



UiT Norges arktiske universitet

Fakultet for biovitenskap, fiskeri og økonomi

Effekten av kunstig belysning for kontroll av kjønnsmodning under produksjonsfasen hos oppdrettstorsk (*Gadus morhua*)

Et kvantitativt studium av oppdrettstorsk fra lokaliteten Forså i perioden 2022-2024

Sigurd Helmersen & Øystein Falck

Masteroppgave i Fiskeri og havbruksvitenskap (60 stp.), FSK-3960, mai 2024

Antall ord: 27 236

Redegjørelse for bidrag til masteroppgaven

Masteroppgaven har blitt til gjennom et godt samarbeid rundt de ulike delene av oppgaven. Introduksjonen har blitt utviklet av begge studentene. Videre i teori og metodedel har hver student hatt ansvar for å skrive ulike deler av disse kapitlene. Begge studentene har vært delaktig i utformingen av disse delene og de har blitt til gjennom innspill og diskusjoner rundt innholdet som blir presentert i oppgaven. Kapitelene resultat, diskusjon og veien videre har blitt til gjennom et felles arbeid tilknyttet skriving, utforming av tabeller og figurer og diskusjoner. Dataen som ligger til grunn for resultatene i masteroppgaven er innhentet ved hjelp av begge studentene.

Forord

En æra er forbi og masteroppgaven markerer slutten på Norges Fiskerihøgskole i denne omgang. Masteroppgaven har vært veldig lærerik med et dypdykk inn i en bransje som har vært lite omtalt på studiet. Studietiden har bydd på mange erfaringer, nye bekjentskaper og en faglig tyngde vi nå tar med oss videre inn i arbeidslivet.

Denne oppgaven er skrevet som følge av et behov i torskeoppdrettsnæringen for videre forskning på lysstyring for å forsinke kjønnsmodning. Forsøk i produksjon er viktig for å få fremgang i en potensielt viktig fremtidsnæring. Vi har et håp om at oppgaven kan være med på utviklingen av hvordan optimal lysstyring i torskeoppdrett skal være.

Først og fremst må vi takke hverandre for et godt samarbeid, gode diskusjoner og fine turer til nært og fjernt. Hvem skulle tro at å skrive masteroppgave kunne være så morsomt?

Vi vil rette en stor takk til KIME Akva for enestående hjelp. Det har vært flott å få innsikt i torskeoppdrettsnæringen gjennom KIME Akva og deres flinke ansatte. Tusen takk for åpenheten rundt selskapet deres, en spesiell takk til Stefan Paulsen. En stor takk til veileder Karl-Erik Eilertsen for gode råd og innspill som har vært til god hjelp.

Vi vil også takke Egga utvikling og deres stipend «Skreipotten» for stipendet tilknyttet Skreipotten 2023. Det har vært en «motivasjonsboost» og bidratt til et enda større ønske om å få til en oppgave som er relevant for næringslivet. Takk til Signify for lån av lysmåleinstrumenter til lysmålingene.

Vi vil også rette en stor takk til alle medstudenter på kull 2019 for fem flotte år på NFH. En spesiell takk til modulgjengen for mange gode minner gjennom det siste året med masterskrivingen. Tusen takk til Erik Johannesen Bakke for hjelp med RStudio og koding på de mørkeste dagene. En hjertelig takk rettes også til Thea Løvaas Tennøy for hjelp med grafisk fremstilling av modeller. Til slutt må vi rette en kjærlig takk til våre nærmeste som har måttet høre på alt prat om oppgaven og holdt ut med oss det siste året med mye arbeid rundt oppgaven. Vi setter stor pris på dere!

Tromsø, mai 2024

Sigurd Helmersen & Øystein Falck

Sammendrag

I dag er fiskeriene på verdensbasis overfisket, torsk kvotene er synkende og med et stadig økende matbehov må økningen i matproduksjon komme fra oppdrett. Torskeoppdretterne setter ut stadig mer yngel og har ambisjoner om å utvide videre. En av hovedutfordringene er kjønnsmodning i merd. Lysstyring for å forsinke kjønnsmodning vil være essensielt for en bærekraftig vekst for næringen.

