, eksempelvis ved studiofotografering, malingsfabrikasjon og gulsottkontroll av nyfødte. På laksen målte vi tre ganger på hver av tre posisjoner i rett dorso-ventral linje fra ryggfynnens fremre basis (rygg, midtlinje og buk).

Målene som ble avlest er relevante som miljøfargemål. Miljøfarge (mørk/svart fisk) er grunnlag for å nedklassifisere ellers superior fisk til ordinær. Det er tre snitt-tall som avleses for hver posisjon og som karakteriserer fargen entydig. L-verdien er høy for hvite overflater, og lav for mørke/svarte overflater. Dette målet kalles lyshetsgrad i denne rapporten. Videre avleses en a-verdi (positiv verdi: rød, negativ: grønnlig farge) og en b-verdi (positiv: gulaktig, negativ: blålig farge).

Ved avslutning av forsøket ble all fisken kvalitetsbedømt eksteriørmessig som superior, ordinær, produksjon eller utkast. Fisken ble så overført til mærer hvor den ble holdt fram til begynnelsen av juli måned. Den ble da slaktet, og gonadene kontrollert m.h.p. kjønnsmodning.

FORSØK DA2: EFFEKTER AV TETTHET OG FØRINGSREGIME

Sjøvannstilvendt smolt ble satt inn i karanlegget mai 1991 i henhold til opprinnelig tidsplan. Fisken fikk finneråtelignende infeksjoner (vesentlig på og ved halefinnen) i godt en måned etter dette, slik at vekstmålingene ble startet først 2-4.juli. Fisken gikk i forsøk fram til 3-5.september. Forsøket har gitt individuelle vekstmålinger på 1706 individer holdt under seks ulike behandlinger. Forsøksoppsettet bestod av kombinasjoner av to tettheter (lav og høy, henholdsvis ca 150 og 450 pr kar) og tre fôringsregimer (kontinuerlig fôring, 10 min intervall og 60 min intervall) i to paralleller. Omlag 150 fisk var individuelt merket i hvert kar. Fiskens ryggfinner ble undersøkt 56 dager etter sjøvannsoverføringen (tidlig i selve forsøksperioden).

FORSØK DA3: EFFEKTER AV TETTHET OG GRAD AV STØRRELSES-SORTERING HOS LITEN LAKS

Forsøket ble startet i begynnelsen av september, og avsluttet i begynnelsen av desember. Det ble operert med to tettheter, ca 95 (2,3 kg/m³) og 280 (6,8 kg/m³) fisk pr kar. I løpet av fisken nådde karene tettheter på maksimalt 20,5 kg/m³. Fisken var tilvendt høy og lav tetthet ved

forsøksstart (fra DA2). All fisken ble først målt og veid, og umerket fisk merket. Deretter ble alle måledata behandlet med EDB, og det ble konstruert tre ulike fordelinger med få fisk (lav tetthet) og mange fisk (høy tetthet) i to paralleller (tilsammen 12 kar). Disse ble laget slik at fordelingen "smal" hadde et standard avvik på 8% av snittverdien (simulerte sortert materiale), "normal" var en normalfordeling med et standardavvik på rundt 18-19%, og "bred" var en meget bred og flat størrelsesfordeling med et standardavvik på 27-30%. Alle fordelinger ble testet mot hverandre, slik at en kontrollerte at fordelingene statistisk sett var ulike, og at det ikke var forskjeller mellom kargrupper med lik fordeling. Deretter ble nummerlister for det enkelte kar skrevet ut, og fisken fordelt etter disse. Oppsettet framgår av tabell .

I løpet av forsøket ble det påvist furunkulose systemisk i død og døende fisk fra tre kargrupper (nr 6, 8 og 12, alle med høy tetthet), og fisken ble medisinerert med oksytetrasyklin i fôret etter bekreftet diagnose og foreskriving fra veterinær. Dødeligheten oversteg ikke 20% i mest angrepet gruppe.

Forøvrig ble fisken fôret i overskudd hvert tiende minutt fra automat.

SAMMENDRAG AV RESULTATENE

Det henvises til de ulike delrapportene for en fullstendig utdyping av resultatene. For å lette oversikten er det bare konklusjoner og vesentlige resultater som er medtatt i den følgende presentasjon.

FISKETETTHET OG VANNKVALITET

Mengden fisk pr enhet vannvolum påvirker vannkvaliteten, i forsøk ble dette vist for oksygen og ammoniakk.

Det ble observert klare sammenhenger mellom biomasse og fiskens oksygenforbruk. Mengden oksygen i vannet som ble tilført de ulike tetthetene ble justert slik at all fisk hadde lik tilgjengelighet m.h.t. oksygen. En antok at variasjonen i oksygennivået var større for kargrupper med høy biomasse sammenlignet med lav biomasse. Variansanalyse ga ikke støtte for dette. Det var klare sammenhenger i nivå av totalammoniakk og mengden fisk i karet. Mengden uionisert ammoniakk

(den giftigste formen) stiger ikke proporsjonalt med karbelegget. Lavere temperatur gir lavere konsentrasjoner av både totalammoniakk og uionisert ammoniakk.

TILVEKST SOM RESULTAT AV FISKETETTHET

Laks over 1 kg viste en vekstmessig tilvenningseffekt til tetthet. Tilsvarende effekt for mindre fisk ble ikke vist.

