

Ingrid Nygård

# Fôringsregime for atlantisk torsk (*Gadus morhua*) i kommersielt oppdrett.

Bacheloroppgave i Biomarin Innovasjon

Veileder: Grete Hansen Aas

Medveileder: Leiv Tvenning

Mai 2023



Ingrid Nygård

# **Fôringsregime for atlantisk torsk (*Gadus morhua*) i kommersielt oppdrett.**

Bacheloroppgave i Biomarin Innovasjon  
Veileder: Grete Hansen Aas  
Medveileder: Leiv Tvenning  
Mai 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Fakultet for naturvitenskap  
Institutt for biologiske fag Ålesund



**NTNU**

Kunnskap for en bedre verden



## Sammendrag

Oppdrett av torsk (*Gadus morhua*) øker og det er behov for mer kunnskap om riktig fôring for å optimalisere tilvekst og fôrfaktor. Mye av kunnskapen om fôring baseres på oppdrett av laksefisk, noe som ikke nødvendigvis fungerer optimalt for torsk. Fysiologiske og atferdsmessige forskjeller mellom artene kan ha innvirkning på effekten av ulike fôringsregimer. Hovedmålet med dette forsøket er å finne ut om torsk av ulik størrelse i oppdrett har spesifikke preferanser når det kommer til daglig antall måltider og måltidslengde.

Ved bruk av kamerakontrollert fôring ble det undersøkt om den tildelte mengden fôr var ulik, basert på ulike fôringsregimer. Forsøket ble gjennomført over 14 dager ved et kommersielt anlegg. Fôringen var appetittstyrt og vurdert av operatør. Daglige ble tre oppdrettsmerder fôret to lange måltider, og tre andre merder ble fôret tre korte måltider. Mengden tildelt fôr ble avgjort ved vurdering av atferd og uspist fôr i merden ved bruk av undervannskamera fra en fôringsstasjon på flåte.

Forsøket viste at torsk er fleksibel i måten den tildeles fôr. Mengden fôr som ble tildelt var uavhengig av lengden på måltidet og dermed også utfôringshastigheten. En sammenligning av mengden tildelt fôr mellom tre ulike fiskestørrelser på 0,7 kg, 1,5 kg og 1,8 kg ble gjennomført. Resultatene viste en gjennomsnittlig SFR på henholdsvis 0,62%, 0,41% og 0,4% fra forsøksperioden.

Informasjon om effekten av ulike måltidsregimer er nyttig for effektivisering av den operasjonelle driften av en fôrsentral. Korte måltider gir større fleksibilitet når flere sjøanlegg skal fôres, i tillegg til tydeligere appetitt- og slutt-signal til operatørene som jobber med fôring. Når torsk i oppdrett ikke har preferanser for måltidslengde kan operatørene som jobber med fôring velge et regime som effektiviserer bruken av fôringsanleggene og tydeliggjør appetitt og stopp-signal.

## Abstract

Fish farming is a growing industry in Norway. Salmon and trout have already been farmed for many decades, therefore are most of the experience and knowledge about feeding based on salmon. Now that more species are becoming relevant, more knowledge about feeding cod (*Gadus morhua*) is needed. This is important to be able to optimize growth and the feed conversion rate. Physiological and behavioural differences between these two species may lead to different needs in terms of feeding regimes. The main aim of this study is to find out whether cod of different sizes in fish farms have specific preferences about the number and length of the daily meals.

By controlling the feeding with underwater camera, it was investigated whether the allocated amount of feed was different, based on different feeding regimes. The experiment was carried out over a period of 14 days at a commercial fish farm. The cod was fed according to appetite based on the operator's monitoring of the situation and level of activity in the sea cage from a feed station. The study is based on the comparison of three sea cages that have been fed two meals over a longer period, against three sea cages that have been fed three meals over a short period.

The experiment showed that cod is flexible when it comes to being fed in a farming situation. There was no significant difference in the amount of allocated feed based on the number and intensity of the meals. A comparison of the amount of allocated feed between fish sizes of 0,7 kg, 1,5 kg and 1,8 kg was carried out. The results from the experiment showed an average SFR of respectively 0,62%, 0,41% and 0,4%.

More knowledge about the effects of different feeding regimes is useful for streamlining the operations related to feeding. When one unit is supposed to feed several fish farms, it is an advantage to have flexibility in the logistical planning. Shorter meals provide flexibility to the operation in terms of efficiency. In addition to this, it is easier for the operators to understand the signals regarding appetite in the sea cage by using short meals. This contribute to make more precise decisions for when the fish is fed to satiation.

## Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet i forbindelse med studiet Biomarin Innovasjon ved NTNU i Ålesund.

Forsøket som presenteres ble utført i kommersiell skala i samarbeid med Ode AS. Ode har siden oppstarten i 2020 blitt et mellomstort sjømatelskap med over 100 ansatte fordelt på klekkeri og yngelproduksjon, sjøanlegg og hovedkontor. Per i dag har Ode tre sjøanlegg i drift, og to nye lokaliteter under utarbeiding. Målet er å sikre et stabilt tilbud av fersk torsk hver dag – året rundt.

Tusen takk til Ode og de ansatte ved lokaliteten Alida som har gjort det mulig å gjennomføre dette forsøket og dermed gitt grunnlag for oppgaven. Å gjennomføre et fôringsforsøk i kommersiell skala er helt unikt, og har bidratt til å gjøre innspurten av studieløpet svært interessant for min del. Tusen takk for alle ressurser som har blitt stilt til disposisjon for dette formålet.

Jeg må også benytte anledningen til å takke mine dedikerte og engasjerte veiledere. Tusen takk til Grete Hansen Aas ved NTNU for all god veiledning og viktige innspill til oppgaven. Din faglige og akademiske trygghet har vært en uvurderlig støtte. Også veilederen min i Ode, Leiv Tvenning, skal ha tusen takk! Ditt engasjement og kunnskap for faget inspirerer. Takk for at du utfordrer og er en driver for utvikling.

# Innholdsfortegnelse

Sammendrag .....	
Abstract .....	
Forord .....	
<b>1. Introduksjon .....</b>	<b>2</b>
<i>1.1 Torsk i naturen .....</i>	<i>3</i>
<i>1.2 Oppdrett av torsk og status i dag .....</i>	<i>4</i>
<i>1.3 Torsk og fôring .....</i>	<i>5</i>
<i>1.4 Fôring og vekst .....</i>	<i>7</i>
<i>1.5 Torskens næringsbehov .....</i>	<i>9</i>
<i>1.6 Fôring i praksis .....</i>	<i>11</i>
<b>2. Material og metode.....</b>	<b>14</b>
<i>2.1 Forsøkslokaliteten- og merdene .....</i>	<i>14</i>
<i>2.2 Fôringsregimer – Lange og korte måltider .....</i>	<i>15</i>
<i>2.3 Appetittfôring.....</i>	<i>16</i>
<i>2.4 Databehandling og statistikk.....</i>	<i>18</i>
<b>3. Resultat.....</b>	<b>19</b>
<i>3.1 Vertikalfordeling i merd og fôringsatferd .....</i>	<i>19</i>
<i>3.2 Sammenligning av fôrforbruk .....</i>	<i>20</i>
<i>3.3 Fordelingen av daglig utfôring i de ulike måltidene.....</i>	<i>21</i>
<i>3.4 Tidsforbruk fordelt på måltidene .....</i>	<i>22</i>
<i>3.5 Sammenligning av mengden tildelt fôr til stor og liten fisk.....</i>	<i>23</i>
<b>4. Diskusjon.....</b>	<b>24</b>
<b>5. Konklusjon.....</b>	<b>29</b>
<b>6. Litteraturliste.....</b>	<b>30</b>



# 1. Introduksjon

Norskekysten er svært godt egnet for merdoppdrett av fisk og nå er det flere som starter med torskeoppdrett i industriell skala etter at oppdrett av laksefisk har pågått i 50 år. Denne utviklingen harmonerer godt med et stadig økende behov for sunn og bærekraftig mat. Som regjeringens havbruksstrategi vektlegger, skal havbruk ha en bærekraftig og lønnsom vekst de neste 10-15 årene (Nærings- og fiskeridepartementet, 2021). Denne satsningen er i tråd med FN sine bærekraftsmål og kan knyttes direkte til flere av målene (FAO, 2018). Når kvotene for villfanget fisk ikke kan økes i takt med behovet, må det skapes nye måter å fø en stadig voksende befolkning. I dag utgjør oppdrett av laks og regnbueørret den største andelen av havbruksnæringen i Norge. For å skape en sterkere og mer robust næring satses det på å øke antallet arter i oppdrett. I denne sammenhengen er oppdrett av torsk (*Gadus morhua*) en viktig mulighet. Torsk er en god proteinkilde og oppdrett kan gi jevn tilførsel av torsk gjennom hele året. Kunnskap om oppdrett av laksefisk har økt fra oppstarten på 1970-tallet, da oppdrett av laks og ørret startet kommersielt. Med utgangspunkt i dette finnes et godt grunnlag med både erfaring, kompetanse og kunnskap for også å lykkes med oppdrett av torsk.

Til tross for den utviklingen som har vært i norsk oppdrett, har ikke oppdrett av torsk lyktes tidligere. I to tidligere perioder har torskeoppdrett vært forsøkt – en gang tidlig på 1990-tallet og igjen ved tusenårsskiftet og frem til rundt 2011. Med nedgang i kvotene for villfanget torsk var optimismen for en ny næring langs kysten stor. Det var flere årsaker til at dette ikke lyktes. Det var store biologiske utfordringer i tillegg til økonomiske utfordringer da fiskekvotene økte og salgsprisen for torsk dermed gikk ned. Torskeegg er små og larvene som klekkes må føres med levende fôr som må anrikes for å dekke behovene for riktig larveutvikling. Utfordringene omhandlet vanskelig yngelproduksjon, tidlig kjønnsmodning, dårlig vekst, rømning, sykdomsutbrudd, dårlig ernæringsmessig tilpasset fôr, og teknologi tilpasset laks. Det var med andre ord både manglende utstyr og teknologi i forhold til hva situasjonen krevde. Spesielt var bakterien *Francisella* et stort problem. Disse faktorene i kombinasjon med oppgang i torskekvotene og finanskrisen i 2008, var årsaken til at næringen kollapset (Fiskeridirektoratet, 2023a; Puvanendran et al., 2022).

Til tross for dette ble likevel det nasjonale avlsprogrammet for torsk videreført.

Torskeavlsprogrammet ble opprettet i 2002, og har nå gått i gang med 6.-7. generasjon oppdrettstorsk (Kragerud, 2022; Grefsrud et al., 2022). Med fokuset som har vært på genetisk seleksjon, er torsken som i dag benyttes i oppdrett mer motstandsdyktig mot blant annet sykdom. I tillegg til dette har også avlsprogrammet bidratt til en raskere vekst enn det som tidligere var tilfellet. Torsken som inngår i avlsprogrammet er en blanding av kysttorsk fra sør til nord, i tillegg til skrei, nettopp for å sikre bredde i det genetiske mangfoldet (Kragerud, 2022).

