

Optimal føringskapasitet og velferd for levende, villfanget torsk Del 2: Praktiske forsøk - uttesting av etasjeskiller for økt hvileareal

Av Odd-Børre Humborstad¹, Bjørnar Isaksen¹, Kjell Midling², Jostein Saltskår¹, Bjørn Totland¹
og Jan Tore Øvredal¹

¹Havforskningsinstituttet, ²Nofima Marin, Tromsø



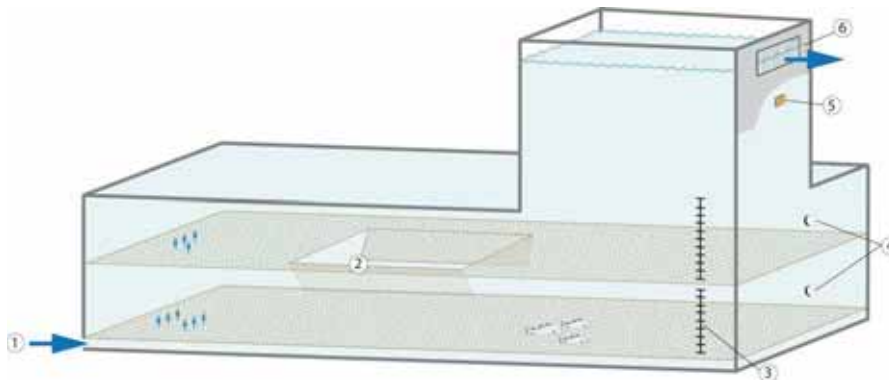
Optimal føringskapasitet og velferd for levende villfanget torsk

Del 2: Praktiske forsøk – uttesting av etasjeskiller for økt hvileareal

Odd-Børre Humborstad¹, Bjørnar Isaksen¹, Kjell Midling²,
Jostein Saltskår¹, Bjørn Totland¹ og Jan Tore Øvredal¹

¹Havforskningsinstituttet, Bergen

²NOFIMA Marin, Tromsø



50 % økning i føringskapasitet med etasjeskiller

Innholdsfortegnelse

1	Innledning.....	5
2	Materiale og metoder	5
2.1	Evaluering av etasjeskiller	7
3	Resultater.....	8
3.1	Føringskapasitet og effekt av etasjeskiller	8
3.2	Videoovervåking og DST merker	10
3.3	Oksygen og vanngjennomstrømming.....	12
4	Diskusjon.....	12
4.1	Føringskapasitet og effekt av etasjeskiller	12
4.2	Videoovervåking og DST merker	14
4.3	Oksygen og vanngjennomstrømming.....	15
5	Oppsummering/konklusjon	16
6	Referanser.....	17

1 Innledning

Fartøyet MS Trinto ble vinter/vår 2007/2008 utrustet med vannbehandlingssystem for trinnløs kontroll og overvåking av vanngjennomstrømming og etasjeskiller i en føringstank. Etasjeskilleren dobler hvilearealet i denne tanken. Den tekniske tilretteleggingen av fartøyet er rapportert i Isaksen m.fl. (2008). Prosjektet som rapporteres her er den praktiske uttesting av etasjeskiller for dobling av hvileareal.

Fangstbasert akvakultur har lange tradisjoner i Norge. Næringen har et betydelig potensial for økt verdiskaping, særlig for mellomlagring og oppføring av villfanget torsk. Et sentralt hinder for videre utvikling er kystflåtens begrensede kapasitet for restitusjon og føring av villfanget torsk. For å videreutvikle fangstbasert akvakultur som en lønnsom næring, må nye løsninger og teknologier for føring av vill fisk utvikles og utprøves. Teknologiene må ta hensyn til både fiskevelferd, føringskapasitet og driftsøkonomi.

Et fartøy som fører levende fisk har bare kapasitet til å transportere og levere en liten del av det volumet som kan leveres ved konvensjonell fangst (10-20 %). Fartøy som fanger og fører fangsten levende må derfor gjøre langt flere turer mellom fangstfelt og mottak enn konvensjonelle fartøy. Dette medfører økt tidsforbruk (inkl. lengre sesong og risiko for ikke å utnytte kvoten), samt økte kostnader til mannskap, drift og drivstoff. Innføringen av ny NOX-avgift aktualiserer innsparinger i forhold til drivstoffkostnadene ytterligere.

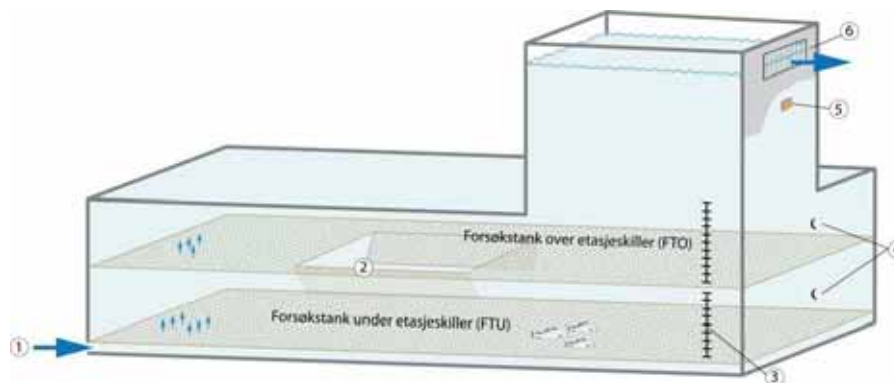
Riktig vannkvalitet og tankutforming er vesentlig for økt overlevelse av villfanget fisk og samtidig ivareta fiskens velferd. Vannbehandlingssystem brukt i levendefisknæringen har frem til nå nesten utelukkende bestått i vanngjennomstrømming med understrømsprinsipp, der sjøvann blir pumpet under perforert dobbeltbunn og avrenning på tanktopper i åpne systemer. Systemet ble utviklet som følge av tilstanden til nyfangst torsk med spesielle utfordringer og krav til tankutforming og miljø. Når nyfanget torsk lastes inn i fartøyet søker den straks ned mot det dypeste punktet i føringsrommet. De fleste legger seg tungt på bunnen og etter en hvileperiode av ulik varighet løfter fisken seg gradvis fra bunnen av tanken. På grunn av denne fordelingen av nyfanget fisk øker sannsynligheten for lokal oksygenmangel ved bunn av føringstankene, noe som forsterkes av at stresset fisk har høyere krav til oksygenmetning enn ustresstet fisk.

Hovedmålet med undersøkelsene var å vurdere nye konsepter for føring av vill torsk og finne optimal føringskapasitet med hensyn til fiskevelferd, overlevelse, mengde og økonomi. I det nye konseptet var det først og fremst betydningen av økt hvileareal ved hjelp av etasjeskiller som skulle undersøkes. Sentralt etter at fartøy kom fra verksted og ombygging var også å få gjennomført en test av fartøy for å sikre at alle systemer virket som de skulle.