Ved avslutning av DA1 lå snittvekten på alle kargrupper, så nær som en, på over 2 kg (Fig.1). Det var statistisk sikre forskjeller mellom karet med den minste fisken (kar 2A, 200 fisk) og to av karene med størst snittvekt (kar 5A, 200 fisk; kar 6V, 50 fisk). Det var også statistisk sikker forskjell mellom kar 4V (200 fisk) og kar 6V (50 fisk). Sammenlignes sammenslått materiale med hensyn til behandling, er det bare statistisk sikker forskjell på størrelsen av fisk holdt ved tetthet 50/kar (ML) og tetthet 400/kar (H).

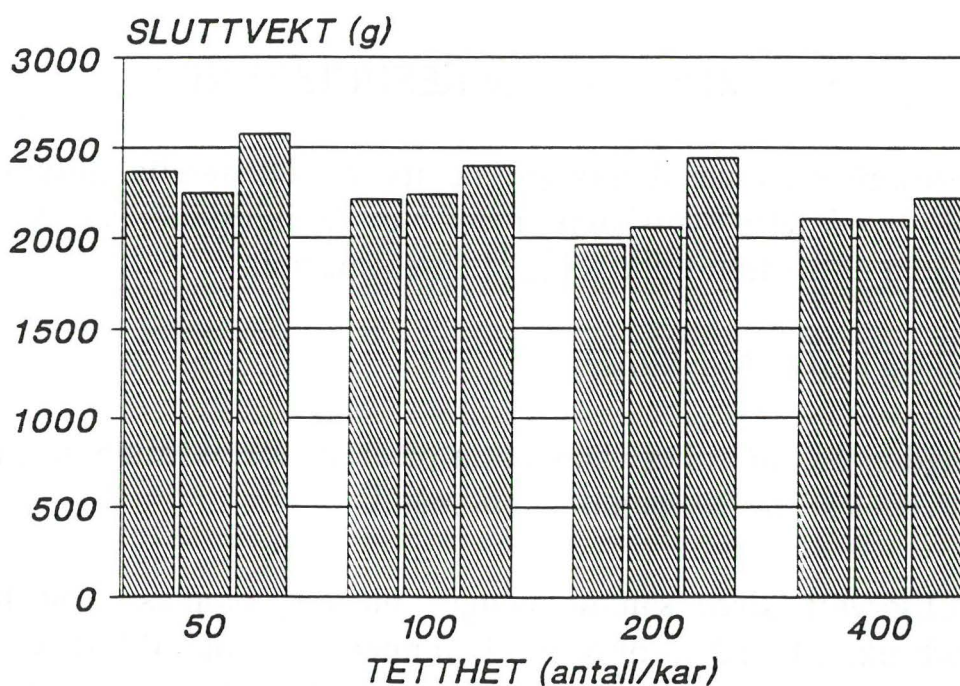


Fig.1: Sluttvekt i kargruppene uke 19 1991.

Vekstratene i de ulike tetthetene viste at en i vekstperiode 2 fikk en klar vekstkompensasjon. Ombytting mellom ulike tettheter ble gjort etter vekstperiode 2, og vekstresponsen i periode 3 var svært lik periode 1, bortsett fra at fisken generelt vokste langsommere grunnet lavere temperatur (Fig.2). I periode 4 ser vi at fisken vokser likt, men vi kan ikke observere en fullstendig vekstmessig kompensasjon som i periode 2. At det likevel inntreffer en viss kompensasjon ser en ut fra hvor lik vekstraten i periode 3 og 4 er for laveste tetthet, mens ratene øker klart fra periode 3 til 4 for alle de øvrige tetthetene. Dette fører til at sluttvektene ikke blir mer ulike enn de blir.

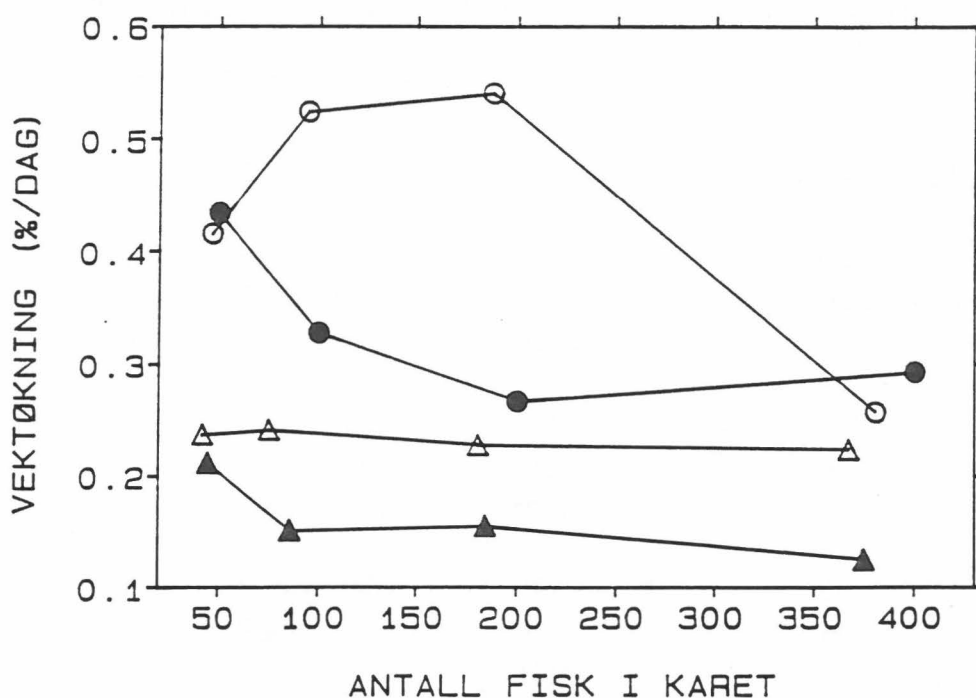


Fig.2: Vekstrater som funksjon av de ulike tetthetene. Fylte sirkler er første vekstperiode (dag 1-33), åpne sirkler er andre vekstperiode (dag 33-71). Deretter byttes fisken innbyrdes mellom de tre høyeste tetthetene. Tredje vekstperiode (dag 73-132) er vist med fylte trekkanter, og fjerde vekstperiode (dag 132-180) med åpne trekkanter.