### ***1.1 Torsk i naturen***

Atlantisk torsk består av den stedbundne kysttorsken og skrei som vandrer. I naturen vandrer skrei fra Barentshavet til norskekysten, helt ned mot 62° nord, for å gyte. Dette foregår i perioden fra februar til slutten av april. Torsk gyter i frie vannmasser, noe som medfører at eggene fraktes rundt med strømmen. Avhengig av temperatur, tar det om lag to til tre uker før eggene klekkes. Larvene beiter i hovedsak på kopepoder den første tiden. Dette er det god tilgang på fra 10-20 meters dyp. For både egg og larver er det høy dødelighet kun 2-3% av larvene som faktisk klekkes, overlever de første 20 dagene. Flere faktorer spiller inn på overlevelse. Dette kommer til uttrykk i store variasjoner i den årlige rekrutteringen til bestanden (Kristiansen et al., 2011). Både egg og larver driver nordover med strømmene, og ender etter hvert opp i den sørlige delen av Barentshavet. Om høsten omtrent fem måneder etter klekking, bunnslår torsken i Barentshavet. Her har den god tilgang på sild, lodde og brisling, noe som gir gode forutsetninger for vekst. I gjennomsnitt har vill torsk blitt målt til å være like over to kg. ved seks års alder og at den mer enn doubler vekten sin de to neste årene. Torsk er en opportunistisk art, noe som gjenspeiles gjennom predasjonsatferden den utviser. Med god tilgang på næring, blir torsken også naturlig raskere gyteklar. Atlantisk torsk blir i gjennomsnitt gyteklar ved 6-8 års alder (Brander, 2005).

## ***1.2 Oppdrett av torsk og status i dag***

I dag går yngelproduksjonen i torskeoppdrett mye bedre enn den har gjort tidligere, både på grunn av avlsprogrammet, men også et generelt økt kunnskapsnivå. Når torskerogn er moden for gyting, har eggene en størrelse på ca. 1,2 til 1,6 mm (Brander, 2005). Etter at rognen klekkes, kan en torskelarve leve av reservene sine i tre til fire dager. Dette kan ses i motsetning til plommeseckyngelen av laks, som kan leve av reservene sine i fire til seks uker før den må begynne å spise selv (Otterå et al., 2005). Denne ulikheten er mye av årsaken til at yngelproduksjonen er vanskeligere innen oppdrett av torsk sammenlignet med laks.

Torskelarver må begynne å spise tilbudt fôr raskere, og det er utfordrende å kartlegge og dekke næringsbehovet i tidlige faser ved hjelp av anrikt levende fôr. Hjuldyr (rotatorier) benyttes som fôr til torskelarvene. Etter hvert som larvene vokser seg større, går fôret over til å også bestå av nauplier og siden tilvenning av tørrfôr tilpasset yngelstadiet. Yngelen blir 50-150 gram mellom 8-10 måneder etter klekking, og blir dermed klar for utsett i merdanlegg (Bjerkestrand, 2013).

I merdfasen går den daglige driften ut på røkting og fôring for å sikre god helse, velferd og vekst. Torsk i oppdrett står foreløpig ikke ovenfor problematikken med avlusning og de fysiske påkjenningene dette gir, slik som laks gjør. De siste fem årene har dødeligheten av laks og ørret i oppdrett vært stabil på omtrent 15% i merdfasen, hvor blant annet behandling rundt avlusning pekes på som en av hovedårsakene (Sommerset et al., 2022). Dødeligheten for torsk i oppdrett har ligget mellom 5-10% de siste årene, en åpenbar forbedring fra forrige periode med torskeoppdrett. For å unngå tidlig kjønnsmodning blir det benyttet lysstyring i oppdrett av torsk i merdfasen. Torsken oppnår i dag en vekt på fire kg etter ca 20 måneder i merd, og har dermed en god og markedstilpasset slaktevekt (Puvanendran et al., 2022).

Etter det nye oppsvinget i torskeoppdrett i Norge, er det i dag 12 lokaliteter for oppdrettstorsk i drift, av totalt 25 godkjente. Normalt innebærer en konsesjon for oppdrett en tillatelse til å holde 780 tonn biomasse i sjø (Fiskeridirektoratet, 2023b; Fiskeridirektoratet, 2023c). Det er også andre hensyn med tanke på MTB (maksimalt tillatt biomasse) enn konsesjonsnivået, først og fremst må produksjonen og driften være innenfor lokalitetens bæreevne. Utviklingen av havbruk i Norge godt regulert, slik at en bærekraftig utvikling sikres. Blant de største aktørene innen torskeoppdrett i Norge i dag er Ode AS, NorCod AS og Statt Torsk ASA. I fiskeridirektoratet sine registre ligger det inne flere søknader om nye lokaliteter til behandling. At flere selskaper som driver med torskeoppdrett satser på videre vekst, er viktig for å etablere en stabil og ny næring langs kysten.

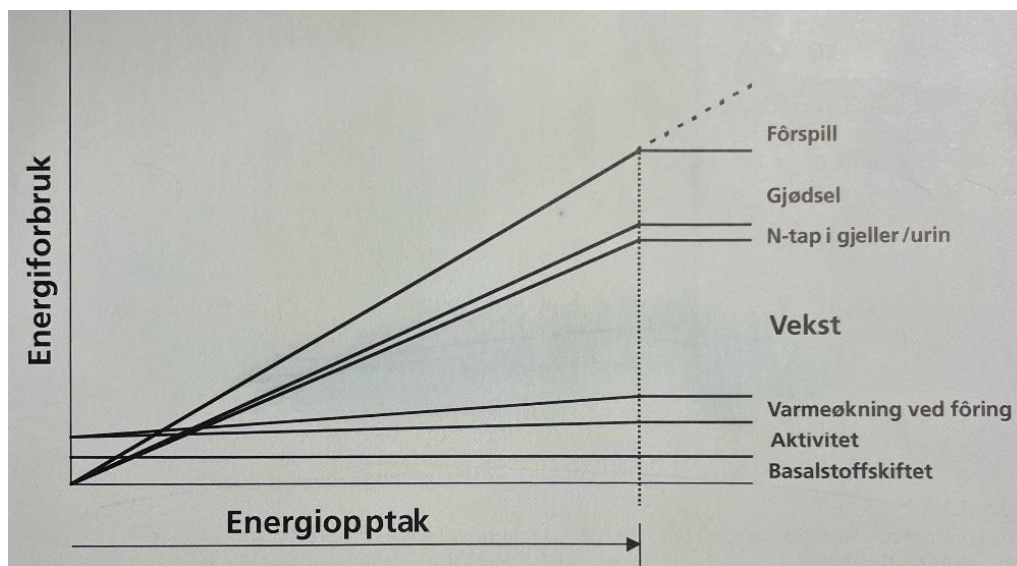
### **1.3 Torsk og fôring**

Kunnskap og kompetanse om oppdrett er i stor grad basert på oppdrett av laksefisk. Siden det er betydelige biologiske forskjeller mellom torsk og laks, må en forståelse for dette ligge til grunn når det i dag igjen satses på torskeoppdrett. Ulik biologi kan kreve ulik teknologi eller utforming. Hovedformålet med oppdrett er generelt likevel det samme - å få fisk som lever innenfor et avgrenset område til å ha god fiskevelferd og vokse best mulig. For å oppnå dette er det viktig at ernæringen dekker artens spesifikke næringsbehov, i tillegg til at fisken får riktig mengde fôr. Fôret til torsk har blitt justert etter hvert som behovene har blitt kartlagt. Torsk har et høyt proteinbehov og fordøyer ikke karbohydrater så godt. I dag tilbys et ernæringsmessig godt fôr tilpasset torsk, noe som bidrar til både bedre helse og velferd (Einen et al., 2007). For å lykkes med oppdrett er det avgjørende og også lykkes med fôring. Målet med fôringen er å maksimere tilveksten og minimere fôrfaktoren. Dette kan oppnås dersom fisken får den mengden fôr den etterspør og at operatørene klarer å tildele nok i et mønster som ikke begrenser fôrtilgjengeligheten og samtidig unngår fôrspill. Fôrspill, det vil si pellets som går gjennom noten, har flere negative virkninger, både når det kommer til miljø bærekraft og økonomi.

Fôret til torsk inneholder 50-60% protein, 15-18 % fett og 10-15% karbohydrat.

Mikronæringsstoffer som mineraler og vitaminer, utgjør i størrelsesorden 1% av innholdet i fôret (Einen et al., 2007; Otterå et al., 2005; Tvenning, pers.med.). Som en kontrast til dette har fôret til laks betydelig høyere fettinnhold og mindre proteiner. Næringsstoffene i torskefôr er hentet fra både marine og vegetabiliske kilder. Andelen av marine råvarer varierer mellom ulike typer fôr, men ligger per i dag forholdsvis høyt.

Siden protein er en dyr komponent i fôr, er det ønskelig at mest mulig av energien skal gå til vekst, og ikke aktivitet. Den største delen av næringen som torsk inntar i oppdrett går under normale forhold i hovedsak til vekst, men også til basalstoffskiftet, aktivitet, og litt tap gjennom urin og gjødsel. Når fisken klarer å ta opp maksimalt med fôr, vil en relativt større andel av næringsstoffene gå til tilvekst, figur 1 illustrer dette (Waagbø et al., 2001). Dette er ønskelig i oppdrett, og må derfor være i fokus for å optimalisere fôring og vekst.



Figur 1. Energiregnskap. Dersom fisk fôres til energibalanse, vil den ikke vokse. På den andre siden vil fôring over det fisken klarer å spise, føre til fôrspill (Waagbø et al., 2001).

Formålet med fôringen er å få fisken til å spise mest mulig, og samtidig være presis i når fôringen skal stanses for å unngå fôrspill. God utnyttelse av fôret vil være avgjørende for en lønnsom og bærekraftig utvikling av torskoppdrett. En av de største utfordringene med å skape videre vekst innen havbruk, er den begrensede tilgangen til råvarer for å produsere fiskefôr (Olafsen et al., 2012). For å få til en god og riktig utvikling av fôrproduksjon, arbeides det med flere tiltak og anbefalinger rundt utnyttelse av ulike råvarer. Dette omhandler analyser og dokumentering av klimaavtrykk og bærekraft. For eksempel har mesopelagiske arter et stort teoretisk potensial, men mer kunnskap om bestand og hvilken funksjon arten har i økosystemet må kartlegges (Hauge et al., 2022).

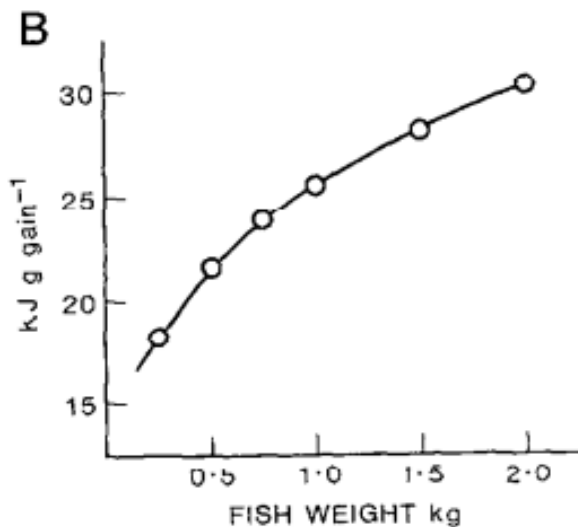
Når det oppstår knapphet i råvaremarkedet, vil det bidra til at prisene går opp. Dette vil i sin tur føre til en økning i fôrkostnader for oppdretterne. Innen oppdrett utgjør normalt kostnadene forbundet med fôr 50-70% av produksjonskostnadene (Ferrer Llagostera et al., 2019). Med utgangspunkt i dette vil også små forbedringer i produksjonen ha mye å si med tanke på de totale kostnadene. I tillegg til variasjon i tilgangen på råvarer, påvirker også valutakurser kostnadsbildet. Fôrprisen har økt betydelig de siste årene. I 2020 kostet det i gjennomsnitt kr. 18,- for en kg laksefôr (Misund, 2022). Med en generell økning i råvareprisene og det faktum at torskfôr inneholder mer proteiner som er en prisdrivende komponent i fôr, kan det antas at det i dag koster omtrent kr. 20,- per kg torskfôr.