2 Materiale og metoder

Forsøkene ble utført på Finnmarkskysten i to perioder, tre uker i april/mai 2008 og to uker i april/mai 2009. Første del i 2008 bestod mye i funksjonstesting mens forsøk i 2009 var en oppfølging for å få mer data på sammenligning av føringskapasitet i styrbord rom med etasjeskiller og babord rom uten etasjeskiller. Rommene (tankene) er heretter kalt henholdsvis referansetank (RT), forsøktank over etasjeskiller (FTO, figur 1) og forsøktank under etasjeskiller (FTU, figur 1).

I tillegg til utstyret beskrevet i Isaksen m.fl. (2008), ble det montert video og oksygenovervåking på utvannet både i referansetank og forsøktank. Tankene er utformet likt i utgangspunktet med unntak av etasjeskiller med luke for nedslipp av fisk i styrbord tank. Figur 1 viser en skjematisk fremstilling av forsøktanken.



Figur1. Skjematisk fremstilling av forsøktank.1) Vann med vannstrømovervåking tilføres via rør inn under perforert dobbeltbunn hvor vannet presses oppover. 2) Perforert etasjeskiller med luke for nedslipp av fisk.3) Målestaver for registrering av høyde av hvilende fisk. 4) Videokamera og lys. 5) Oksygenmåler på utvann. 6) Avrenning av vann. Areal er 16,6 kvadratmeter per flate, mens volum over og under etasjeskiller er henholdsvis 30 og 27,7 kubikk. Med unntak av etasjeskiller, en videoenhet og målestavsystem var referansetanken på babord side identisk rigget. Se ellers Isaksen m.fl. (2008) for detaljer om teknisk tilrettelegging. (Skisse laget av Anne-Britt Skar Tysseland, Havforskningsinstituttet).

Under alle forsøk ble vanntilførsel justert i forhold til oksygenmetning slik at det til enhver tid uavhengig av mengde fisk i rommene var en oksygenmetning på utvannet på ca 80 % og med en nedre grense på 70 %. Dette ble gjort for å utelukke oksygenmangel i vannet som årsak til eventuell dødelighet.



Figur 2. Overvåking av oksygenmetning i kombinasjon med trinnløsregulering av vanngjennomstrømming, begge fra berøringspanel, utgjorde en viktig del for gjennomføringen av forsøk. Begge systemer leses av og styres fra bro.

Generell adferd ble overvåket ved hjelp av tre kameraer; ett over og ett under etasjeskiller i forsøktank og ett i referansetank. Kamera ble koblet til overvåkings pc på broen hvor video fra tank kunne sees sanntid gjennom hele forsøket. Autoopptak ble gjort vha GEOVISION overvåkingssystem med ett 5 minutts opptak per time under alle forsøk. I tillegg ble det gjort opptak av inntaksprosessen ved flere anledninger og ellers ved behov. For å ha kontroll på tetthet av hvilende fisk ble det montert målestenger med 10 cm intervaller i front av kameraene. Adferd ble også kvantifisert vha DST merker for registrering av dybde i 2008.



Figur 3. Typisk skjermbilde fra videoovervåking (her fra forsøkstank under etasjeskiller). Luken i etasjeskiller er her åpen under innlasting av fisk. Midt i bildet ser vi målestang som ble brukt til å beregne tettheter av hvilende fisk. Stangen har merker for hver 10 cm. På bildet til venstre er det et lag på ca 20 cm fisk (ca 700 kg*m³) som ligger tett i tett oppå hverandre mens det til høyre er ett lag på ca. 50 cm (ca 650 kg *m³).

2.1 Evaluering av etasjeskiller

For å vurdere effekt av etasjeskiller var det nødvendig å etablere maks føringskapasitet for referansetank (RT, Tabell 1) denne ikke var benyttet til føring av levendefisk etter ombygging. Bestemmelse av føringskapasitet for referansetank ble gjort ved å starte forsiktig med lave tettheter av fisk og gradvis i suksessive forsøk øke tettheten. Tettheten ble økt inntil 5 % dødelighet ble nådd. Ved levering til mottaksanlegg ble dødelighet i rommet bestemt ved telling av død fisk etter levering i anlegget. Flytere ble plukket ut regelmessig fra innsetting av fisk til levering og er ikke regnet med i dødelighetsberegningene. Dette ble gjort fordi tidligere forsøk har vist at flytere dør innen kort tid om de ikke klarer å dykke til bunn av tanken igjen. Bestemmelse av føringskapasitet ble også fastsatt under etasjeskiller uten fisk over (FTU, tabell 1) og med fisk både over og under etasjeskiller (FTO + FTU, Tabell 1).

Under lossing av fisk er det nødvendig å senke vannstanden i tankene for å trenge fisk inn i mot vakuumsug. For å få til dette må man under lossing åpne luken i etasjeskiller så ikke fisken tørrelegges. Dette fører til i forsøk hvor man fastsatte overlevelse med fisk både over og under etasjeskiller bare får ett tall på overlevelse for hele tanken samlet sett.

Sorteringskriterier for fisk inn i båt ble fulgt etter gjeldende best kjente praksis. Kort fortalt består det i å sortere ut all fisk med synlige skader som sår, utstående øyne, ”slitte finner”, oppblåst buk (flytere) m.m., samt vurdere vitalitet og overlevingssevne ut i fra respons på håndtering. Eksempel på sistnevnte er om fisken ”spreller” på sorteringsbord, responderer på stimuli av spord- og øye refleks og slapphet/motstand ved løfting. Erfaringsmessig finner man den mest vitale fisken i de første sekkene som tas ombord, mens det mot slutten av ombordtaking ofte er høy andel av skadet og ”slapp” fisk med lav overlevingssevne. I alle forsøk ble derfor siste sekk slaktet ut og i forsøk utført i dårlig vær med mye ”vasking” av not og fisk frem og tilbake langs skutesiden under ombordtaking ble enten hele halet forkastet eller utslakting startet før siste sekk. Under forsøkene ble det lagt vekt på at sortering skulle gjøres av mannskap som hadde trening i dette. Fastsettelse av tidspunkt (sekk) for utslakting ble bestemt i hovedsak av skipper på grunnlag av observasjoner av fisk fra broposisjon og tilbakemeldinger fra sorteringsbemanning. For å forhindre hal til hal variasjon i sammenligningene mellom referansetank og forsøkstank, ble fisk ”sekkvis” fra samme hal

vekselvis sendt til de to tankene. For å få ønsket kvantum i de forskjellige forsøkene var det nødvendig å sette inn fisk fra flere hal i samme forsøk. Foruten de forsøk hvor det ble satt inn fisk over etasjeskiller ble det kun satt inn mer fisk om tiden fra første innsetting ikke oversteg 12 timer.