Deler en opp materialet i den tetthetsbehandlingen som er foretatt, framkommer sluttvektene gitt i tabell 3. Det framkom ikke signifikante

forskjeller mellom fiskegrupper som hadde samme tetthet i periode 1 og 2. Det er svært få ulikheter generelt, det eneste er at H-M er signifikant ulik L-L og M-M. Variasjonen er signifikant påvirket (enveis ANOVA, $p=0,003$), og det er minst variasjon ved høyest tetthet. Korrigerer en variasjonen for størrelse (beregner variasjonskoeffisienten CV som uttrykker variasjon som prosent av snittverdi), finner en et mer utvasket mønster. Av dette følger at endel av spredningen er et resultat av tilveksten.

Tabell 3: Sluttvekt for fisken splittet på de ulike behandlingene. Tetthet er angitt i planlagt antall fisk/kar. Kolonnen n er antall fisk som inngår i snittvektene. Variasjonskoeffisienten (CV) er et størrelseskorrigert variasjonsmål.

Kode	Tetthet i periode		n	Snittvekt (g)	SD (g)	Variasjonskoeff. CV (%)
	1+2	3+4				
ML	50	50	119	2392	797	33,3
L-L	100	100	72	2439	875	35,9
L-M	100	200	80	2227	848	38,1
L-H	100	400	84	2160	667	30,9
M-L	200	100	67	2253	864	38,3
M-M	200	200	59	2330	704	30,2
M-H	200	400	58	2270	836	36,8
H-L	400	100	71	2190	639	29,2
H-M	400	200	66	1970	688	34,9
H-H	400	400	71	2031	657	32,3

Forøvrig indikerer tabellen at ved tettheter på 100/kar og 200/kar reagerer fisken med lavere vekst ved overføring, sammenlignet med konstante tettheter. Forskjellene er ikke statistisk holdbare, men interessante i forhold til tidligere rapporterte resultater.

I forsøk utført med nettopp sjøutsatt fisk (DA2 og DA3) oppnådde en ikke en tilsvarende vekstmessig kompensasjon i forhold til tetthet. Dette kan forklares med nedarvede trekk i fiskens biologi. Dette er utdypet i statusrapporten for del 2.

BLIR FISKENS STRESSTILSTAND PÅVIRKET AV TETTHET ?

Målinger av kronisk stress (blodsukkernivå) viste vedvarende effekt av tetthet, men på lavt nivå. Det var ingen entydig sammenheng mellom mengde fisk i karet og målt kronisk stress.

Variasjonen i blodsukkerkonsentrasjonen [p-glukose] hos laksen i DA1 viste seg ved alle tidspunkt, unntatt en uke etter overføringen dag 73, å være påvirket av tetthetsbehandlingen (enveis ANOVA, $p < 0,05$). Sammenlignes snittverdiene for p-glukose fra de ulike tetthetene i perioden rett etter overføring fra mår og rett etter ombytting (henholdsvis dag 10-30 samt dag 80), ser en at fisk ved relativt høye tettheter (H og M) får en kraftigere stressrespons enn lavere tettheter (Fig.3). Ombyttingen representerer et tydelig stress for alle grupper. Senere inntreffer en akklimering. Verdiene er imidlertid så lave at fisken ikke kan karakteriseres som kraftig stresset i prøvetakingsøyeblikket. For prøvetakingstidspunktene etter ombytting dag 73 representerer ikke tidligere tetthet noen signifikant effekt på variasjonen (toveis ANOVA).