Et fullskala kommersielt oppdrettsanlegg for torsk kan på daglig basis fôres 10 til 15 tonn fôr for å mette fiskegruppene. Dersom fôrspillet er på 10% daglig, vil dette ha store

konsekvenser. Det vil medføre et økonomisk tap på kr. 20-30 000,- hver dag i tapt fôr. En oppmerksom og erfaren fôringsoperatør kan med andre med andre ord spare bedriften for flere millioner årlig ved å redusere et eventuelt fôrspill med for eksempel 3%. I tillegg til det økonomiske aspektet, er det også viktig å unngå sløsing av fôr for å bevare en god miljøtilstand under anleggene. Dette er viktig for å bevare økosystemene og dermed opprettholde miljøet slik det skal være (Amirkolaie, 2011). Siden 2010 har over 90% av norske oppdrettsanlegg blitt klassifisert med tilstanden «meget god» og «god» med hensyn til miljøeffekter av organisk partikulært utslipp (Grefsrud et al., 2022). Eventuelle endringer fra utslipp er reversible, bunnfaunaen har vist å bli regenerert i løpet av en periode på noen måneder til noen år (Grefsrud et al., 2022).

#### ***1.4 Fôring og vekst***

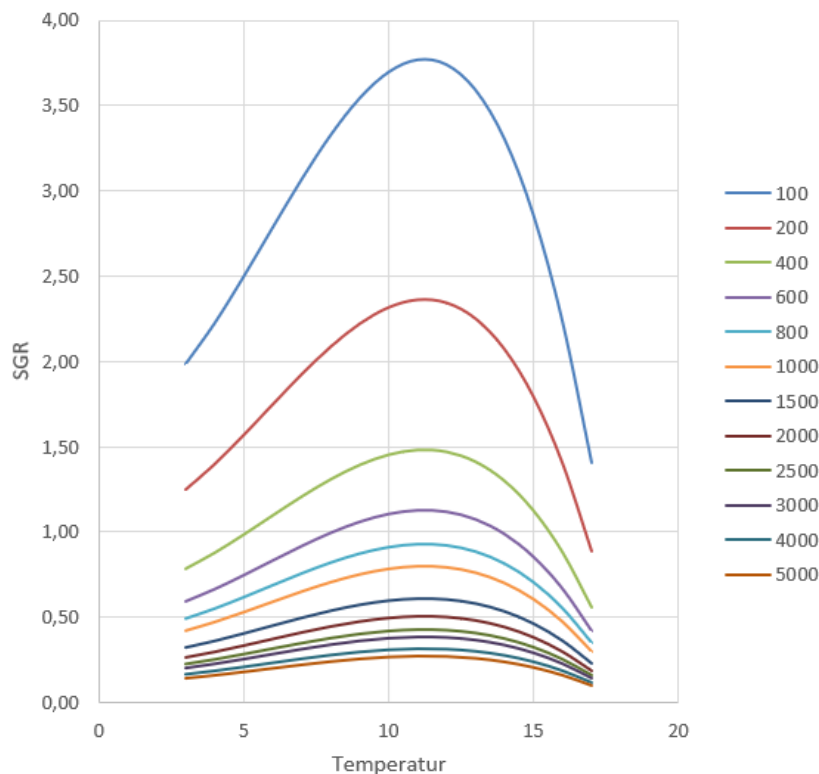
For å ha en felles forståelse for fôring og forholdet mellom mengden tildelt fôr og vekst, blir forskjellige uttrykk benyttet. «Specific feeding rate» (SFR) viser til hvor mye fôr fisken tildeles, uttrykt som en prosentandel av biomassen – altså utfôret mengde i prosent. Siden SFR sier noe om hvor mye fôr fisken tildeles, vil den antatte daglige tilveksten være en lineær funksjon av dette. Med andre ord vil høyere SFR under normale forhold og med en forutsetning om minimalt med fôrspill, føre til en bedre tilvekst. Som med alle dyr avtar den relative veksten med økende størrelse. Det vil si at en høyere tilvekstprosent, «specific growth rate» (SGR), observeres med mindre fisk sammenlignet med større fisk. SGR beskriver den daglige tilveksten, altså den daglige økningen i vekt som prosent av fiskevekten. Tidligere studier har funnet hvilket energibehov torsk har i kilojoule per gram tilvekst med økende fiskestørrelse, figur 2 illustrerer dette (Jobling, 1988).



Figur 2. Energibehov for atlantisk torsk med økende vekt, målt i kilojoule per gram tilvekst (Jobling, 1988).

Denne modellen kan ses i lys av at SGR avtar etter hvert som torsk blir større. Den fundamentale sammenhengen som Jobling (1988) viser, oversettes i praksis til en tilsvarende og empirisk fôrfaktormatrise. Denne brukes for å beregne veksten av fisken i datasystemet basert på antall fisk, størrelse og fôrmengde (Zhou et al., 2018). For små fisk benyttes en relativt lav fôrfaktor (0,9) og for større fisk en noe høyere fôrfaktor (1,2) (Tvenning, pers.med.).

Temperaturen i vannet er en avgjørende faktor for veksten til torsk. For torsk er optimumtemperaturen i merdfasen mellom 9°C og 14°C (Björnsson et al., 2007). Optimal temperatur for vekst hos torsk synker litt etter hvert som fisken blir større. I tidligere forsøk har torsk på 50 gram vist best vekst ved temperatur på 14,3°C i motsetning til torsk på 5 kg som har sin optimumstemperatur ved 5,9°C (Björnsson & Steinarsson, 2002). Det er mye gjenstående arbeid med å modellere tilvekst hos torsk presist, men Ode har utviklet en intern foreløpig vekstmodell for torsk i oppdrett basert på egne produksjonsdata og innsikt fra andre vekstmodeller for oppdrettsfisk (Figur 3) (Tvenning, 2022). I denne modellen er 11°C antatt som optimumstemperatur.



Figur 3. Vekstmodell for torsk av ulike størrelse i oppdrett, uttrykt som SGR. Figuren viser tilveksten for ulike størrelsesgrupper under ulike temperaturer. Vekt står spesifisert i gram på høyre Y-akse. (Tvenning, 2022).

En vekstmodell som dette er viktig når det kommer til produksjonsplanlegging og logistikken rundt det. Ved å kunne gjøre en prediksjon av veksten, blir det enklere å planlegge for blant annet når fisken skal slaktes. I tillegg til dette blir den også benyttet til å gjøre antagelser om hvor mye fôr fisken vil ha, noe som kan være en nyttig referanse for operatørene som jobber med kamerastyrt appetittfôring. Effektiviteten av fôringen måles også opp mot vekstmodellen. Det vil si at dersom utfôringen er høyere enn hva tilveksten for en periode har vært, kan en årsak være at fisken har blitt overfôret. Vekstmodellen til Ode vil oppdateres etter hvert som flere produksjonsdata kommer til.

### ***1.5 Torskens næringsbehov***

Kunnskap om hvilke behov torsk har for de ulike næringsstoffene er viktig for å kunne gjøre gode vurderinger i utforming av fôringsstrategi. De ernæringsmessige behovene endres litt gjennom livssyklusen for torsk, her vektlegges behovene torsk har under merdfasen. Det er viktig at fôret har riktig sammensetning av næringsstoffer, både for helse og vekst (Einen et al., 2007). Torsk har 10 essensielle aminosyrer, det vil si at disse må tilføres gjennom fôret,



mens de resterende 10 kan den omdanne selv (Otterå et al., 2005). Torsk omsetter proteiner effektivt. Det har blitt funnet proteinretensjon helt opp mot 50% under forsøk (Otterå et al., 2005; Rosenlund et al., 2004). Proteinretensjon på 50% betyr at for hvert gram protein torsken spiser, finner man igjen opp til 0,5 gram protein i fisken. En så høy proteinretensjon forutsetter svært høy tilvekst og kan oppfattes som det beste som er mulig i livssyklusen til torsk. Gjennomsnittet er betydelig lavere. Et gram protein i muskelvevet, binder 3-4 gram vann, noe som viser til at god tilførsel av proteiner gir god vekst (Lilleholt et al., 2004). Dette kan ses i motsetning til et gram fett fra fôret som tilsvarer en økning i fiskevekt på et gram gitt at fett fra fôret lagres og ikke forbrennes (Lilleholt et al., 2004).

For at torsken skal klare å omsette proteinene best mulig, er kvaliteten og sammensetningen av proteinene avgjørende. Det har blitt undersøkt om vegetabiliske proteinkilder påvirker vekst og proteinretensjon. Funnene tyder på at torsk evner å opprettholde god vekst og unngår endringer i sammensetning ved høyere innslag av planteproteiner, så lenge de er av høy kvalitet (Hansen et al., 2007). I forsøk har torsk vist å omsette vegetabiliske proteiner bedre enn laks. Dersom fôret har lavere grad av fordøyelighet, kompenserer både torsk og laks med å spise mer (Einen et al., 2007). I forsøk har torsk i gjennomsnitt hatt 14% høyere proteinretensjon av de fordøyde proteinene sammenlignet med laks (Einen et al., 2007). Mer enn 60% av torsk sin totale kroppsvekt er muskel, noe som også påvirker behovet for proteiner i kosten (Waagbø et al., 2001).

I motsetning til laks, lagrer ikke torsk fett i særlig grad i muskelen, kun i form av membranfett. Siden torsk selv ikke kan kjedeforlenge fettsyrer, må den få tilført n-3 og n-6 fettsyrer fra fôret, herunder EPA og DHA. I hovedsak benyttes leveren som depot for fett den inntar. Torsk benytter dette energilageret enten ved dårlig tilgang på næring, eller ved den energikrevende prosessen frem mot kjønnsmodning (Otterå et al., 2005). Veksten hos torsk påvirkes ikke i særlig grad ved ulike mengder fett i fôret, men torsk utvikler unormalt stor lever hvis den spiser for mye fett (Einen et al., 2007). For høyt innhold av fett i fôret er derfor problematisk både med tanke på helse og velferd.

Torsk bør heller ikke få tilført for mye karbohydrater gjennom kosten, siden den ikke har en særlig god fordøyelse eller apparat til å håndtere ulike karbohydrater etter at de kommer inn i blodbanen. Heller ikke i naturen inneholder kostholdet til torsk særlige mengder karbohydrat. Karbohydrat blir brukt i fôret for å binde sammen og skape god struktur på pelleten, ikke for å dekke næringsbehov (Otterå et al., 2005). Dersom fôret inneholder for mye stivelse og for lite proteiner vil dette gå negativt ut over veksten til torsk (Einen et al., 2007).

## *1.6 Fôring i praksis*

Målet med fôring etter appetitt er å tildele fôr på en slik måte at alle fiskene i fiskegruppen har god mulighet til å spise akkurat så mye som de ønsker. Torsk har større magesekk sammenlignet med laks av samme størrelse, noe som kan gi grunnlag for større måltider. Den har i forsøkt vist å kunne innta 3,7-3,9% av sin egen kroppsvekt i løpet av en dag (Lambert & Dutil, 2001). I naturen spiser torsk både sild, lodde og skalldyr. Med utgangspunkt i generalistatferden den utviser i naturen, har torsk både et stort svelg og magesekk. Dette sier noe om kapasiteten til å spise (Link et al., 2009). Den opplevde mettheten styres likevel bare delvis av magefyllingen, hovedsakelig er det næringsstoffkonsentrasjonen i blodet som gir signaler om torsken skal spise mer eller om den er forsynt. Det vil si at torsk har god kapasitet til å både innta og holde på en viss mengde fôr. Basert på dette har ikke torsk samme behov for å bli fôret like ofte som laks (Waagbø et al., 2001). Det har ved flere anledninger blitt undersøkt hvordan fôringsfrekvensen påvirker tilveksten hos torsk. Forsøk har vist at torsk kan være fleksibel i måten det fôres på og at fôring kun annenhver dag gir lik tilvekst som ved daglig fôring (Bjørnevik et al., 2021; Hanssen et al., 2012; Hemre et al., 1991; Rosenlund et al., 2004). Yngel av torsk har også vist å være fleksible for tidsforbruk når den tilegner seg fôr. I forsøk har fôring jevnt gjennom dagen blitt sammenlignet med fire måltider i løpet av en dag. Ulike fôringsregimer viste ingen forskjell i vekst i dette forsøket (Folkvord & Otterå, 1993).