3 Resultater

Forsøkene i 2008 bar i noe grad preg av at M/S TRINTO ikke hadde vært i torskefiske siden ombygging fant sted. Dette førte til flere tekniske utfordringer av ulik karakter og omfang. Værforholdene under forsøkene i 2008 var også særs dårlige. I kombinasjon med uforutsette hendelser som ikke hadde med levendefangstingen i seg selv å gjøre gjorde at det i løpet av de tre ukene som avsatt til tokt i 2008 kun fikk gjennomført 5 godkjente runder med levendefangsting. Totalt sett hadde vi i løpet av av 21 døgn om bord, 5 døgn landligge pga tekniske problemer og 6 dager landligge som følge av for dårlig vær for levendefangsting. I 2009, som var oppfølgingstokt, var det satt av totalt 14 dager til forsøk. Det var fint vær i hele perioden, men varierende tilgjengelighet av fisk. Totalt fikk vi fire sammenligninger i 2009. De tekniske problemene vi hadde i 2008 var løst før sesongen 2009 og innsats rettet mot føringskapasitet ble prioritert.

3.1 Føringskapasitet og effekt av etasjeskiller

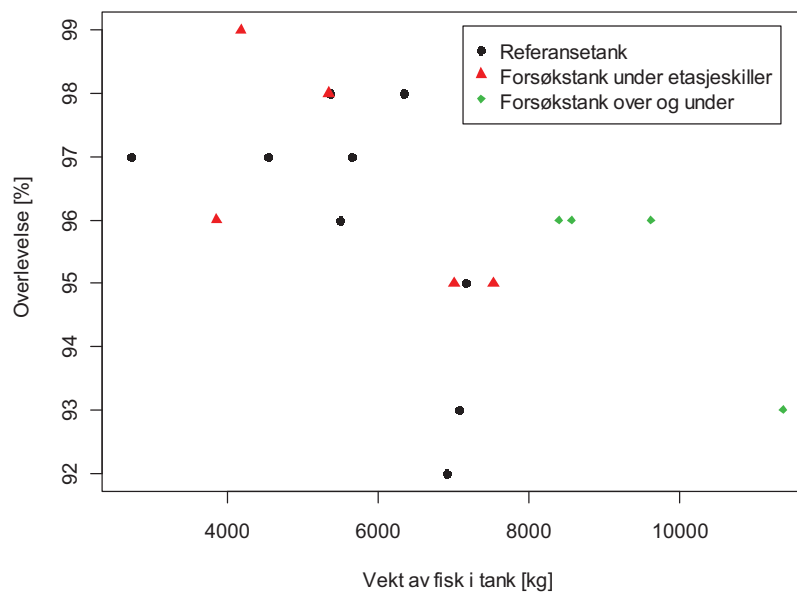
Det var generelt sett høy overlevelse på over 90 % i alle forsøk (tabell 1). Flytere som ble plukket ut fra tank etter innsetting utgjorde i alle forsøk under 3 % av totalt innsatt fisk. Det var ingen tendens til færre flytere etter innsetting i tank under etasjeskiller i forhold til referansetank, noe som tyder på at det meste av flytere kom til overflaten kort tid etter innsetting og før etasjeskiller blir lukket. Føringskapasitet i referansetank ble fastsatt ved suksessivt å øke mengden fisk i rommet over 9 forsøk (Fig. 4). Opp til ca 6500 kg lå overlevelse stabilt på rundt 96-98 %, mens det ved rundt 7000 kg ble observert dødelighet på 7 og 8 %. For å evaluere effekt av volum ble det i fire forsøk sammenlignet med fisk kun under etasjeskiller i forsøktank. Også her var det en økning i dødelighet til ca 5 % ved ca 7 tonn innsatt fisk, men her er tilgjengelig volum omtrent halvert i forhold til referansetanken. Trykket vil her også alltid være høyere enn 1.44 bar siden vannstand over etasjeskiller var 4,4 meter.

I fire forsøk ble det forsøkt å øke føringskapasitet i forsøktank utover 6,5 tonn som ble regnet som maks for referansetank. For kvantum opp til 9600 kg ble det registrert en dødelighet på kun 4 % mens det på 11 400 kg ble registrert dødelighet på 7 %. Dette ble vurdert til å være i overkant av maks føringskapasitet ikke bare pga økt dødelighet, men også pga full utnyttelse av tilgjengelig vann. I disse forsøkene oksygenmetningsverdier tidvis målt ned mot grensen på 70 % (Figur 4).

Tabell 1. Oversikt over forsøket.

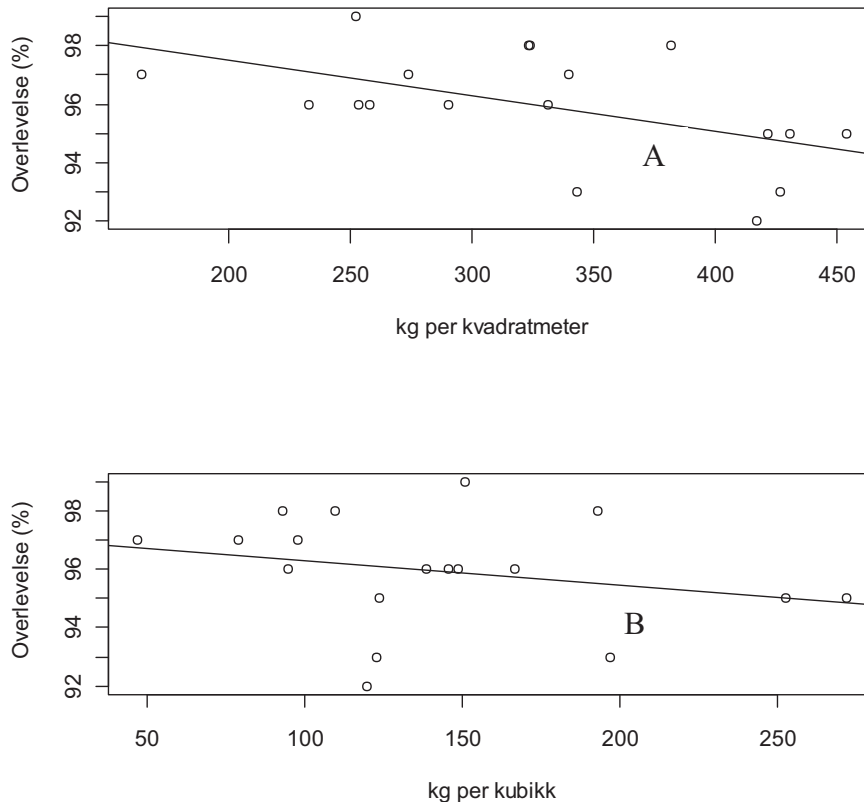
År	Forsøk	Tank	Overlevelse %	Antall	Kg	Kg * m ⁻²	Kg * m ⁻³	Snittvekt
2008	1	RT	97	1298	4543	274	79	3,5
		FTU	99	1196	4186	252	151	3,5
	2	RT	96	1429	5502	331	95	3,9
		FTU	98	1391	5355	323	193	3,9
	3*	RT	97	757	2725	164	47	3,6
		FTU	96	1073	3863	233	139	3,6
	4	RT	98	1492	5371	324	93	3,6
		FTO	-	749	2696	162	90	3,6
		FTU	-	1632	5875	354	212	3,6
		FTO + FTU	96	2381	8572	258	149	3,6
	5	RT	98	1892	6338	382	110	3,4
		FTO	-	1203	4030	243	134	3,4
		FTU	-	1668	5588	337	202	3,4
		FTO + FTU	96	2871	9618	290	167	3,4
2009	6	RT	97	1956	5650	340	98	2,9
		FTO	-	979	3524	212	117	3,6
		FTU	-	1731	4881	294	176	2,8
		FTO + FTU	96	2710	8405	253	146	3,1
	7	RT	93	1809	7081	427	123	3,9
		FTO	-	1182	4350	262	145	3,7
		FTU	-	1786	7021	423	253	3,9
		FTO + FTU	93	2968	11371	343	197	3,8
	8	RT	92	1869	6914	417	120	3,7
		FTU	95	1960	7009	422	253	3,6
	9	RT	95	2177	7159	431	124	3,3
		FTU	95	2341	7532	454	272	3,2