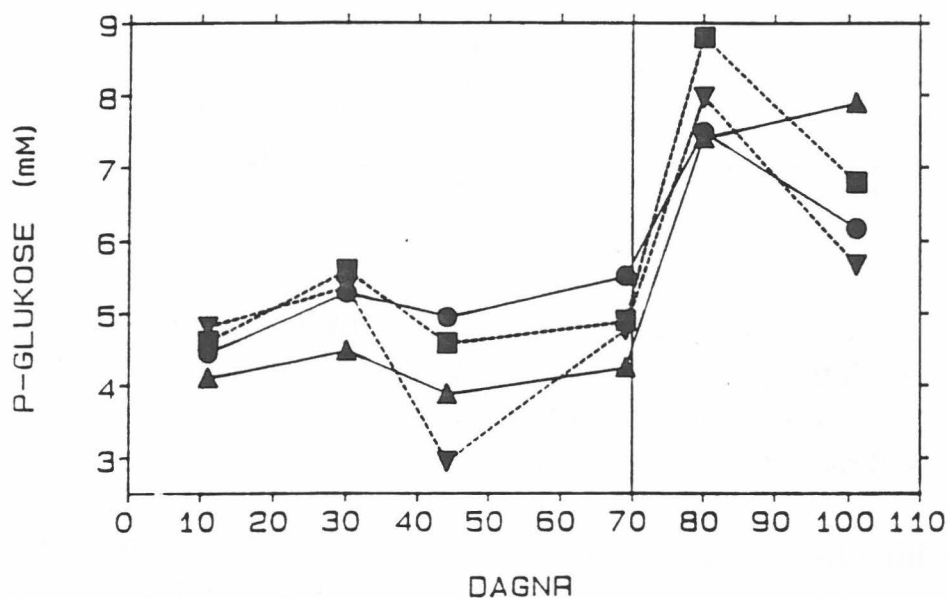


Fig. 3: Utvikling i plasmaglukose over tid. All merket fisk er medtatt. Fylte sirkler og heltrukken linje markerer tetthet ML, trekanten med spiss opp og heltrukken linje er tetthet L, snudde trekanten og stiptet linje er tetthet M, og firkanter med stiptet linje er tetthet H.

BLIR FISKENS HELSE PÅVIRKET AV TETTHET ?

Den store laksens mengde av hvite blodlegemer (leukokritt) var påvirket av tetthetsbehandlingen. Endring av tetthet ga relativt sett lavere leukokrittnivå enn for konstante tettheter. I DA3 fikk tre grupper med høy tetthet furunkuloseutbrudd, og disse gruppene utviklet høyere grad av størrelsesvariasjon. Målingene gir ingen entydige svar på i hvilken grad fiskens helsetilstand er påvirket av tetthet.

Reduksjoner i leukokritt regnes som et generelt tegn på nedsatt immunforsvar. Leukokritt svingte i takt med temperaturen i DA1 (Fig.4).

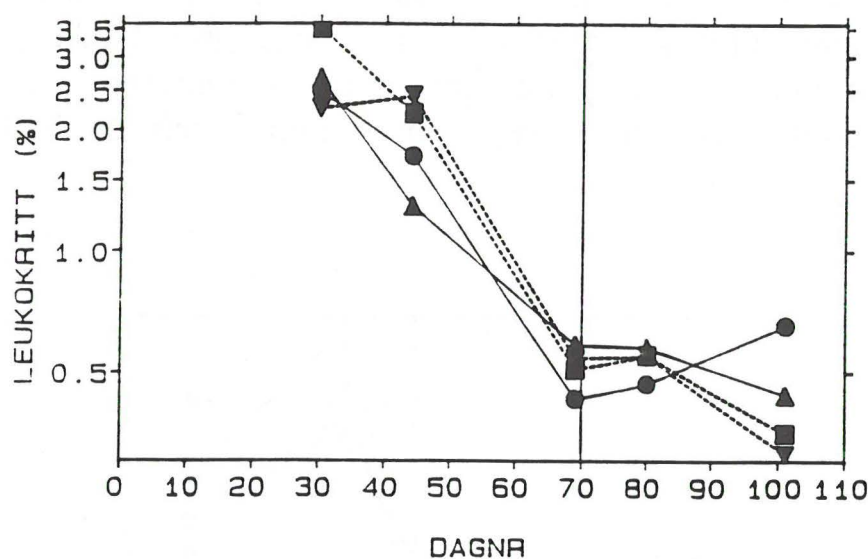


Fig.4: Utvikling i leukokritt over tid. I figuren er bare medtatt fisk som har opplevd konstante tettheter (etter dag 73: ML, L-L, M-M og H-H). Symbolbruk som i Fig.3. Y-aksen (leukokrittverdiene) er logaritmisk.

En uke etter blandingen av ulike tettheter foretatt på dag 73 (se tabell 2), framkommer et klart mønster i leukokrittnivå. Fisk som ikke har skiftet tetthet, sammenlignet med fisk som gikk på samme tetthet før dag 73, har uansett tetthet høyest nivå av hvite blodceller, og viser således effekt av forutgående og nåværende tetthet, samt interaksjonseffekt (Fig.5, toveis ANOVA, $p < 0,05$). Fisken viser bare respons på nåværende tetthet en måned etter tetthetsbyttet (Fig.6, enveis ANOVA, $p < 0,05$).

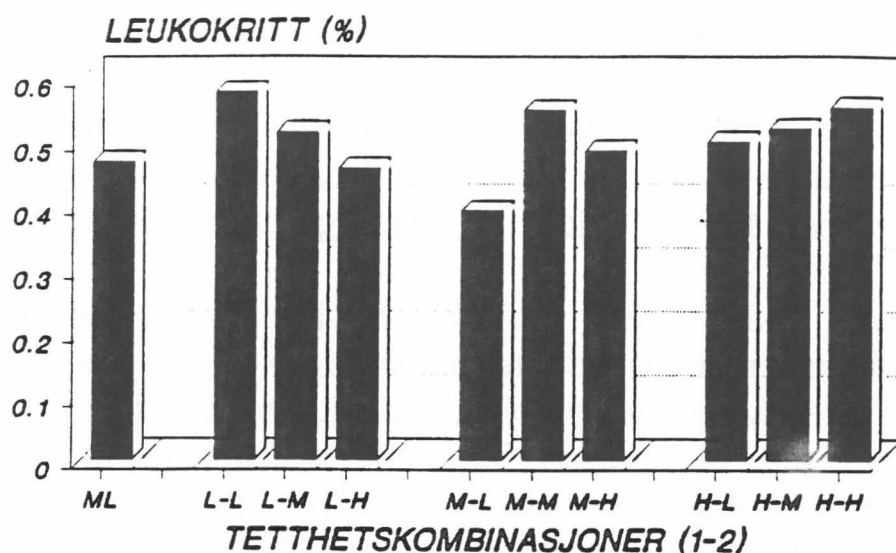


Fig.5: Effekt av tetthet på andel hvite blodceller (% leukokritt) hos laks dag 80, en uke etter omfordeling, jfr tabell 2.