Det har blitt utført mer forskning på laks enn på torsk når det kommer til ulike fôringsregimer. Fordelene ved korte måltider er at fiskegruppene gir tydeligere signal for metthet. Likevel er det viktig at operatørene følger nøye med på situasjonen i merden med undervannskamera, for å unngå enten for tidlig eller sen stans i måltidet og dermed underfôring eller overfôring. Ved lange måltider blir ikke signalene for metthet like tydelige fordi det hele tiden er så få synlige pellets og et noe uklart kroppsspråk hos fiskene som vanskeliggjør styringen. Lange måltider med lav fôringsintensitet kan også kunne føre til større konkurranse om fôret.

Spisehastigheten må tas i betraktning når måltidslengde skal avgjøres. En utfôringshastighet fra 0,2 til 0,5 kg fôr per tonn fisk er funnet å representere maksimal spisehastighet for laks i begynnelsen av måltider avhengig av temperatur og størrelse på fisken. Deretter må signalene tolkes, og fôringen tilpasses etter dette. I forsøk har det vist seg at denne hastigheten blir for høy etter 7-10 minutter fôring. En anbefaling er å halvere utfôringshastigheten frem til fôrspill igjen registreres, og da avsluttes måltidet (Tvenning et al., 1997).

I tillegg til temperatur, har også dagslys en effekt på appetitten hos laks (Lilleholt et al., 2004). Det vil si at appetitten, og dermed veksten, varierer med sesong. I et forsøk utført av Jørgensen og Jobling (1992) har tre ulike fôringsregimer blitt testet ut og deretter sammenlignet med hensyn til vekst. Det ble ikke gjort funn av ulik vekst mellom den fiskegruppen som ble tildelt fôr 3 timer av dagen mot den gruppen som ble tildelt fôr kontinuerlig gjennom døgnet (Jørgensen & Jobling, 1992). I mindre forsøk med laks på omtrent 2,8 kg har lignende funn blitt gjort. Det ble ikke observert forskjell i vekst mellom laks fôret i løpet av en time sammenlignet med 22 timer i døgnet (Sveier & Lied, 1998).

Tilnærmingen til selve gjennomføring av fôring har endret seg mye med tiden og ny teknologi har fortløpende blitt både utprøvd og tatt i bruk. I dag er den vanligste praksisen å appetittfôre fisk ved bruk av undervannskamera i hver merd. Selv om det arbeides med utviklingen av hvordan kunstig intelligens kan lese blant annet svømmehastighet og tolke utfôringen deretter (Zhou et al., 2018), er dette i dag stort sett en jobb utført av operatører. Ved å styre kameraet både sideveis og opp- og ned mot 20 meter dyp i vannsøylen, forsøker operatøren å tolke appetitten i merden. Faktorer som svømmehastighet og samlinger av fisk er vanlige vurderingskriterier. Dette kan være utfordrende fordi signaler fra fisken er en subjektiv vurdering. Hastigheten på utfôringen kan bidra til å påvirke hvor tydelig appetitten vises. Mye tyder på at høyere hastighet gir tydeligere stopp-signaler til operatøren, noe som er en stor fordel. Dersom måltid skal pågå over en lengre periode, kan også utfordringer med logistikken i fôringsystemet oppstå. Ofte er det mer enn en merd som er tilkoblet en fôringslinje og lange måltider vil vanligvis utartes som distinkte doser som tildeles merdene som er tilknyttet den aktuelle linjen. Det vil si at ikke alle merdene kan fôres kontinuerlig eller samtidig. Med tanke på fôringsystemet er det derfor en fordel å kunne legge opp en mer fleksibel plan som sørger for at tiden gir rom for å tildele fiskegruppene en tilstrekkelig mengde fôr.

Nye og innovative metoder for tolking av signaler om appetitt utarbeides og utvikles kontinuerlig. Metoder som akustikk og ekkolodd kan bidra til å si noe om appetitten i en fiskegruppe. Noen kameraløsninger gir også anslag på biomassen i merden ved å måle størrelsen på fisken og antallet (Zhou et al., 2018). Denne teknologien er fremdeles under utvikling. I dag er det vanlig praksis å føre kontroll på antallet individer i hver merd fra utsett for holde kontroll på biomassen. Alt av dødelighet og øvrig tap registreres slik at antallet fisk holdes oppdatert. Ved nøyaktig utfôring og registrering, skal veksten i fiskegruppen stemme overens med fôrfaktormodellen. For å kontrollere veksten på fisken gjennom produksjonen, er

det vanlig prosedyre å gjennomføre manuelle snittvektmålinger. Dette fungerer som en kontroll på at fisken har den veksten som modellen predikerer. Dette er den vanligste og foreløpig den mest troverdige måten å føre biomassekontroll i kommersielt oppdrett per i dag. Det er mange mulige feilkilder når snittvekten i en merd skal kartlegges og i praksis er det mye usikkerhet frem til fisken til slutt veies på slakteriet.

Selv om optimalisering av fôringsregime har vært et sentralt tema innen oppdrett, er fremdeles kunnskapsgrunnlaget mangelfullt. Dette er spesielt tilfellet for torsk i kommersielt oppdrett. På grunn av dette kunnskapshullet, blir eksisterende kunnskap fra fôring av laks benyttet også innen oppdrett av torsk. Dette er problematisk siden disse to artene er ulike. Derfor er det viktig å konkretisere effekten av ulik måltidslengde for oppdrettstorsk i merdfasen. Problemstillingen er hvordan torsk i oppdrett bør fôres for å oppnå den beste tilveksten. Tilvekst ses som en funksjon av den mengden fôr som fisken tildeles. Eventuelle preferanser uttrykkes som forskjeller i mengden tildelt fôr avhengig av type fôringsregime. For å avgjøre dette ble det testet to ulike fôringsregimer, hvor preferansene til måltidslengden avgjøres etter en vurdering av atferd og aktivitet i merden ved hjelp av undervannskamera. Basert på tidligere forsøk hvor torsk har vist å være fleksibel i måten det fôres på, er hypotesen for dette forsøket at ulik varighet og intensitet på måltidene ikke skulle gi forskjell i mengden fôr som tildeles. Hovedmålet med dette forsøket er å finne ut om torsk av ulik størrelse i oppdrett kan tildeles mer fôr ved å endre antall, lengde og utfôringshastigheten på måltidene. Resultatene fra dette forsøket vil kunne fremstille nyttige funn for å gjøre fôring fra en fôrsentral mer fleksibel.

## 2. Material og metode

### 2.1 Forsøkslokaliteten- og merdene

Det ble gjennomført et forsøk med to ulike fôringsregimer i to uker fra 10. til 23. februar 2023, ved Ode AS sin lokalitet Alida, i Volda, Norge ( $62^{\circ} 11.170'$ ,  $5^{\circ} 58.939'$ ) (Figur 4) (Fiskeridirektoratet, 2023d).



Figur 4. Forsøkslokaliteten merket med rødt på kartet.

Forsøket ble gjennomført i et triplikat oppsett. Oppdrettstorsken ved Alida, besto av tre ulike størrelsesgrupper, liten (0,7 kg), medium (1,5 kg) og stor (1,8 kg) fisk. Det ble brukt to merder til hver fiskestørrelse, en med hver behandling (fôringsregime), totalt seks merder (Tabell 1).

Tabell 1. Oversikt over forsøksmerder og fôringsregime.

Gruppe	To lange måltider					Tre korte måltider				
	Dato for utsett	Snittvekt (g) utsett	Antall fisk	Snittvekt (g)	Biomasse	Dato for utsett	Snittvekt (g) utsett	Antall fisk	Snittvekt (g)	Biomasse
Liten (0,7 kg)	15.10.2022	152	195 969	682	134	15.10.2022	161	194 863	651	127
Medium (1,5 kg)	22.06.2022	113	142 829	1 453	208	21.06.2022	127	127 277	1 567	199
Stor (1,8 kg)	22.06.2022	139	65 567	1 780	117	21.06.2022	182	92 542	1 841	170

Størrelsesgruppen stor og medium ble satt ut 21.-22.06.22 og kom fra samme fiskegruppe i settefiskeanlegget. Fisken i disse fire merdene hadde litt ulik størrelse ved utsett. Stor og medium fisk kom fra Havlandet Marin Yngel AS, i Florø. Yngelen ble klekket der, og sendt til Ode sitt anlegg i Stadsbygd, som i dag benyttes til klekking og startfôring. Deretter ble yngelen sendt til Lumarine sitt anlegg på Tjeldbergodden for påvekst før utsett. Den minste fisken i forsøket, ble satt ut 15.10.22. Den kom fra torskeavlsprogrammet til Nofima i

Tromsø. Befruktede egg ble sendt derfra til Stadsbygd, hvor rognen ble inkubert og etter hvert klekket og startfôret. Deretter ble yngelen sendt til påvekst på Tjeldbergodden før utsett.

Felles for gruppene er at det omtrent tok ni måneder fra rognen ble befruktet, til utsett på sjø.

Alle merdene var utstyrt med en sylindernot, men hadde litt ulik dybde (levert av Egersund Net og Mørenot Aquaculture). Merdere hadde en omkrets på 120 meter. Dybden på nøtene var litt varierende, de fleste var 37 meter, og to av de var hhv. 33 og 25 meter dyp. For å føre fisken, ble fôringsprogrammet AkvaControl benyttet (levert av AKVA group). Ved hjelp av et trykkluftbasert fôringsanlegg, ble pellets av typen Optiline Cod 11 mm og Amber Neptun 9 mm (levert av Skretting) ført gjennom fôrslanger og ut til merdene. For å sikre god overflatespredning av pellets, ble en rotorspreder HEX MKII (levert av AKVA group) benyttet. Hver merd var utstyrt med kamerasystemet Fersk-sjå, dette inkluderte Øystein undervannskamera, kabler, lys, overføring av video, og programvaren Guarding Vision (levert av SBS Teknisk AS).

## ***2.2 Fôringsregimer – Lange og korte måltider***

Det ble benyttet to lange eller tre korte måltider som to ulike fôringsregimer. Som tabell 1 viser, fulgte halvparten av merdene prinsippet om lange måltider, mens de resterende merdene fikk korte måltider. Et langt måltid betegnes som fôring med lavere intensitet over en lengre tidsperiode. I dette forsøket hadde et langt måltid utgangspunkt i oppstart kl. 10.00, og med en varighet på inntil 2 timer etterfulgt av en kort pause, før fôringen ble gjenopptatt i inntil 2 timer, eller frem til fisken viste tegn til metthet. De korte måltidene ble utført med høyere intensitet for en kortere tidsperiode enn de lange måltidene (Tabell 2). Utgangspunktet for dette forsøket var tre måltider om dagen, hvor hvert av de ble utført på omtrent 30 min. (+/- 10 min.). Det første måltidet for dagen ble avsluttet etter senest henholdsvis 120 min. og 30 min., uavhengig av om torsken viste tegn til metthet eller ikke. Dette ble gjort for å ikke begrense de neste måltidene, og dermed sikre videre opprettholdelse av måltidsplanen. Det ble antatt at torsken trengte en gradvis oppjustering av intensiteten i begynnelsen av de korte måltidene, oppjusteringen ble utført på inntil fem minutter. Fôringen ble stanset når fisken viste tegn til metthet. Ved hjelp av kamerabasert fôring, ble det forsøkt å oppnå minimalt med fôrspill samtidig som daglige variasjoner i appetitt tas hensyn til.