*dårlig vær



Figur 4. Overlevelse gitt som totalvekt av fisk i tank. Mengden fisk i tank ble suksessivt økt for å finne kapasitet til tank gitt ved en grense på 5 % dødelighet. Merk at tilgjengelig volum for forsøkstank under etasjeskiller er halvert i forhold til forsøk i referansetank. I forsøk med fisk både over og under etasjeskiller er areal doblet i forhold til referansetank. I de to forsøkene med lavest kvantum var det dårlig vær, noe som kan ha bidratt til lavere overlevelse enn forventet.

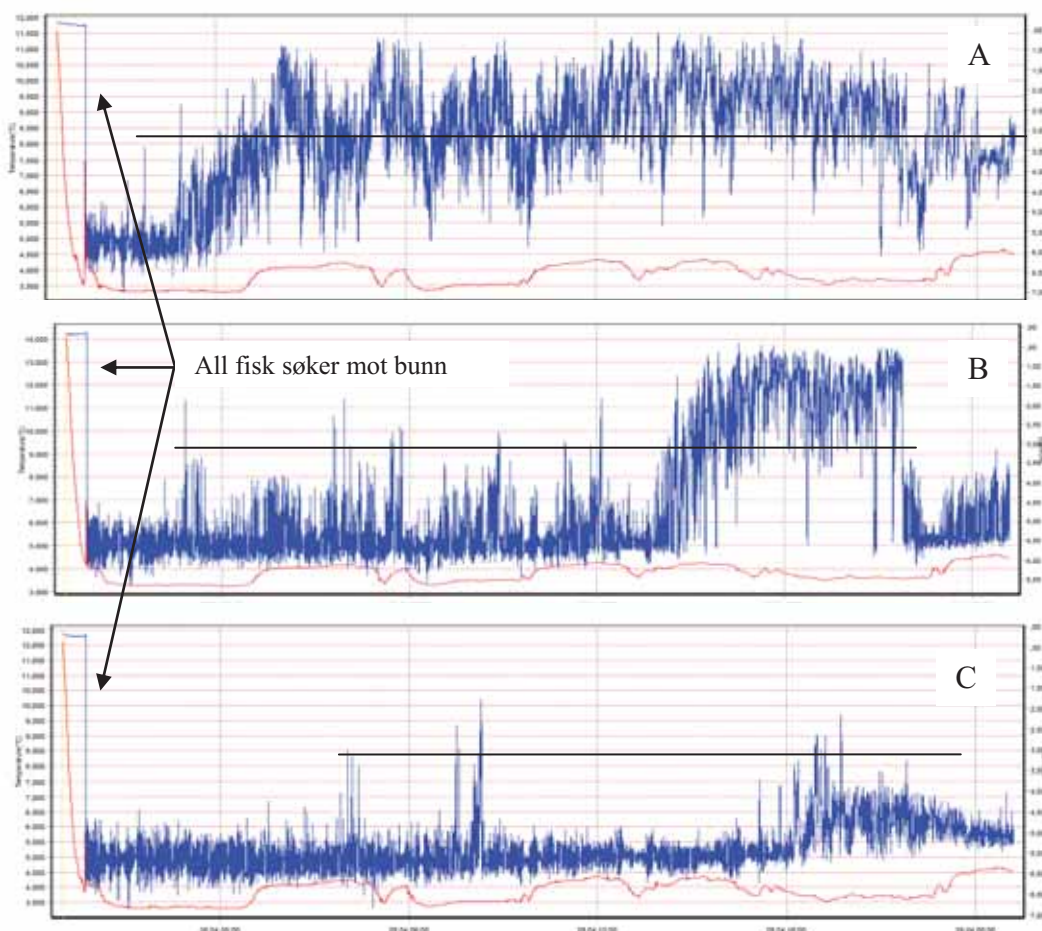
Føringskapasitet med etasjeskiller ble derfor satt til å være ca 10 tonn som utgjorde en økning på 3500kg, eller ca 54 % fra referansetank. Forsøkene slått sammen så var det en signifikant sammenheng mellom tilgjengelig hvileareal og overlevelse, men ikke mellom overlevelse og tilgjengelig volum (Figur 7). Forklaringsverdien i sammenhengen er imidlertid lav ($R^2 = 0.27$) og tyder på at det er andre faktorer som bidrar til den observerte dødeligheten.



Figur 5. A) Overlevelse som funksjon av kg per tilgjengelig hvileareal gitt i kvadratmeter for alle forsøk slått sammen. Overlevelse minker med økning i antall kg per tilgjengelig hvileareal ($p < 0.05$, $R^2 = 0.27$). B). Overlevelse som funksjon av kg per tilgjengelig volum gitt i kubikk for alle forsøk slått sammen. Overlevelse minker med økning i antall kg per kubikk, men relasjonen var ikke signifikant ($p = 0.31$, $R^2 = 0.06$).

3.2 Videoovervåking og DST merker

Data fra video og DST (Fig.4) viste at torsk søker nedover og legger seg på bunn hvor den kan bli liggende i lang tid i opp til et 50 cm tykt lag av fisk. Ut ifra DST-merker ser det ut til at fisken bytter på hvor den oppholder seg vertikalt innen denne tettpakkede fordelingen. En mindre andel fisken brukte ingen tid på hvile og startet umiddelbart å svømme rundt, mens den siste andelen, som har åpenbare problemer med overflotasjon ble plukket ut som flytere under transport. Torsk som løftet seg svømte rolig rundt med få tegn til aggresjon, panikkartet adferd eller åpenbare problemer med over- eller underflotering.