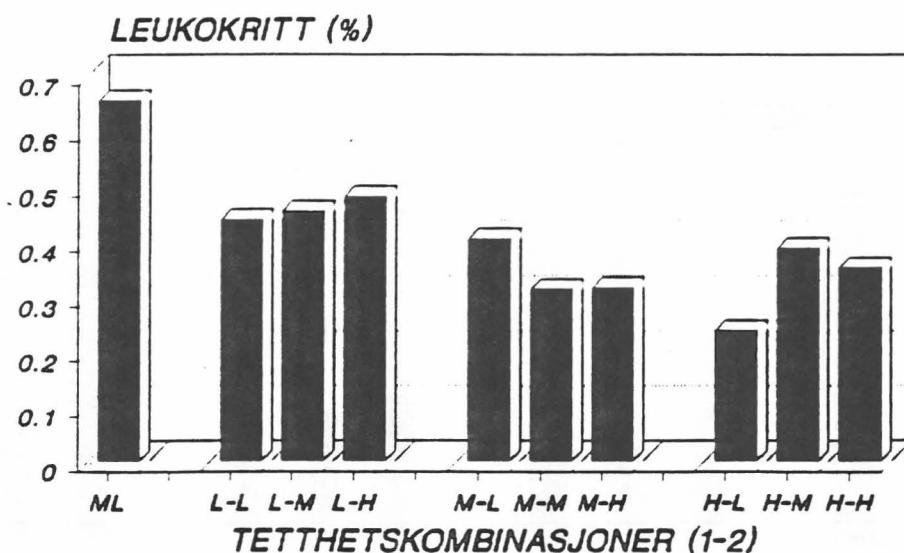


Fig.6: Effekt av tetthet på andel hvite blodceller hos laks dag 101, en måned etter omfordeling, jfr. tabell 2.

Fiskegrupper i DA3 som hadde furunkulose i forsøksperioden økte sin størrelsesvariasjon mer enn de øvrige gruppene, noe som var forventet. At utbruddet kom i tre grupper med høy tetthet kan skyldes tilfeldigheter (for få kargrupper fikk utbrudd til at en har fått statistisk sikkerhet). Dersom utbruddet likevel skal relateres til tetthet, kan dette muligens forklare ut fra at fisken, både i DA2 og DA3, ser ut til å få en redusert tilvekst når tetthet økes og følgelig er ingen tilvenning er observert. En forventer derfor heller ikke at fiskens sykdomsmotstand er uberørt av tetthet.

BLIR FISKENS SLAKTEKVALITET PÅVIRKET AV TETTHET ?

Fiskens slaktekvalitet var ikke påvirket av tetthetsbehandling, forutsatt at fisken ble gitt anledning til tilvenning. Eksponering i høy tetthet i en måned ga imidlertid miljøfarge (mørkere fargedrakt).

Lyshetsgraden målt med fargemåler ble klart påvirket av tetthetsbehandlingen en måned etter ombyttingen (Fig.7). Fisk fra laveste tetthet er generelt lysest både på rygg, ved midtlinje og i buken. Fisk som en måned tidligere ble overført fra lavere til høyeste tetthet er klart mørkere, og det observeres kraftigere miljøfarge jo større tetthetsendringen var. Fisk som opprinnelig ble oppdrettet på høyeste tetthet er en måned etter overføring til lav tetthet i snitt like blank som fisk oppdrettet mer enn tre måneder på de to laveste tetthetene. Resultatene underbygges av ulike variansanalyser.