Tabell 2. Måltidsplan.

	Måltid 1	Måltid 2	Måltid 3
Kort måltid	09:30-10:00	12:00-12:30	15:00-15:30
Langt måltid	10:00-12:00	13:00-15:00	

For å sikre at fisken skulle ha mulighet til å bli mett i løpet av måltidet, ble det på forhånd gjort et anslag av hvor høy utfôringen måtte være. For å finne dette ble det tatt utgangspunkt i et gjennomsnitt av hvor mye som hadde blitt fôret per merd de siste fem dagene +20% for å gi rom for variasjon i appetitt. For å finne ut hvor mange kg fôr per tonn fisk som måtte fôres ut i minuttet:

$$Utfôring \text{ (kg/tonn/min)} = \frac{\frac{\text{Forventet kg/dag}}{\text{Biomasse (kg)}}}{\text{Antall måltider} * \text{Måltidslengde (min.)}} * 1000$$

Og videre for å finne en gitt fôringsintensitet per merd:

$$Fôringsintensitet \text{ (kg/min)} = \frac{\text{Kg/tonn/min} * \text{Biomasse (kg)}}{1000}$$

Disse anslagene ble utgangspunktet for hvordan fôringsintensiteten ble stilt inn for hver merd under måltidene. Hastigheten målt som kg/tonn/min var 2,7 ganger høyere i de merdene som fikk korte måltider sammenlignet med de med lange måltider.

For å anslå fôringsintensitet ble estimer av biomassen benyttet. Ved å holde kontroll på antall fisk i merden, og registrere daglig utfôring, var dette mulig. For å sikre presise tall, ble det gjennomført sporadiske manuelle snittvektmålinger under produksjon som bekreftet at vektene i datasystemet Mercatus Farmer var relativt presise.

### 2.3 Appetittfôring

Selv om forsøket ble basert på en måltidsplan og konkrete rammer for hvordan fôringen skulle gjennomføres, ble prinsippet om fôring etter appetitt håndhevet. Generelt innen oppdrett er det vanlig å fôre etter appetitt. Det vil si at målet med fôringen er å tildele den mengden fôr som møter appetitten i fiskegruppen på dagsbasis. For å oppnå presis appetittfôring var kamerastyring og vurdering av appetitt i tre ulike kategorier nødvendig. Appetittfôring er basert på subjektive visuelle vurderinger og det kan dermed argumenteres for at dette er en vitenskapelig svakhet i dette forsøket. For å begrense sannsynligheten for

støy i datagrunnlaget, var undertegnede den operatøren som gjennomførte fôringen for alle måltidene under forsøket. Dette innebar omtrent 84 timer overvåking av seks merder over to uker.

For å konkretisere hvordan avgjørelsen for når fôringen skulle stanses ble gjort, ble tre ulike kategorier av atferd og interesse for fôret utarbeidet; sulten, motivert og uoppmerksom torsk (Tabell 3).

Tabell 3. Beskrivelse av atferd og interesse i tre ulike kategorier.

Kategori	Visuell beskrivelse av atferd
Sulten	Dette er ivrig torsk som karakteriseres med høyere svømmehastighet, plutselige brudd i svømmebevegelsen, og at den ofte går sammen i en kaotisk stim hvor fisken går i ulike retninger. I denne kategorien er det tydelig at fisken går målbevisst etter fôret.
Motivert	Dette er interessert torsk, på dette stadiet har bevegelsesmønstrene i merden blitt litt roligere enn tilfellet med sulten torsk. Fisken går også her tydelig etter fôret, men innsatsen for å få tak i en pellet er noe lavere.
Uoppmerksom	Torsken beskrives her som mindre oppmerksom. Dette kommer til uttrykk som større spredning i det øvre sjiktet i merden, og at svømmehastigheten har gått ytterligere ned. Torsken går enda mindre aktivt etter pellets, men kan fortsatt spise en pellet som er lett tilgjengelig.

Når tilstanden i merden var på vei over til uoppmerksom atferd, nærmet det seg slutten av måltidet. Ved å endre posisjonen på kameraet kontinuerlig ble det mulig å danne et mer helhetlig samtidsbilde av situasjonen i merden. Under fôringen ble dybden på kameraet skiftet i tillegg til at vinsjen ble brukt aktivt frem og tilbake. For å kunne si noe om atferden i merden var det viktig at kameraet ble plassert slik at det gav et godt bilde av torsken mens den spiste. Ved å tolke gruppedynamikk, svømmehastighet, brudd i bevegelser og fordelingen av fisk i merden, kunne avgjørelsen for når måltidene skulle avsluttes tas. Dersom aktiviteten og interessen for fôret minsker vil dette komme til uttrykk som lavere hastighet, større spredning og mer monotone bevegelser. Selv om aktiviteten skjer i det øvre sjiktet under måltidene, ble kameraet også ført nedover i vannsøylen for å kontrollere at fôret faktisk ble spist.



## **2.4 Databehandling og statistikk**

Under gjennomføringen av forsøket ble tidspunkt for oppstart og avslutning av alle måltider registrert. Den mengden fôr (kg) som hadde blitt utfôret per merd ble også registrert for hvert måltid. Basert på disse registreringene kunne SFR beregnes. SFR viser til mengden fôr som tildeles og antas spist per dag som en prosentandel av biomasse. For å finne SFR (%) benyttes denne formelen.

$$SFR(\%) = \frac{Kg/fôr/dag}{Biomasse (kg)} * 100$$

Sammenligningen av de to ulike fôringsregimene ble gjort med utgangspunkt i SFR. Ved å ta utgangspunkt i dette i analysen, kunne ikke de små forskjellene i biomasse påvirke resultatet.

Forsøket ble kontinuerlig dokumentert gjennom perioden, og data ble registrert i Excel.

Miljødata som temperatur på 5 og 15 meters dyp ble også registrert, presentert som gjennomsnitt med standardavvik. Dette var et balansert forsøksdesign og statistiske analyser ble gjort i Excel. Datagrunnlaget ble videre behandlet i Excel, hvor det ble testet for forskjell mellom de to ulike måltidsregimene. Effekten av fiskestørrelse og mengden tildelt fôr ble sammenlignet, gjennomsnitt og standardavvik ble beregnet. Den siste dagen av forsøket ble utelatt fra denne analysen, på grunn av teknisk svikt i fôringsanlegget.

For å gjøre den statiske analysen ble Students t-test benyttet. Dette ble gjort for å se etter signifikant forskjell i gjennomsnittet av to grupper.

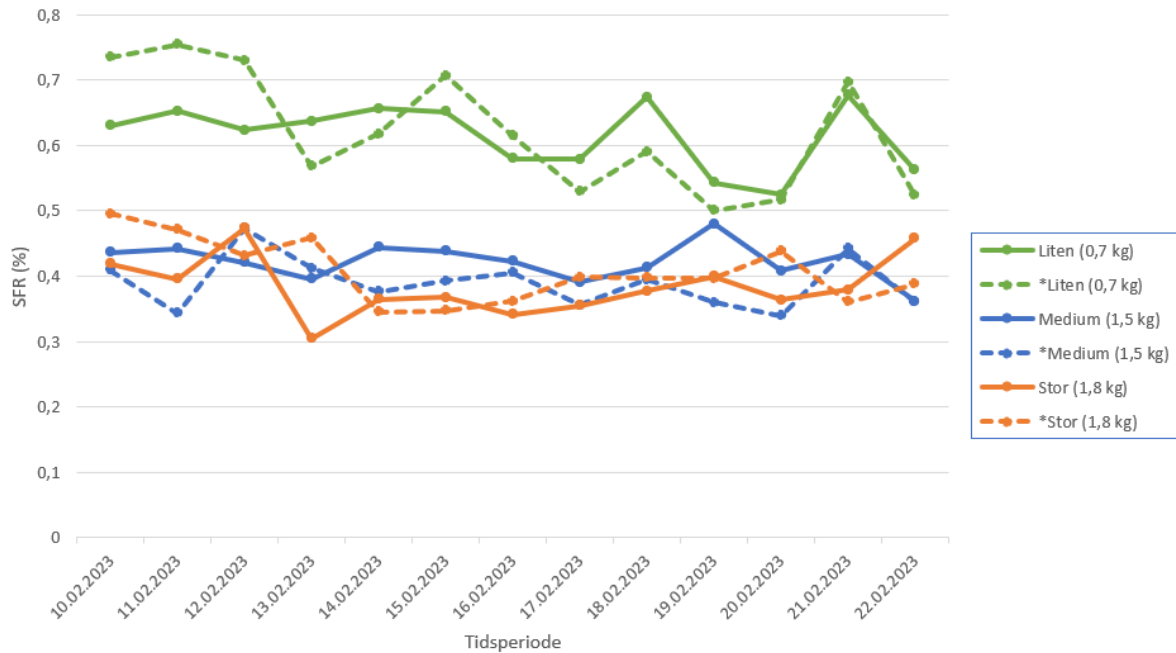
## 3. Resultat

### *3.1 Vertikalfordeling i merd og fôringsatferd*

Under fôringen kom interessert fisk opp mot overflaten. Det meste av aktiviteten pågikk i hovedsak fra 15 meter dyp og oppover. På grunnlag av dette var det hensiktsmessig å gå ned mot 20 meter for å kontrollere at fôret ble spist. Dybden som kameraet ble ført ned mot ble tilpasset etter dybden på merden. Aktiviteten i fiskegruppen kom best til syne i den øvre delen av merden, ofte var det god aktivitet fra 8-13 meter dyp under fôringen. Ved å overvåke fisken på denne dybden ble det mulig å vurdere interessen for fôret og dermed avgjøre når fôringen skulle stanses. Trolig benytter torsk i større grad mer av dybden under fôringen sammenlignet med laksefisk. En annen sentral forskjell mellom disse artene når det kommer til fôringsatferd er at laks går oppover mot pellets, mens torsk ofte svømmer nedover etter pellets. Dette har trolig blant annet med utformingen av kjeven og det faktum at torsk i naturen går langs bunnen for å beite.

### 3.2 Sammenligning av fôrforbruk

Det ble ikke funnet forskjeller i fôrforbruk ved ulike måltidslengde. Forsøket viser ingen signifikant forskjell (t-test,  $p > 0,05$ ) i mengden tildelt fôr mellom korte og lange måltider summert per dag. Figur 5 viser en sammenligning av mengden tildelt fôr, SFR gjennom perioden, fordelt på de ulike størrelsesgruppene.