Figur 6. Eksempel på variasjon i vertikalfordeling av fisk merket med dybdemerker over ca 32 timer i referansetank i forsøk 2. All torsk som ble merket søkte umiddelbart mot bunn. Variasjonen i vertikalfordelingen nærme bunn tyder på at torsk ”byter” posisjon i laget av hvilende fisk (se Figur 3). Både video og DST-merker bekreftet at torsk kan ligge nærme bunn i langt tid. Alle verdier grunnere enn 3,2 meter (over heltrukket linje) betyr at fisk er oppe i trunken (Se Figur 1). Fisk A løftet seg etter ca 6 timer ut av det nederste tette laget av hvilende fisk og flyttet seg opp i trunk. Fisk B holdt seg mye i de 2 nederste meterne mens fisk C befant seg for det meste frem til 24 timer i den nederste meter av tank.

Fisk som ikke var overflotert og ble satt inn i rom med etasjeskiller gikk også rett til bunn av tank. I de tilfellene hvor fisk ikke traff åpningen (luken) i etasjeskiller på første forsøk, gikk det bare kort tid før den lokaliserte åpningen og svømte ned under etasjeskiller. Få fisk svømte opp igjen etter først å ha kommet seg under skillet, og kort tid etter endt inntak (lasting) ble luken stengt slik at dette ikke var mulig. Det var ingen åpenbare forskjeller i adferd hos fisk satt inn den eksperimentelle tanken med etasjeskiller og referansetanken.

Målestavregistreringer viste at det rett etter innsetting la seg fisk oppå hverandre med tettheter på rundt 6-700 kg per kubikk. Maks høyde av fisk som ble målt med hvilende fisk var ca 50 cm fordelt over hele tanken uten at det kunne registreres å påvirke dødelighet utover det som var registrert ved lavere høyder. Etter hvert som noe av fisken løfter seg så reduseres sikten foran kamera betraktelig og det var vanskelig å bedømme om og eventuelt når all fisk hadde løftet seg. Det ble imidlertid registrert et 40 cm tykt lag av hvilende fisk i over 12 timer etter innsetting fra video og DST-merket fisk kunne oppholde seg i den nederste meteren i over 24 timer. Maks tetthet var 800 kg per kubikk, men da med bare en høyde på 20 cm.

Videoobservasjonene viste videre at fisken under perioder med dårlig vær blir påvirket i takt med båtbevegelsene. Som følge av fartøyets bevegelser opp og ned bølgedaler, vil fisk som er i kontakt med bunn og vegger i føringstank bli skjøvet frem og tilbake langs disse flatene. Fra fastmontervideo vil dette vise seg som om fisk stående i vannmassene beveger seg, mens det egentlig er fartøyet som beveger seg og fisken står i ro i vannet. Dette fordi fisk og vann har nær samme tetthet, vann ikke er komprimerbart og at fri væskeflate (i topp av trunk) er liten og fører til at vannbevegelse inne i tank er svært begrenset. Fartøyet (og kamera) derimot beveger seg rundt vannmassen i tanken og de fiskene som er i kontakt med tank påføres slitasje samt at det visuelt vil kunne påvirke orientering til fisk. Det ble observert høyere dødelighet enn forventet under dårlig vær (Tabell 1, Fig. 4).

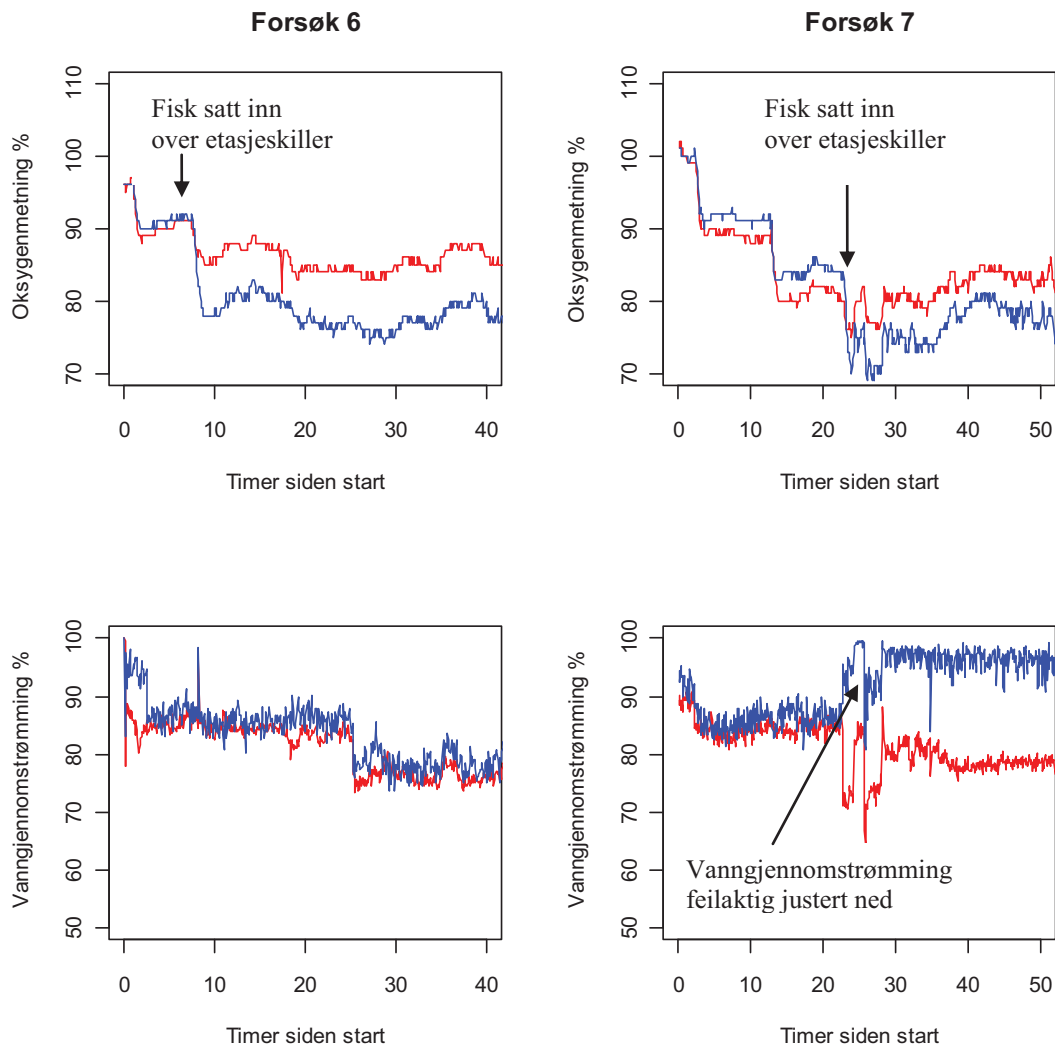
3.3 Oksygen og vanngjennomstrømming

Oksygenmetning var aldri lavere enn 70 % i noen av forsøkene og var på det jevne i underkant eller over 80 %. Figur 4 viser (som eksempel) forløp av oksygenmetning og vanngjennomstrømming fra forsøk 6 og 7. Forsøk 6 viser høyere oksygenmetning for referanse enn for forsøkstank, noe som skyldes lik vanntilstrømming til de to rommene, men mer fisk i forsøkstank enn i referansetank etter ca 10 timer ved innsetting av fisk over etasjeskiller. I forsøk 7 som var maksforsøket ble vanngjennomstrømming justert til 100 % etter innsetting av fisk over etasjeskiller. 2 timer etter innsetting av fisk over etasjeskiller ble vanngjennomstrømming redusert til ca 90 % hvorpå oksygenmetning sank til ca 71 %. Dette ble ikke oppdaget før etter 2 timer hvorpå vanngjennomstrømming ble økt igjen.