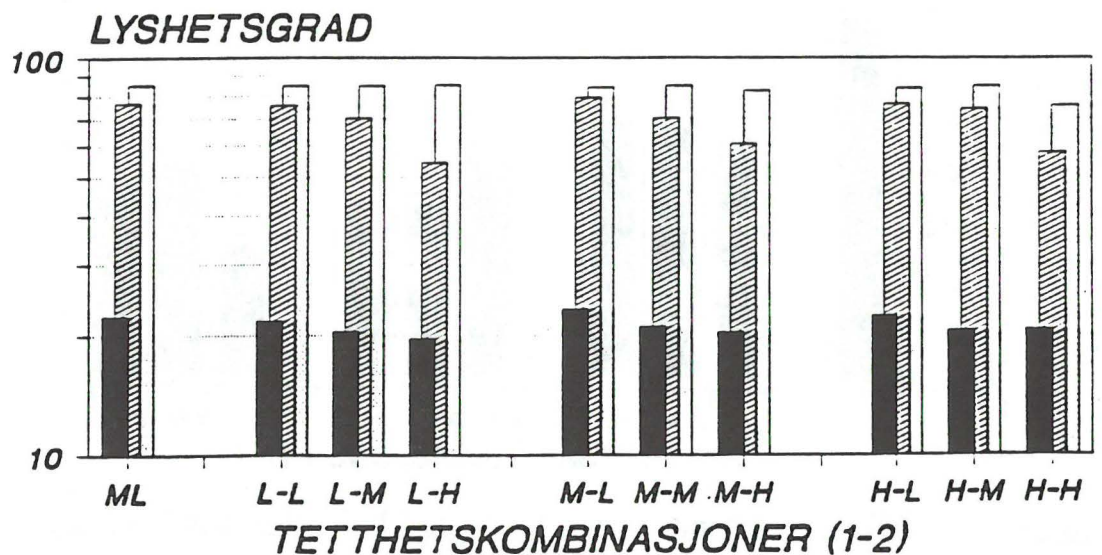


Fig.7: Effekt av tetthet på miljøfarge hos laks målt dag 101, tetthetskombinasjoner jfr tabell 2. Lyshetsgraden har logaritmisk akse. Svarte søyler er lyshetsgrad i ryggposisjonen, skravert i midtlinjen og svakt prikkete søyler er målt i buken (Måleposisjonene er gitt i delrapporten for fase 1).

Resultatene fra kvalitetsklassifiseringen viste at fiskens eksteriørbedømte slaktekvalitet ikke var synlig påvirket av behandlingene (Fig. 8). Generelt var 52 % av fisken av superior kvalitet, 30 % var ordinær, 12 % produksjonsfisk og 6 % utkast.

TETTHET

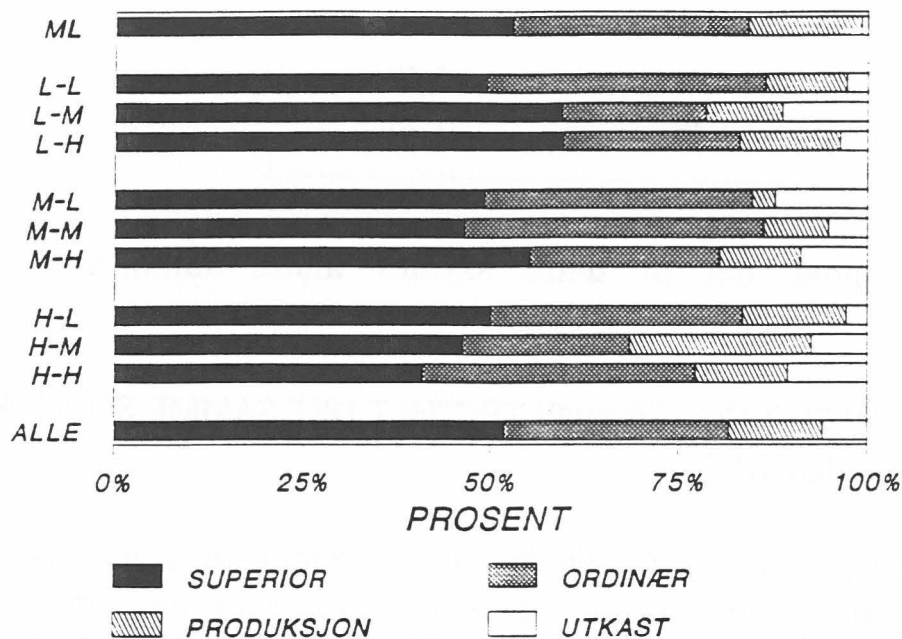


Fig.8: Kvaliteten på fisken ved avsluttet forsøk (uke 19). Fisken ble klassifisert uten at en kjente fiskens forutgående eksperimentelle behandling. Det er klassifisert minimum 56 fisk innenfor hver behandling, totalt 764 stk.

Gjennomgangen av kjønnsmodningsstatus viste ingen statistisk sikre effekter av kjønnsmodning.

ER FISKENS REAKSJON PÅ TETTHET STØRRELSESAVHENGIG ?

Forsøk med stor fisk ga klare holdepunkter om tilvenning til tetthet, forsøkene med liten fisk ga ikke tilsvarende resultater.

Som tidligere nevnt viste den store fisken tetthetsakklimering i vekstraten. Kombineres vekstresultatene fra DA2 og DA3, framkommer ikke tilsvarende endringer i vekstratene (Tabell 4)

Tabell 4: Tilvekstrater (vektøkning i % pr dag) hos liten fisk (60 - 600 g) gjennom to forsøk.

	Periode 1 (DA2)	Periode 2 (DA3)
Tetthet		
Lav	1,70	1,29
Høy	1,48	1,25

Det tas forbehold om at dette skyldes andre faktorer som er samvarierende.

PÅVIRKNING AV FØRING - ER HØY TETTHET DET SAMME SOM DÅRLIG FØRTILGJENGELIGHET ?

Smolt og liten laks selv måneder etter sjøvannstilvenning beholder et aggressivt atferdsmønster og en vekstmessig respons som tidligere er vist for lakseparr før overføring til sjøvann. Høy førtilgjengelighet ser ikke ut til å kompensere vekstmessig for høy tetthet.

I løpet av forsøksperioden DA2 hadde fisken en daglig vektøkning på ca 1,5%. Fisk holdt ved lavere tettheter vokste raskere enn ved høy tetthet, og fisk føret hvert tiende minutt vokste raskere enn ved de andre fôringsregimene (Fig 9).