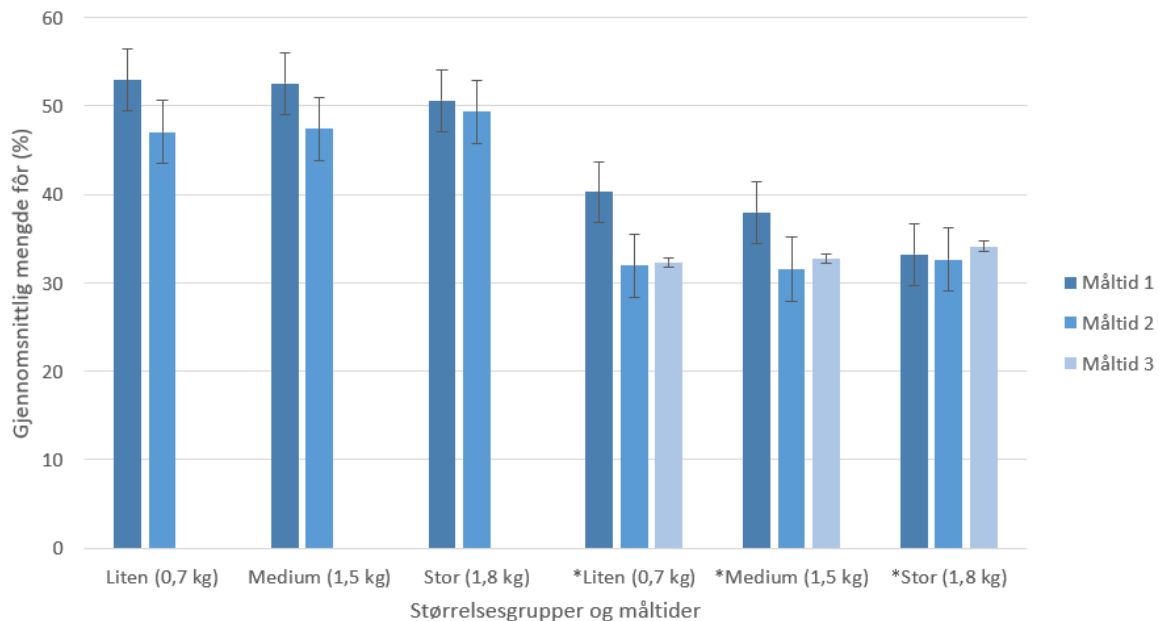
Figur 5. Daglig mengde tildelt fôr, uttrykt som SFR. Heltrukne linjer viser til gruppen med lange måltider, og stiptet linje til gruppen med korte måltider. Størrelsesgruppene skilles med ulike farge.

Gjennom forsøket hadde liten fisk en SFR i gjennomsnitt på 0,62% noe som er litt høyere enn hva som observeres for de to andre størrelsesgruppene. Medium fisk har i gjennomsnitt en SFR på 0,41%, mens stor fisk har en SFR på 0,4% i gjennomsnitt for perioden. Figuren viser at størrelsesgruppene følger hverandre og har relativt like verdier gjennom forsøksperioden. Svingningene i SFR kommer av daglige variasjoner i appetitt, noe som er vanlig å observere.

### 3.3 Fordelingen av daglig utfôring i de ulike måltidene

Det ble stort sett tildelt mest fôr i det første måltidet, figur 6 viser dette. Dette ble observert både for gruppen med lange og korte måltider. Unntaket er den store fisken med tre korte måltider, som i gjennomsnitt har hatt veldig lik utfôring i alle de tre måltidene.

Standardavviket for måltid 3 i gruppen med korte måltid er forholdsvis lavt, dette tyder på lite variasjon i dette måltidet.

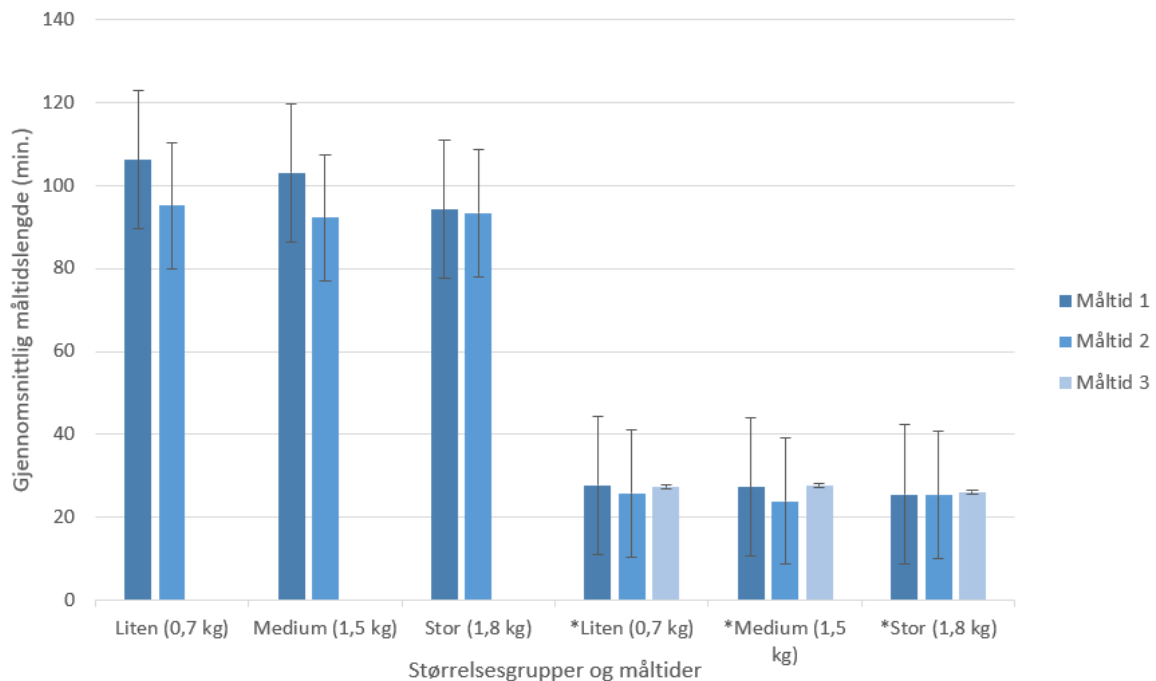


Figur 6. Gjennomsnittlig prosentvis utfôring per måltid med standardavvik. Gruppen med korte måltider er merket med en stjerne (\*).

For den gruppen som ble tildelt to måltider i løpet av dagen, ble like over 50% av fôret tildelt i løpet av det første måltidet. Forskjellene mellom måltidene var relativt større for gruppen som ble tildelt tre måltider. Opp mot 40% av den daglige mengden fôr ble tildelt i det første måltidet. Generelt var utfôringen i de to siste måltidene for denne gruppen ganske lik.

### 3.4 Tidsforbruk fordelt på måltidene

Tidsforbruk per måltid som figur 7 illustrerer, gjenspeiler figur 6, siden mengden fôr tildelt per måltid avhenger av lengden på måltidet. Figurene er likevel litt ulike, noe som kan ha med tiden som ble brukt for oppjustering av utfôringsintensiteten i begynnelsen av de korte måltidene.

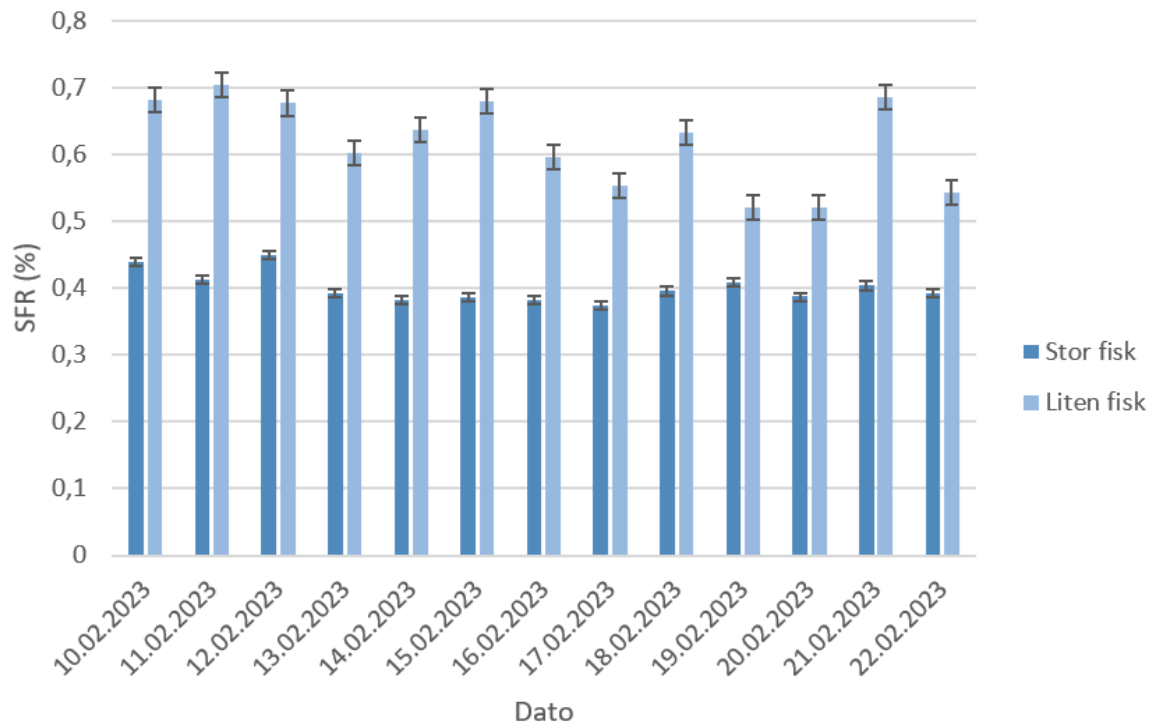


Figur 7. Gjennomsnittlig måltidslengde per måltid med standardavvik. Gruppen med korte måltider er merket med en stjerne (\*).

For gruppen med lange måltider var det første måltidet vanligvis lenger enn måltid nr. 2, noe som samsvarer med figur 6 og mengden tildelt fôr. Gruppen med korte måltider har forholdsvis lik lengde på alle de tre måltidene. Standardavviket på det siste måltidet er veldig lavt sammenlignet med de andre måltidene, noe som tyder på at tidsforbruken i dette måltidet har vært tilnærmet lik hver dag. Alle tre merdene hadde et gjennomsnitt på 27 minutter for det siste måltidet gjennom forsøksperioden.

### 3.5 Sammenligning av mengden tildelt fôr til stor og liten fisk

Den største forskjellen i SFR er mellom den minste fisken mot de to største størrelsesgruppene (Figur 8). Ved å sammenligne dette, kommer det frem en signifikant forskjell i SFR (t-test,  $p < 0,05$ ).



Figur 8. Forskjeller i SFR (%) mellom liten fisk mot de to andre størrelsesgruppene samlet. Her betyr stor fisk både 1,5 kg og 1,8 kg som en gruppe.

De to størrelsesgruppene på 1,5 og 1,8 kg kan slås sammen og betegnes som stor fisk i sammenligning med den minste fisken på 0,7 kg. Standardavviket i SFR blir mindre for stor fisk sammenlignet med liten fisk. Liten fisk viser til større variasjon i appetitt fra dag til dag, dette kan kanskje knyttes til at mindre fisk gir tydeligere stopp-signal.

Forskjell i SFR mellom stor og liten fisk er som forventet siden liten fisk generelt har høyere potensiale for tilvekst sammenlignet med større fisk. Dette bekreftes av både tidligere forsøk vist i figur 2 (Jobling, 1988) og Ode sin aktuelle vekstmodell fra figur 3 (Tvenning, 2022).

Gjennom forsøksperioden var gjennomsnittstemperaturen ved 5 meters dyp  $6,5^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,41$ ) og ved 15 meters dyp var temperaturen i gjennomsnitt  $6,7^{\circ}\text{C}$  ( $\pm 0,34$ ).

## 4. Diskusjon

Hovedformålet med dette forsøket var å finne ut om oppdrettstorsk av ulik størrelse har spesifikke preferanser for antall og lengden på måltidene og dermed utfôringshastigheten. Den subjektive vurderingen av appetitt er en viktig del av forsøket, og det kan gi begrensninger i hvor reelt fôrintaket faktisk er. For å måle effekten av måltidslengde ble torsk appetittfôret i tråd med to ulike fôringsregimer, og etter ellers vanlig praksis med bruk av undervannskamera. Siden lengden på måltidene ble basert på aktiviteten og atferden i merden, var dette avgjørende for hvor mye fôr som ble tildelt. Dersom oppdrettstorsken hadde foretrukket det ene fôringsregimet fremfor det andre, ville dette kommet til uttrykk ved at den ene gruppen ble tildelt mer fôr enn den andre og dermed vist til en høyere SFR.