4 Diskusjon

4.1 Føringskapasitet og effekt av etasjeskiller

Føringskapasitet til babord tank uten etasjeskiller ble satt til å være 6500 kg eller ca 11 % av totalvolumet ved 95 % overlevelse. Dette er noe lavt i forhold til tidligere forsøk der man ikke sjelden har hatt oppunder 15 % utnyttelse av volum (150 kg/m^3). Forklaringen ligger sannsynligvis i areal/volum forholdet på 16:57 i referansetank. Siden tankene er høye gir de mye volum i forhold til areal, noe som ikke er uvanlig for kombinasjonsfartøy (notfiske etter pelagiske arter i tillegg til snurrevad). En halvering av tilgjengelig volum påvirket ikke overlevelse negativt under etasjeskiller. Her ble det på et areal/volum forhold a 16:28 oppnådd en kapasitet på hele 7500 kg eller 27 % utnyttelse av volum (270 kg/m^3). Dette koblet med en signifikant sammenheng mellom areal og overlevelse tyder på at det er areal som har mest å bety for overlevelse og at ett areal/volumforhold på ca 1:2 kanskje er tilstrekkelig ved utforming av fremtidige føringstanker, for eksempel rektangulære, to meter dype tanker. Årsaken til høyere kapasitet i forsøkstank under etasjeskiller i forhold til referansetank er ikke kjent og det burde ha vært flere sammenligninger før man kan være helt sikker på at der er en reel forskjell. Det er likevel mulig å tenke seg økt overlevelse på grunn av trykk som alltid vil være over 1.44 bar, samt at det kanskje er endrede/roligere forhold/strømninger/bevegelse pga etasjeskiller.



Figur 7. Eksempel på variasjon i vanngjennomstrømming (% av makskapasitet) og prosentvis oksygenmetning på utvann der røde kurver er Referansetank, mens blå kurver er Forsøktank. I forsøk 6 synker oksygenmetningen når man setter inn torsk over etasjeskiller, og siden det ikke blir justert på vanngjennomstrømming så holdes verdiene på rundt 80 % for forsøktanken. I forsøk 7 som var maksforsøket ble vanngjennomstrømming økt til makskapasitet etter innsetting av fisk over etasjeskiller. I ca 10 timer etter innsetting av fisk over etasjeskiller målte vi oksygenmetning med snitt på ca 74 %. I ca 2 timer i løpet av denne perioden var metningen nede i 71 % pga at vanngjennomstrømming feilaktig ble justert ned til 90 %.

Føringskapasitet til rom med etasjeskiller ble satt til å være ca 10 tonn, noe som tilsvarer en økning på over 50 % i forhold til referansetank noe som er et svært godt resultat. Dette tilsvarer ca 18 % utnyttelse av totalvolum, og vil for TRINTO bety at dersom det hadde vært satt inn etasjeskillere i alle rom ville så ville fartøyet teoretisk kunne frakte oppunder 50 tonn levende fisk. Dette er imidlertid langt lavere enn teoretisk føringskapasitet undersøkt i laboriestudier (540 kg/m³, Starnes m.fl. 1994), men forsøksbetingelsene er også forskjellige ikke minst at vår fisk kommer rett fra en stressende fangstsituasjon, mens laboriestudien undersøkte akklimert og ustresstet fisk. Tar man i hensyn til at snurrevadfanget fisk ikke har en jevn fordeling i tankene men ligger oppå hverandre nærme bunn i flere timer etter fangst er faktisk tettheter (og dødlighet) sammenlignbare med Starnes sine funn (se avsnitt Videoovervåking og DST merker). Ved maksforsøket (forsøk 7, 74 % økning fra referansen) er det i hovedsak manglende vanntilførsel og lav oksygenmetning som

er den gjeldende forklaringen på økt dødelighet. I en totimers periode var oksygenmetning nede i 71 % ved en feilaktig nedjustering av vanntilførsel som kan ha bidratt til økt dødelighet gitt at ca 70 % metning er en kritisk grense (se diskusjon under oksygen og vanngjennomstrømming). Forhindret gjellebevegelse er ikke sannsynlig dødsårsak fordi det var observert høyere tettheter og høyde av hvilende fisk oppå hverandre i andre forsøk med lavere dødelighet. Andre forklaringer kan være at det er små lokale variasjoner i fisketilstand mellom fiskefeltene eller høyere påvirkning fra fangstprosessen som har ført til mer utmattet fisk og høyere dødelighet. De to sistnevnte årsakene kan kun dokumenteres ut fra fysiologiske målinger og/eller reflekstesting (Humborstad m.fl., 2009) av mange individer fra hvert hal. For eksempel vil lange hal og/eller liten fisk kunne føre til mer utmattet fisk enn korte hal/stor fisk. Foruten ekstrem tilfellene, hvor fisk ikke responderer på håndtering i det hele tatt, tar sortering i dag ikke hensyn til grad av utmattelse. Videreutvikling av reflekstesting som mål på fisketilstand og overlevelsessevne, og å innarbeide dette til en fast del av sortering, har potensial til å endre på dette.

En siste forklaring på dødelighet går på lokal oksygenmangel over etasjeskiller. I en tidlig fase av levendefangstutviklingen (1992) ble vanntilførsel gjennom perforert dobbeltbunn innført. Dette reduserte dødeligheten vesentlig og økte føringskapasiteten. Dødeligheten var trolig forårsaket av oksygenmangel ved bruk av vanntilførsel fra åpne rør direkte til føringstank. Lik hullstørrelse og lik avstand mellom hull fører til samme lysåpning i etasjeskiller, men strømningsmønster gjennom etasjeskiller er ikke dokumentert. Man kan derfor ikke utelukke at det er lokal oksygenmangel med stedvis lavere metning enn 70 % på etasjeskiller som forårsaket høyere dødelighet der. Det ble ikke gjort noen grundig undersøkelse av dødsårsak, men det ble observert døde individer med gapende munn og utstående gjellelokk, noe som tyder på kvelning etter lav oksygenmetning og høye karbondioksid verdier. Punktmålinger med håndholdt oksygenmåler fra tankåpning ble gjort i noen tilfeller uten at for lave oksygenverdier ble registrert, men disse målingene er for fåtallige i både i tid og romlig utstrekning til at det kan avskrives lokal oksygenmangel.