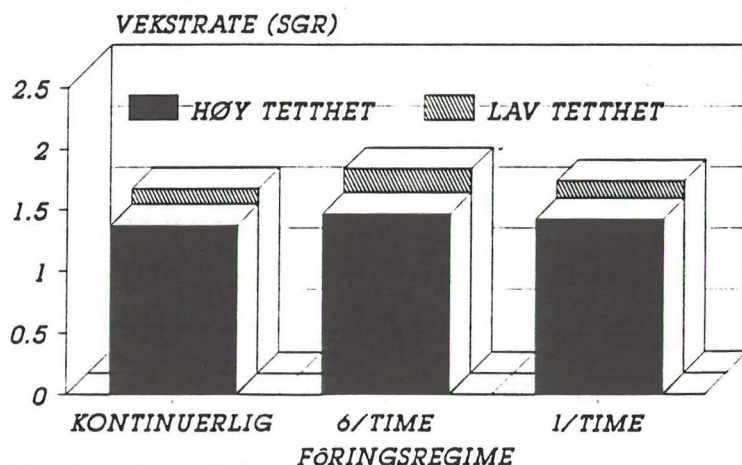


Fig. 9: Effekt av tetthet og fôringsregime på laks satt i sjøvann andre halvdel av mai.

Undersøkelsene av fiskens ryggfinner viste at omlag 3-16 % av individene hadde finneskade. Slike finneskader oppstår vanligvis etter aggresjon (biting). Fisken hadde ikke slike skader ved sjøvannsoverføring.

Innenfor den enkelte kargruppe vokser den uskadde fisken raskere enn den skadde i 10 av 12 tilfeller. Sammenslåtte vekstrater for hver behandling viser ikke like klare tendenser fordi parallelle kar vokser ulikt. Fisk med og uten skade hadde ikke ulik startstørrelse, slik at fiskestørrelsen forklarer ikke aggresjonsskadene. Det synes å være en klar positiv sammenheng mellom vekstrate i karet og innslaget av aggresjonsskader.

VIL TETTHETSEFFEKTER PÅVIRKES AV STØRRELSESSORTERING?

Det synes ikke å være nødvendig å størrelsessortere liten laks (200-500 g), og det synes å gi en gevinst å holde den nyutsatte fisken ved meget lave tettheter

Den relative størrelsesvariasjonen synes å bli større ved høy enn ved lav tetthet ut fra tabell 5. Ved toveis variansanalyse får en ikke dette utslaget, men kun signifikant effekt av interaksjonen mellom fordeling og tetthet ($p=0,016$). Dette betyr at den oppsatte variasjonen ikke lenger er statistisk påviselig i materialet ved avslutning, annet i samvirkning med tetthet.

Størrelsesvariasjonen har således økt i gruppene med smal variasjonsbredde, og har ellers holdt seg konstant eller sunket noe i de øvrige (framgår av tabell 5). Ingen av gruppene er signifikant forskjellige i sluttvekt.

Tabell 5: Fiskestørrelse ved start og slutt i DA3. Karnr merket med * fikk påvist utbrudd av furunkulose i løpet av forsøket.

Kar nr	Tetthet	Variasjon	Ved forsøksstart		Ved forsøksslutt	
			Snittvekt (g)	CV (%)	Snittvekt (g)	CV (%)
1	Lav	Smal	166,2	8,06	512,9	13,17
9			166,7	8,10	493,9	13,57
8*	Høy	Smal	166,8	7,90	477,1	14,80
10			166,7	7,76	490,0	14,43
5	Lav	Normal	165,4	17,24	492,7	16,82
11			167,7	19,34	500,1	17,00
4	Høy	Normal	167,5	18,76	487,6	18,84
12*			166,7	18,77	477,3	19,64
3	Lav	Bred	165,3	29,88	497,8	24,07
7			166,3	30,64	482,9	25,01
2	Høy	Bred	170,4	27,49	501,2	26,40
6*			170,7	27,84	487,6	28,00

Vekstraten i totalmaterialet påvirkes av tetthet, dette gjelder både middelerverdi og variasjon. Størrelsesfordelingen ved start påvirker ikke variasjonen i individuell vekstrate (toveis variansanalyse). For fisk av lik utgangsstørrelse (mellom 155 og 189 gram) innenfor de ulike fordelingene framkommer det ikke påviselige vekstforskjeller (tabell 6). Dette betyr igjen at den observerte størrelsesvariasjonen i tilvekst i det minste delvis er et resultat av vekstvariasjon hos de minste og/eller de største fiskene innenfor de respektive fordelinger. Dette påvirkes av tetthet men ikke av fordelingen som sådan.

Tabell 6: Vekst hos laks (SGR; prosentuell daglig vektøkning) av sammenlignbar størrelse (definert som snittverdi \pm SD innenfor den smaleste størrelsessorteringen, noe som gir et startvektintervall på 154-189 g). Det er ikke statistisk sikre forskjeller mellom noen av behandlingene.

Tetthet	Variasjon	SGR		n
		(%/dag)	SD	
Lav	smal	1,294	0,152	93
Høy	smal	1,260	0,153	331
Lav	normal	1,289	0,123	46
Høy	normal	1,254	0,166	175
Lav	bred	1,266	0,177	25
Høy	bred	1,276	0,155	93