Et premiss om at det har vært minimalt med fôrspill og at biomassemålene er riktig må ligge til grunn for dette forsøket. Å gjennomføre forsøk i kommersiell skala har mange fordeler, men manglende faktisk kontroll over fôrspill og tilvekst er en vitenskapelig svakhet ved dette forsøket. Det er vanskelig å simulere industriell fôring ved småskala forsøk i små og grunne kar. Et forsøk gjennomført i kommersiell skala baseres på de faktiske forhold som er aktuelle for utøvelsen av fôring. Å gjennomføre et fôringsforsøk med seks merder med ulik fiskestørrelse er unikt. Selv om forsøket går over en kort periode, gir forsøksdesignet mulighet til å vurdere resultatene. Datagrunnlaget fra forsøket ble også benyttet til å se etter andre sammenhenger som kan være av betydning for hvordan fôringsregimet kan optimaliseres. Informasjon om oppdrettstorsk har preferanser for tidspunkt i løpet av dagen for måltider ville også vært av interesse.

For å oppnå best mulig velferd og vekst i oppdrett, er det flere kriterier som må innfris. Både miljøforholdene og fysiske forhold som for eksempel tetthet er viktig for at fisk i oppdrett skal ha det bra (Lambert & Dutil, 2001). Med fokuset rettet mot fôring, er det spesielt viktig med et godt ernæringsmessig innhold i fôret som svarer til behovet, slik at god utnyttelse av energien i fôret kan oppnås (Einen et al., 2007; Lilleholt et al., 2004). Ved å ta høyde for de fysiologiske og atferdsmessige egenskapene ved torsk, kan fôringen optimaliseres og dermed bidra til å gi gode forutsetninger for best mulig vekst. Ved hjelp av kunnskap om biologien til torsk (Björnsson & Steinarsson, 2002; Brander, 2005; Kristiansen et al., 2011; Otterå et al., 2005) og tidligere gjennomførte forsøk (Folkvord & Otterå, 1993; Hanssen et al., 2012;

Hemre et al., 1991; Jørgensen & Jobling, 1992; Lambert & Dutil, 2001; Rosenlund et al., 2004; Sveier & Lied, 1998; Tvenning et al., 1997), kan anbefalinger for fôringsregimer utarbeides. En viktig forutsetning for å oppnå god vekst er at fisken tildeles nok fôr. Som energiregnskapet i figur 1 viser er dette avgjørende for at mest mulig av den inntatte energien skal gå til tilvekst (Waagbø et al., 2001). Basert på dette er det essensielt at underfôring unngås, dette gjelder for hele produksjonen. Underfôring medfører lavere vekst, det er uproduktivt og gir negative økonomiske konsekvenser for oppdretteren. Operatører som jobber med fôring, må derfor være påpasselig med å vurdere om fôringen skal stanses eller ikke.

Torsk har i tidligere forsøk vist å være fleksibel i måten den spiser, både med tanke på tidsforbruk og frekvensen av fôringen (Bjørnevik et al., 2021; Folkvord & Otterå, 1993; Hanssen et al., 2012; Hemre et al., 1991; Rosenlund et al., 2004). Basert på dette og torskens biologi er det interessant å se nærmere på konkrete regimer for fôring og hvordan torsk i oppdrett responderer på det. Ved å opprette en fôrsentral ligger forutsetningene godt til rette for kompetanseutvikling. Når kunnskapen samles i en enhet, vil det fungere som et godt effektiviseringstiltak i arbeidet med optimalisering av fôringen. Erfaring blir også enklere å overføre mellom operatørene som jobber med fôring. Funnene fra dette forsøket kan bidra til å utforme praksisen for fôring av torsk, enten det skjer lokalt fra en flåte eller fra en fôrsentral. Ved å vite mer om hvilket mulighetsrom som finnes, bidrar det til økt fleksibilitet i arbeidet ved en fôrsentral. Dette er også en positiv virkning for driftsteknikere på anleggene som får mer tid til å utføre ulike operasjoner ved merdene uten at fôringen forstyrres. Når flere anlegg skal fôres av et begrenset antall operatører er det viktig å vite hvordan arbeidet kan effektiviseres best mulig. Kunnskap om torsk sine preferanser vil bidra til å forenkle planleggingen og logistikken rundt fôringen av flere sjøanlegg.

Resultatene fra forsøket viser at måltidsregimene ikke gir en signifikant forskjell i mengden tildelt fôr. Dette tyder på at tilveksten for gruppen med lange måltider er lik som for gruppen med korte måltider. Figur 5 viser utviklingen i SFR gjennom forsøksperioden, og svingninger i fôrinntak. Grunnen til disse svingningene oppstår, er fordi appetitt naturlig varierer fra dag til dag. Det kan være flere årsaker til variasjon i appetitt, for eksempel miljømessige forhold (Zhou et al., 2018). Variasjon i appetitt kan også forklares med en høy grad av magefylling i fiskegruppen fra gårldagens fôring (Lilleholt et al., 2004). At den minste fiskegruppen viser til en generelt høyere SFR sammenlignet med de to andre fiskegruppene er som forventet. Som modellen i figur 2 viser, har mindre torsk et større potensiale til vekst enn større fisk



(Jobling, 1988). Ode sin vekstmodell fra figur 3 viser også denne sammenhengen (Tvenning, 2022). På bakgrunn av dette ble sammenligningen som kommer frem i figur 8 gjort. Ved å sammenligne liten fisk mot de to andre størrelsesgruppene samlet ble forskjellen signifikant. Disse funnene begrunnes ikke med fôringsregime, men heller at liten fisk har relativt større vekstpotensiale enn større fisk.

Som tidligere fôringsforsøk på torsk har vist, viser også dette forsøket at torsk er en fleksibel art i forhold til måten den tildeles fôr. Flexibiliteten som den utviser, kan begrunnes både ut ifra fysiologi og atferd. Det er nærliggende å tenke at en rovfisk som torsk må være tilpasset ujevn mattilgang i naturen. Torsk har stor munn, svelg og magesekk, noe som tillater den å spise større måltider i løpet av et kortere tidsrom (Lambert & Dutil, 2001). Dette fører også til at den ikke har behov for å bli tildelt fôr like ofte som for eksempel laks (Waagbø et al., 2001). Både forsøk med yngel og større torsk har vist at veksten ikke endres dersom den tilbys fôr i kun en kortere tidsperiode sammenlignet med nesten hele døgnet (Folkvord & Otterå, 1993). Dette henger sammen med graden av magefylling. Så lenge torsk har tilstrekkelig med ferdigprosessert mat i tarmen som den kan hente næring fra, vil selve tilveksten gå så fort som genetikken tillater. Med det høye proteinbehovet som torsk har, tilbys den også et fôr som er rikt på proteiner (Einen et al., 2007). På grunn av god proteinretensjon og god tilgang på fôr, vil dette føre til rask vekst. Torsk har med basis i dette et godt utgangspunkt for å oppnå en veldig god fôrfaktor.

Selv om en fiskegruppe fôres som en samlet enhet, spiser fisk individuelt. Det er derfor stor grunn til å anta at fôropptak for enkeltfisk i en merd ikke gjenspeiler fôringsregimet for fiskegruppen. Dette kan også forklare hvorfor fôringsregimene ikke viser forskjell i mengden tildelt fôr. Det er observert at enkeltindivider av både laks og torsk kan spise forbausende mange pellets på kort tid. Dette er en viktig dimensjon for å forstå hvordan ulike fôringsregimer faktisk oppleves for alle individene i en merd. Trolig legger individuelle oppdrettsfisk mindre merke til ulike regimer enn hva man skulle trodd.

Ved en lavere intensitet på utfôringen, vil det være mindre tilgjengelig fôr i merden når det fôres. Konkurransen kan oppstå internt i fiskegruppen dersom det oppfattes som for lite tilgjengelig mat, noe som i sin tur kan føre til ulikheter i veksten innad i merden. Siden torsk er en opportunistisk art, kan mindre tilgjengelig fôr føre til at de største og best tilpassede individene klarer å tilegne seg mest fôr. Dette vil gi ulik vekst og større spredning i størrelse. Ulik tilvekst og variasjon i størrelse kan føre til dominans. Trolig vil dette kunne bli en større utfordring innen oppdrett av torsk enn oppdrett av laks på grunn av torskens naturlige atferd.

Likevel er ikke klassisk dominant atferd og aggresjon vanlig å observere fra undervannskamera i merdfasen.

Sesong og dagslys for fôringen er av betydning for appetitt hos laks (Lilleholt et al., 2004). I denne sammenhengen er det naturlig å vurdere betydningen av tidspunktet for fôring av torsk også. For å se nærmere på om torsk i oppdrett har tydelige preferanser for tidspunkt for spising gjennom dagen, ble figur 6 utarbeidet. I denne analysen kom det frem at torsken tildeles prosentvis mest fôr i løpet av dagens første måltid. Dette gjelder både for gruppen med lange og korte måltider, med unntak av den store fisken med korte måltider. Utfôringen i denne merden var ganske lik i alle de tre måltidene. Generelt er standardavviket lavt for det siste måltidet i gruppen med korte måltider, mens de to første måltidene viser til litt mer variasjon. At appetitten fremstår som høyest om morgenen er også som forventet og logisk fordi det er mange timer siden forrige mulighet til å spise.

For å se litt nærmere på dette fenomenet ble figur 7 om gjennomsnittlig måltidslengde fremstilt. Det var overraskende lik lengde for dagens siste måltid for gruppen med korte måltider gjennom forsøksgruppen – også på tvers av størrelsesgruppene. Likevel har litt mindre fôr blitt tildelt i dette måltidet. Dette har trolig med at oppjusteringen av fôringsintensiteten har tatt lenger tid i dagens siste måltid fordi fiskegruppen begynner å nærme seg metthet. Siden dette var dagens siste måltid, vil det si at fiskegruppen skal ha blitt tildelt en passende mengde fôr å møte dagens appetitt når måltidet avsluttes. Derfor er det mer nærliggende å tenke at de to første måltidene ville vært mer like, mens det siste måltidet viste til mer variasjon i lengden på grunn av at de daglige svingningene i appetitt fikk sitt utspill her. Denne refleksjonen må ses i lys av at det første måltidet ikke ble tillatt å pågå i over 30 minutter. Disse funnene kan peke i retning av at appetitten kan variere gjennom dagen og at tidspunkt for fôringen bør undersøkes nærmere. De siste måltidene har blitt stanset før det har gått en halvtime, noe som tyder på at fiskegruppen har hatt mulighet til å spise ønsket mengde i løpet av dagen. Et praktisk perspektiv på fôring er at man ønsker å fôre relativt hurtig tidlig på dagen og så bruke de siste måltidene om ettermiddagene for å finjustere den tildelte fôrmengden i forhold til dagens appetitt.

Uavhengig av dette, oppleves sluttsignalene visuelt tydeligere når torsk fôres i korte måltider og med høyere intensitet i utfôringen. Tidligere fôringsforsøk utført på laks har også fremhevet tydeligheten i sluttsignalene som en klar fordel med å fôre på denne måten (Tvenning et al., 1997). Klare signaler gjør det enklere for operatørene som styrer fôringen til å tolke behovene. Dette kan være både endringer i utfôringsintensiteten og tidspunkt for

avslutning av måltid. Men siden utfôringen er høyere, vil dette også kreve at operatørene leser signalene omgående. Fôrmengde til en merd bestemmes av inndoseringen i luftstrømmen på flåten. Pelleten transporteres med ca 20 m/s hastighet i slangene. Etter at pelletene blir spredd på overflaten, synker de med en hastighet på 7-10 sek/m i vannet. Det vil si at det er betydelig forsinkelse mellom det en operatør gjør basert på kameraobservasjoner og når effekten av ned- eller oppjustering på samme dyp kommer til syne. Denne dimensjonen er det viktig å forstå for å unngå fôrspill. En annen utfordring med intensiv fôring er at kameraet kun gir film fra en begrenset del av merden. Det vil si at kameraet må flyttes frem og tilbake i merden, i tillegg til nedover i dybden slik at det kan kontrolleres om fôret spises. Ved bruk av denne metoden må operatørene gjøre en antagelse om at det de ser gjenspeiler atferden og dynamikken fra resten av merden også.