4.2 Videoovervåking og DST merker

Videoovervåking gav viktig informasjon om vertikalfordeling i tank, men på grunn av redusert sikt når noe av fisk løfter seg så er det tidvis vanskelig å vurdere hvor stor andel som ligger på bunn. Videoovervåking ble av fiskerne ansett som et "kjekt å ha" instrument heller enn en absolutt nødvendighet. Siden det er lite aggresjon eller panikkartet adferd og lite variasjon i adferd utover vertikalfordeling i tankene så er dette en oppfatning det er lett å være enig i. Video var likevel et viktig instrument for å få estimater på tetthet av hvilende fisk ved bunn og ved bruk til avlesing av høyde på målestaver. Disse dataene viser at det kan ta lang tid før fisk løfter seg og at det kan ligge et lag av hvilende fisk ved bunn fra start av innsetting til levering 2 døgn senere, men med minkende høyde etterhvert. På det meste ble det observert et 50cm tykt lag tilsvarende 650kg per kubikk uten at det påvirket dødelighet utover 5 %. Det ble også observert ett 40 cm tykt lag i over 12 timer etter innsetting, uten at dette heller var forbundet med forhøyet dødelighet. Staurnes m.fl. (1994) kom frem til lignende tall der torsk som ellers var akklimert og ustresst tålte først å bli utsatt for trenging tilsvarende 260 kg/m^3 i 24 timer uten dødelighet for så å få kun 2,4% dødelighet ved ytterligere 24 timer ved 540 kg/m^3 . Staurnes m.fl (1994) konkluderte videre som oss at det er lite som tyder på at høye tettheter er forbundet med økt dødelighet så lenge oksygenmetning holdes stabil og høy.

DST merket fisk gav detaljert informasjon om hvor fisken oppholdt seg. Det må likevel diskuteres hvorvidt ekstrapåkjenningen ved merking fører til endret adferd. Koblet med video og målestav registreringer er imidlertid alle våre DST merkede fisk innefor den adferd som

ellers ble observert og tidligere rapportert som ”typisk”. Fra DST-merker ble det dokumentert at fisk kan ligge i det nederste laget ved bunn gjennom hele føringen, men også annen adferd der den løfter seg relativt raskt ble dokumentert. Ved flere anledninger ble også DST merket fisk sett på video uten at det ble observert unormal adferd (for eksempel tilt/balanseproblemer, uregulær svømming, desorientering, sviming m.m.) som eventuelt kunne tilskrives merkingen.

4.3 Oksygen og vanngjennomstrømming

Det har lenge vært kjent at ett av hovedproblemene med transport av torsk i åpne systemer er å kunne tilby nok oksygen i tråd med fiskens varierende krav (Sundnes 1957). Kontinuerlig oksygenmåling kombinert med trinnløs kontroll av vanntilførsel gjør at man er i stand til å avpasse vanngjennomstrømming til fordel for både fisk og energiforbruk. Dette var viktig og en stor fordel for gjennomføringen av forsøkene. Oksygenovervåking var det instrumentet som gav mest informasjon om tilstand i tankene. Målingene viste fornuftige responser etter innsetting av fisk og satt oss i stand til å treffe beslutninger om økt vanntilførsel ved nedadgående trender for oksygenmetning før det ble et velferdsproblem.

Det ble lagt vekt på å sikre høye verdier av oksygenmetning (ca 80 %) for å unngå feilkilder i kapasitetsmålingene som kunne tilskrives for lav oksygenmetning, noe som ble kontrollert både underveis og ved etterbehandling av data (Figur 4). Spesielt under innsetting av fisk ble oksygen fulgt nøye og ved synkende verdier økte man vanngjennomstrømming effektivt fra berøringspanel for vannpumper som var montert like ved. Nivået på 80 % ble valgt ut i fra et mål om å være på den trygge siden. Selv om torsk er antatt å være relativt tolerant for lave oksygenmetningsverdier (Plante m.fl., 1998, Schurmann og Steffensen, 1997), og det synes godt dokumentert at >30-40% oksygenmetning for noen få dager er levelig for frisk og ustresst torsk ved lave og moderate temperaturer, så er den vitenskapelige dokumentasjonen om absolutte grenser sprikende når det gjelder kritiske oksygenmetningsgrenser. Alt i fra 5-60 % metning (Schurmann & Steffensen, 1992; Scoltz & Waller, 1992, Plante m.fl., 1998) har vært rapportert å være dødelig (i varierende grad) i laboratoriestudier. Variasjonen i kritiske verdier skyldes nok i stor grad ulike eksperimentelle betingelser (for eksempel varighet av hypoksi, temperaturer annet stress m.m.), hvor det er vanskelig å direkte overføre til situasjonen man har under levendefangst. Feltforsøk på snurrevadfanget torsk indikerer at stresset torsk rett etter fangst ikke klarer å hente ut oksygen ifra vann med 70 % metning før etter 2 timer med restitusjon etter fangst, men disse resultatene er foreløpig ikke bekreftet i gjentatte forsøk. Det har også tidligere vært vist at det er i timene (opp til flere dager) rett etter fangst/stress at oksygenforbruket er høyest (Schurmann og Steffensen, 1997; Sundnes, 1957). Vi opplevde ikke høyere dødelighet enn 5 % i noen av forsøkene hvor oksygenivået vedvarende var på over 80 %, noe som derfor foreløpig bør være en sikker grense for metning på utvann. Torsk er rapportert å være tolerant for kortere perioder med lav oksygen metning (Plante m.fl., 1998), men siden man ikke sikkert vet hva den forhøyede dødelighet skyldtes i maksforsøket som var det forsøket hvor metning var registrert ned mot 70 % i to timer, kan dette være en grense hvor man ser begynnende dødelighet pga oksygenmangel.

Trinnløs justering av vanngjennomstrømming viste at det kan spares pumpekraft og dermed energi ved å justere etter oksygenmetning spesielt ved lave konsentrasjoner av fisk i rommene. Det anbefales dog ikke å styre vanntilførsel ut ifra enkle vanngjennomstrømming og kg sammenhenger fra enkeltforsøk. Dette fordi det er flere aspekter som må vurderes når man skal fastsette nedre oksygenmetningsnivå og mange faktorer som påvirker oksygenforbruk hos fisk (se for eksempel Chabot og Claireaux (2008) for en diskusjon om