SITERT LITTERATUR

- Andrews, R.V., 1979. The physiology of crowding. *Comp. Biochem. Physiol.* 63A: 1-6.
- Atay, D., Olmez, M., Gulen, A.S. and Bekcan, S., 1988. The effects of different stocking rates on the growth of rainbow trout (*Salmo gairdneri* R.) in concrete canals at the Cifteler Sakaryabasi Production Station. *J. Aquat. Prod.* 2(2): 22-33.
- Baker, R.F. and Ayles, G.B., 1990. The effects of varying density and loading level on the growth of Arctic charr (*Salvelinus alpinus* L.) and rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *World Aquaculture* 21(1): 58-62.
- Blackburn, J. and Clarke, W.C., 1990. Lack of density effect on growth and smolt quality in zero-age coho salmon. *Aquacult. Eng.* 9(2): 121-130.
- Dalsgaard, I., 1986. Microbiological investigations in marine aquaculture in Denmark (in 1982 and 1983): Vibriosis and furunculosis in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). In: Vivares, C.P., Bonami, J-R. and Jaspers, E. (Eds.). *Pathology in marine aquaculture. PAMAQ1*. pp. 205-216. *Spec. Publ. Eur. Aquacult. Soc.* 9.
- Fagerlund, U.H.M., McBride, J.R., and Stone, E.T., 1981. Stress-related effects of hatchery rearing density on coho salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.*, 110(5): 644-649

- Fenderson, O.C. and Carpenter, R.W., 1971. Effects of crowding on the behaviour of juvenile hatchery and wild landlocked Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Anim. Behav.* 19: 439-447.
- Fivelstad, S., Bergheim, A. and Tyvold, T., 1991. Studies of limiting factors governing the waterflow requirement for Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) in landbased seawater systems. *Aquacult. Eng.* 10: 237-249.
- Holm, J.C., Refstie, T., and Bø, S., 1990. The effect of fish density and feeding regimes on individual growth rate and mortality in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, 89: 225-232
- Holm, J.C. og Søreide, P.I., 1991. Prosjektet "Tilrådd tetthet for laks". Fase 2: Konsekvenser av tetthet. Statusrapport til Fiskeridepartementet 31.12.91. *Havforskningsinst. Rapp. Nr 27/1991/HSH/AH.12* sider.
- Holm, J.C., Søreide, P.I., Gokstad, S.L. og Kalvenes, S.W., 1991. Tilrådd tetthet for laks. Fase 1: Biologisk karakterisering av for høy tetthet. Sluttrapport til oppdragsgiver Fiskeridept. 01.04.91. *Havforskningsinst. Rapp.Senter for Havbruk L.nr 3/91.* 29 sider.
- Kjartansson, H.S., Fivelstad, S., Thomassen, J.M. and Smith, M.J., 1988. Effects of different stocking densities on physiological parameters and growth of adult Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) reared in circular tanks. *Aquaculture* 73(1-4): 261-274
- Laidley, C.W. and Leatherland, J.F., 1988. Cohort sampling, anaesthesia and stocking-density effects on plasma cortisol, thyroid hormone, metabolite and ion levels in rainbow trout, *Salmo gairdneri* Richardson. *J. Fish. Biol.* 33(1): 73-88
- Medland, T.E., and Beamish, F.W.H., 1985. The influence of diet and fish density on apparent heat increment in rainbow trout, *Salmo gairdneri*. *Aquaculture*, 47: 1-10
- Papoutsoglou, S.E., Papapaskeva-Papoutsoglou, E. and Alexis, M.N., 1987. Effect of density on growth rate and production of rainbow trout (*Salmo gairdneri* Rich.) over a full rearing period. *Aquaculture*, 66: 9-17.
- Patiño, R., Schreck, C.B., Banks, J.L., and Zaugg, W.S., 1986. Effects of rearing conditions on the developmental physiology of smolting coho salmon. *Trans. Am. Fish. Soc.* 115: 828-837.
- Poston, H.A., and Williams, R.C., 1988. Interrelations of oxygen concentration, fish density, and performance of Atlantic salmon in an ozonated water reuse system. *Progr. Fish-Cult.* 50: 69-76.
- Refstie, T., 1977. Effect of density on growth and survival of rainbow trout. *Aquaculture*, 11: 329-334.
- Refstie, T. and Kittelsen, A., 1976. Effect of density on growth and survival of artificially reared Atlantic salmon. *Aquaculture*, 8: 319-326.

- Schreck, C.B., Maule, A.G. and Slater, C.H., 1991. Stress affects the immune response and health of fish in aquacultural systems. *Program and abstracts, Second International Marine Biotechnology Conference (IMBC'91)* p. 58
- Simpson, T.H., 1975. Endocrine aspects of salmonid culture. *Proc. R. Soc. Edinb.* 75B: 241-252.
- Soderberg, R.W., Flynn, J.B. and Schmittou, H.R., 1983. Effects of ammonia on growth and survival of rainbow trout in intensive static-water culture. *Trans. Am. Fish. Soc.* 112(3): 448-451.
- Soderberg, R.W. and Meade, J.W., 1987. Effects of rearing density on growth, survival and fin condition of Atlantic salmon. *Prog. Fish-Cult.* 49(4): 280-283
- Sower, S.A. and Fawcett, R.S., 1991. Changes in gill Na⁺, K⁺-ATPase, thyroxine and triiodothyronine of coho salmon held in two different rearing densities during smoltification. *Comp. Biochem. Physiol.* 99A(1/2): 85-89.
- Teskeredzic, E., Teskeredzic, Z., Malnar, Z., Hacmanjek, M. and Margus, D., 1986. The effect of stocking density on growth and mortality of rainbow trout cultured in floating cages in the brackish water of the river Krka Estuary. *Acta Biol. Jugoslav.* 18(1): 41-46.
- Tuene, S. og J.C. Holm 1990. Vekst og atferd hos kjønnsmodnende laks. Statusrapport for NFFR-prosjekt 701.289. *Havforskningsinst. Rapp. Serie Akva* 23/90. 9 s.