Som nevnt er det mange fordeler ved å gjennomføre et forsøk i kommersiell skala, men det er også noen ulemper ved det. Dette forsøket er representativt i form av at seks fullskala merder med ulike fiskestørrelser med så god triplikat-balanse som praktisk mulig har blitt undersøkt. Ved å undersøke problemstillingen på denne måten, kan konklusjoner om enkelte prinsipper for torsk i oppdrett tas. Som diskutert tidligere, må prinsippet om minimalt med fôrspill og biomassekontroll godtas for troverdigheten av dette forsøket. For å sørge for minst mulig risiko for variasjon og støy i datasettet, ble alle måltidene i forsøksperioden utført av samme operatør. Ved å gjennomføre forsøket på denne måten sikres kontinuitet i datagrunnlaget, og avgjørelsene for når måltidene ble avsluttet har blitt tatt på likt subjektivt grunnlag hver gang. Det argumenteres for at de to ukene med forsøksperiode er nok til å kunne se en trend. Likevel kan varigheten av forsøket trekkes frem som en svakhet. Ved å forlenge forsøket vil resultatene eventuelt bli bekreftet eller avkreftet.

Forsøket ble gjennomført i februar med gjennomsnittstemperaturer på 6,7°C ved 15 meters dyp. Når torsk har sin optimumstemperatur for vekst mellom 9°C og 14°C i merdfasen (Björnsson et al., 2007), kan det antas at appetitten generelt, og dermed tilveksten har vært lavere enn den har potensiale til ved andre temperaturer. Datagrunnlaget og analysen kan utvides ved å utføre et lignende forsøk i en annen sesong. For eksempel kan vår og sommer, når temperaturene blir gunstigere, være en interessant tidsperiode å undersøke. Ved høyere temperaturer kan det også vurderes om svømmehastigheten blir høyere. Dette vil også påvirke vurderingsgrunnlaget for appetitt. Dersom forsøket forlenges eller gjennomføres i en periode fra en annen sesong og funnene bekreftes, vil forsøket tilegnes mer troverdighet også med tanke på sesongvariasjoner.

## 5. Konklusjon

Forsøket viser at torsken er tilpasningsdyktig i en oppdrettssammenheng. Mengden tildelt fôr var uavhengig av måltidslengden ved kamerastyrt fôring. Korte måltider er en fordel for operatører ved en fôringssentral fordi det gir tydeligere stopp-signal, noe som gjør det enklere å være mer presis i fôringen og bidrar til fleksibilitet. Dette forsøket har bekreftet kjente sammenhenger om at liten fisk spiser relativt mer enn hva større fisk gjør, og dermed har et bedre potensiale for vekst.

Funnene fra dette forsøket går inn som et bidrag til Ode sitt arbeid med å optimalisere fôringen av torsk i oppdrett. Foreløpig har relativt korte måltider blitt implementert der det er mulig. Metoden er under utvikling og flere forsøk vil bli gjennomført for å videre skape et enda bedre grunnlag til å ta trygge vurderinger og avgjørelser som er vitenskapelig forankret.

## 6. Litteraturliste

- Amirkolaie, A. K. (2011). Reduction in the environmental impact of waste discharged by fish farms through feed and feeding. *Reviews in Aquaculture*, 3(1), 19–26.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1753-5131.2010.01040.x>
- Bjerkestrand, B. (2013). Akvakultur : havbruk i Norge. In T. Bolstad & S.-J. Hansen (Eds.), *Akvakultur vg2* (2. utg.). Vett & viten.
- Bjørnevik, M., Imsland, A. K. D., Hanssen, H., Roth, B., Vikingstad, E., & Foss, A. (2021). The effect of alternate-day feeding on growth and feed conversion in Atlantic cod *Gadus morhua*. *Aquaculture Nutrition*, 27(4), 1206–1211.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/anu.13260>
- Björnsson, B., & Steinarsson, A. (2002). The food-unlimited growth rate of Atlantic cod (*Gadus morhua*). *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 59(3), 494–502.  
<https://doi.org/10.1139/f02-028>
- Björnsson, B., Steinarsson, A., & Árnason, T. (2007). Growth model for Atlantic cod (*Gadus morhua*): Effects of temperature and body weight on growth rate. *Aquaculture*, 271(1), 216–226. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.06.026>
- Brander, K. (2005). *Spawning and life history information for North Atlantic cod stocks*. Citeseer.
- Einen, O., Alne, H., Helland, B. G., Helland, S. J., Hemre, G.-I., Ruyter, B., Refstie, S., & Waagbø, R. (2007). Nutritional biology in farmed fish. *Feed, Nutrition, Feeding. The Research Council of Norway*, 200–213.
- FAO, F. (2018). The future of food and agriculture: alternative pathways to 2050. *Food and Agriculture Organization of the United Nations Rome*.
- Ferrer Llagostera, P., Kallas, Z., Reig, L., & Amores de Gea, D. (2019). The use of insect meal as a sustainable feeding alternative in aquaculture: Current situation, Spanish consumers' perceptions and willingness to pay. *Journal of Cleaner Production*, 229, 10–21. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.05.012>
- Fiskeridirektoratet. (2023a). *Utvikling i fiskeriene*. <https://www.fiskeridir.no/Yrkesfiske/Tall->

og-analyse/Fangst-og-kvoter/Fangst/Fangst-fordelt-paa-art

Fiskeridirektoratet. (2023b). *Biomasse*. <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Drift-og-tilsyn/Biomasse>

Fiskeridirektoratet. (2023c). *Biomassestatistikk for torsk*.  
<https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Biomassestatistikk/biomassestatistikk-for-torsk>

Fiskeridirektoratet. (2023d). *45106 Alida*  
<https://sikker.fiskeridir.no/akvakulturregisteret/web/sites/45106>

Folkvord, A., & Otterå, H. (1993). Effects of initial size distribution, day length, and feeding frequency on growth, survival, and cannibalism in juvenile Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture*, *114*(3), 243–260. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0044-8486\(93\)90300-N](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0044-8486(93)90300-N)

Grefsrud, E. S., Andersen, L. B., Bjørn, P. A., Grøsvik, B. E., Hansen, P. K., Husa, V., Karlsen, Ø., Kvamme, B. O., Samuelsen, O. B., & Sandlund, N. (2022). Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2022-risikovurdering—Effekter på miljø og dyrevelferd i norsk fiskeoppdrett. *Rapport Fra Havforskningen*.

Hansen, A.-C., Rosenlund, G., Karlsen, Ø., Koppe, W., & 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*, *272*(1), 599–611.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.08.034>

Hanssen, H., Imstrand, A. K., Foss, A., Vikingstad, E., Bjørnevik, M., Solberg, C., Roth, B., Norberg, B., & Powell, M. D. (2012). Effect of different feeding regimes on growth in juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *Aquaculture*, *364–365*, 298–304.  
<https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.027>

Hauge, J., Bjordal, M. V., Risholm, S. B., Erbs, S., Torp, K., & Javed, S. (2022). Råvareløftet Hva skal laksen spise? Råvareløftets veikart og barrierestudier for nye fôrråvarer. *Bellona*.

Hemre, G.-I., Lambertsen, G., & Lie, Ø. (1991). The effect of dietary carbohydrate on the stress response in cod (*Gadus morhua*). *Aquaculture*, *95*(3), 319–328.  
[https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90097-Q](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90097-Q)

- 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), 1–19. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90002-6](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90002-6)
- Jørgensen, E. H., & Jobling, M. (1992). Feeding behaviour and effect of feeding regime on growth of Atlantic salmon, *Salmo salar*. *Aquaculture*, 101(1), 135–146. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0044-8486\(92\)90238-G](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0044-8486(92)90238-G)
- Kragerud, R. L. (01.02.2022). *Systematisk torskeavl gir raskere vekst*. Nofima. <https://nofima.no/resultater/systematisk-torskeavl-gir-rask-vekst/>
- Kristiansen, T., Drinkwater, K. F., Lough, R. G., & Sundby, S. (2011). Recruitment Variability in North Atlantic Cod and Match-Mismatch Dynamics. *PLOS ONE*, 6(3), e17456. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0017456>
- Lambert, Y., & 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(2), 233–247. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00448-8](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00448-8)
- Lilleholt, R., Helland, S., Denstadli, V., & Austreng, E. (2004). *Fiskeernæring : Teknisk fagskole, linje for naturbruk, Fordjupingsområde akvakultur*. GAN Forlag.
- Link, J. S., Bogstad, B., Sparholt, H., & Lilly, G. R. (2009). Trophic role of Atlantic cod in the ecosystem. *Fish and Fisheries*, 10(1), 58–87. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1467-2979.2008.00295.x>
- Nærings- og fiskeridepartementet. (2021). *Et hav av muligheter - regjeringens havbruksstrategi*. Regjeringen.no <https://www.regjeringen.no/no/dokumenter/havbruksstrategien-et-hav-av-muligheter/id2864482/?ch=1>
- Misund, B. (2022). *Kostnadsutvikling i oppdrett av laks og ørret: Hva koster biologisk risiko?*
- Olafsen, T., Winther, U., Olsen, Y., & Skjermo, J. (2012). Verdiskaping basert på produktive hav i 2050. *Det Kongelige*.
- Otterå, H., Taranger, G. L., Borthen, J., & fiskeoppdrett, N. (2005). *Oppdrett av torsk : næring med framtid*. Norsk fiskeoppdrett AS.

- Puvanendran, V., Mortensen, A., Johansen, L.-H., Kettunen, A., Hansen, Ø. J., Henriksen, E., & Heide, M. (2022). Development of cod farming in Norway: Past and current biological and market status and future prospects and directions. *Reviews in Aquaculture*, *14*(1), 308–342. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/raq.12599>
- Rosenlund, G., Karlsen, Ø., Tveit, K., Mangor-Jensen, A., & Hemre, G.-I. (2004). Effect of feed composition and feeding frequency on growth, feed utilization and nutrient retention in juvenile Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *Aquaculture Nutrition*, *10*(6), 371–378. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2004.00312.x>
- Sommerset, I., Walde, C. S., Jensen, B. B., Wiik-Nielsen, J., Bornø, G., Oliveira, V. H. S. de, Haukaas, A., & Brun, E. (2022). *Fiskehelsesrapporten 2021 Veterinærinstituttet 2*. [www.vetinst.no](http://www.vetinst.no)
- Sveier, H., & Lied, E. (1998). The effect of feeding regime on growth, feed utilisation and weight dispersion in large Atlantic salmon (*Salmo salar*) reared in seawater. *Aquaculture*, *165*(3), 333–345. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00269-5](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00269-5)
- Tvenning, L. (2022). *Vekstmodell for torsk av ulik størrelse i oppdrett, uttrykt som SGR*. Ode AS.
- Tvenning, L., Korsøen, Ø., & Talbot, C. (1997). Spisehastighet og måltidslengde hos laks i mærer. *I Dybden*, *6*(4/97).
- Waagbø, R., Espe, M., Hamre, K., & Lie, Ø. (2001). *Fiskeernæring*. Kystnæringen forl. & bokklubb.
- Zhou, C., Xu, D., Lin, K., Sun, C., & Yang, X. (2018). Intelligent feeding control methods in aquaculture with an emphasis on fish: a review. *Reviews in Aquaculture*, *10*(4), 975–993. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/raq.12218>