hypoksi og torsk). Løselighet av oksygen endrer seg ved temperatur. Jo høyere temperatur jo mindre oksygen (mg/L) kan løses. Fisk av en gitt art og størrelse trenger også mer oksygen i varmere vann enn i kaldt vann pga økt metabolisme i varmt vann noe som betyr at ved økning i temperatur bør nedre oksygenmetningsnivå økes (Schurmann og Steffensen, 1992). Temperaturen i vann varierte fra 3,7 til 4,4 grader under forsøkene våre. Ved denne temperatur og 34 promille saltholdighet vil oksygen løselighet ved 100 % metning på innvann variere mellom 10.5 og 10.4mg/L og det er derfor lite sannsynlig at temperaturvariasjon vil påvirke resultatene våre nevneverdig. Fisk trenger mere oksygen etter fødeinntak enn før, igjen pga økt metabolisme, noe som kan ha betydning for føringskapasitet når torsken beiter i lodde. Oksygenforbruket er videre proporsjonalt til størrelse og antall fisk der mindre fisk bruker mer oksygen per vektenhet enn større fisk (Colt og Tomasso, 2001). Dette er i høyeste grad relevant for føringskapasitet og er en av hovedgrunnene for at oksygennivå bør måles. Fisk trenger mer oksygen om gjellefunksjon er nedsatt, om den er utsatt for påkjenninger og stress (Schurmann og Steffensen , 1997) eller blodets oksygenbæringsevne er redusert. Dette er også høyst relevant for levende villfanget torsk. Etter å ha blitt tvunget til å svømme, utsatt for store trykkendringer og punktert svømmeblære, er blodet surt med lavere oksygenbæringsevne men større oksygenbehov. Videre kan det tenkes at kompensasjonsmekanismen med økt ventilasjonsrate og volum (Randall 1982) kan ha blitt svekket pga trengsel ved bunn av tank ved høye tettheter. Det var imidlertid ikke mulig å detaljobservere gjellelokkbevegelser fra video som kunne understøtte dette.

5 Oppsummering/Konklusjon

Forsøkene viser at man kan øke føringskapasitet med ca 50 % ved å innføre etasjeskiller. Ved mer enn 50 % økning i fiskemengde fra referansen fikk man et problem med det på forhåndsbestemte oksygenmetningsnivå på 80 % pga manglende vanntilførsel. Det er trolig at man kan øke føringskapasitet ytterligere ved å øke vanntilførsel eller tilføre oksygen. Kritisk grense for oksygenmetningsnivå for stresset torsk bør likevel undersøkes nærmere

Eksperimentelle studier til havs er krevende på mange måter, og datagrunnlaget i undersøkelsene er ikke stort selv med høy toktinnsats både i 2008 og 2009. Eksperimenter om bord på fiskefartøyer er imidlertid helt nødvendige for relevans til fiskeriene. Alt i alt er det likevel flere indikasjoner på at det er oksygennivå som er hovedproblemet, enten ved at nivåer ned imot 70 % skaper problemer i seg selv, lokal oksygenmangel med enda lavere verdier og i kombinasjon med en potensiell, men ikke dokumentert, nedsatt gjellefunksjon under høye tettheter av fisk. En 50 % økning i føringskapasitet er uansett et godt resultat og bør være et insentiv for flere til å montere etasjeskillere.

Man fikk høyere makskapasitet under etasjeskiller enn for referansetank. Selv om flotasjonsproblemer teoretisk kan bli mindre under etasjeskiller så forklarer ikke det den økte overlevelsen, da flytere ikke er en del av dødelighetstallene. Årsaken til økt overlevelse under etasjeskiller bør undersøkes nærmere. Man kan likevel konkludere at halvering av volum ikke hadde noen negativ effekt på overlevelse. Samlet sett var det også en signifikant sammenheng mellom tilgjengelig areal og overlevelse, mens volum ikke gav det.

Kontinuerlig oksygenmåling kombinert med trinnløs kontroll av vanntilførsel gjør man i stand til å avpasse vanngjennomstrømming til fordel for både fisk og energiforbruk og var en stor fordel under gjennomføring av forsøkene. Som regel når det blir gjort oksygenmålinger om bord på fiskefartøy utføres dette ved hjelp av håndholdte oksygenmålere for å ta

punktmålinger. Gitt gode rutiner for avlesing så kan det i mange tilfeller være ”godt nok”, spesielt dersom man ikke kjører systemene opp mot maksgrensene. Montering av permanente oksygenmålere sikrer imidlertid at måling alltid blir gjort på samme sted, er lite ressurskrevende når det først er montert og muliggjør en kontinuerlig overvåking med alarm. Strømningsmønster gjennom etasjeskiller samt punktmålinger på flere steder for å undersøke hvorvidt lokal oksygenmangel forekommer bør undersøkes.

Video og DST merking av fisk gav lite informasjon under selve gjennomføringen av levendefangstingen, men kan være med på å forklare forskjeller i dødelighet ved etterbehandling av data, samt få en bedre beskrivelse av adferd. Per tidsenhet kan ikke video være med på å predikere problemer i tanken som fører til at man kan iverksette mottiltak, til det er oksygenmålinger langt bedre. Video var likevel viktig for å undersøke høyde og tettheter av hvilende fisk. Hvorvidt disse tetthetene hindrer gjellebevegelse er ikke godt dokumentert, men det ble ikke observert forhøyet dødelighet ved tettheter opp til 7-800 kg per kubikk, 12 timer med 40 cm høyt lag av eller ved maksregistreringer på 50 cm høyt lag over et par timer.

6 Referanser

- Chabot, D. and Chabot, G. 2008. Environmental hypoxia as a metabolic constraint on fish: The case of Atlantic cod, *Gadus morhua*. Mar. Poll. Bull. 57: 287–294
- Humborstad, O.B., Davis, M.W. and Løkkeborg, S. 2009. Reflex impairment as a measure of vitality survival potential of Atlantic cod (*Gadus morhua*). Fishery Bulletin, 107: 395-402.
- Isaksen, B., Humborstad, O.B. og Saltskår, J. 2008. Optimal føringskapasitet og velferd for levende villfanget torsk. Teknisk tilrettelegging ombord på M/S TRINTO. Rapport fra Havforskningen. Nr. 6, 2008
- Plante S, Chabot D, Dutil J.D. 1998. Hypoxia tolerance in Atlantic cod. J Fish Biol 53:1342–1356.
- Randall, D., 1982. The control of respiration and circulation in fish during exercise and hypoxia. J. Exp. Biol. 100, 275–288.
- Scholz, U., and Waller, U. 1992. The oxygen requirements of three fish species from the German Bight: cod *Gadus morhua*, plaice *Pleuronectes platessa*, and dab *Limanda limanda*. J. Appl. Ichthyol. 8: 72–76.
- Schurmann H, Steffensen JF 1992. Lethal oxygen levels at different temperatures and the preferred temperature during hypoxia of the Atlantic cod, *Gadus morhua*. L. J Fish Biol 41:927–934.
- Schurmann H, Steffensen JF 1997. Effects of temperature, hypoxia and activity on the metabolism of juvenile Atlantic cod. J Fish Biol 50: 1166-1180.
- Staurnes, M., Sigholt, T., Pedersen, H.P. and Rustad, T. 1994. Physiological effects of simulated high-density transport of Atlantic cod (*Gadus morhua*). Aquaculture 119: 381-391.
- Sundnes, G., 1957. On the transport of live cod and coalfish. Journal du Conseil International de l’Exploration de la Mer 22, 191–196.