Atlantehavstorsk (*Gadus morhua*) er en av de viktigste kommersielle artene for norsk fiskerinæring. Oppdrett kan være med å sikre råstoff ut i markedene gjennom hele året ettersom fiskeriet er sesongbasert.

Det ble registrert gonadeutvikling fra januar 2023 til april 2024 ved lokalitet Forså i Ibestad kommune, hos KIME Akva. Ved prøveslakt i oktober 2023 og slakt fra februar til mars 2024 ble det gjort større uttak og gonadekontroll på 50 individer for hvert uttak.

Lysprøver ble tatt og registrert fra ulike punkter i merdvolumet. Prøvetaking i merd ble foretatt med og uten naturlig lys tilstede.

Lysprøvene avdekket betydelige variasjoner i lysmengden oppfattet i merdene. Fordelingen av lys som ble montert var ikke tilstrekkelig for å dekke hele merdvolumet. Videre viser resultatene fra slakteriene at det er en sammenheng mellom synkende leverindeks (HSI %) og en økning av gonadosomatisk indeks (GSI %). Slaktningsdataen fra februar til mars 2024 avslørte at GSI-nivåene ble holdt under grenseverdier som krevde at umiddelbare tiltak måtte iverksettes.

Basert på resultatene som er oppnådd viser studien at lyssetting har en effekt på forsinkelse av kjønnsmodning av oppdrettstorsk.

Nøkkelord: Torsk, oppdrett, kjønnsmodning, lys, gonadosomatisk indeks (GSI), leverindeks (HSI)

Abstract

Today, fisheries worldwide are overfished, cod quotas are declining, and with a constantly increasing food demand, the increase in food production must come from aquaculture. Cod farmers are releasing more and more juveniles and have ambitions to expand further. One of the main challenges is sexual maturation in cages. Light management to delay sexual maturation will be essential for sustainable growth for the industry.

Atlantic cod (*Gadus morhua*) is one of the most important commercial species for the Norwegian fishing industry. Aquaculture can help ensure raw materials in the markets throughout the year as fishing is seasonal. Gonad development was recorded from January 2023 to April 2024 at the Forså location in Ibestad municipality, at KIME Akva. During sample slaughter in October 2023 and slaughter from February to March 2024, larger samples and gonad checks were made on 50 individuals for each sampling. Light samples were taken and recorded from various points in the cage volume. Sampling in the cage was done with and without natural light present.

The light samples revealed significant variations in the amount of light perceived in the cages. The distribution of light installed was not sufficient to cover the entire cage volume. Furthermore, the results from the slaughterhouses showed a connection between declining liver index (HSI %) and an increase in gonadosomatic index (GSI %). Slaughter data from February to March 2024 revealed that GSI levels were kept below threshold values that required immediate action.

Based on the results obtained, the study shows that lighting has an effect on delaying the sexual maturation of farmed cod.

Keywords: Cod, aquaculture, sexual maturation, light, gonadosomatic index (GSI), hepatosomatic index (HSI)

Ordforklaring

Fiskekvote	En fastsatt mengde av en fiskeart som er lov å fange i en bestemt tidsperiode.
Fôrfaktor	Sier noe om hvor effektiv fisken utnytter fôret. Viser hvor mange kilo fôr som trengs for å produsere en kilo i vekt.
Gonader	Er en fellesbetegnelse på de reproduktive organer som produserer kjønnsceller og hormoner.
Gytespreng	Torsken får utvidet mage grunnet store gonader i buken. Fisken overstiger evnen til å kvitte seg med eggene naturlig. Også kalt «egg bound syndrome» (EBS).
Handlingsregelen	Fiskekvotene kan ikke settes ned mer enn 20 prosent (Fisheries, 2023).
Kjønnsmoden	Kjønnsmodning hos torsk vil være når fisken er reproduksjonsklar, med utvikling av eggstokker hos hunner og testikler hos hanner.
Lumen	Måleenheten som angir den totale mengden synlig lys som utstråles fra en lyskilde, uavhengig av retning.
Lux	Måler hvor mye av lyset som faktisk treffer et spesifikk område eller overflate.

Forkortelser

GSI	Står for gonadosomatisk indeks. Indeksen måles i prosent og viser hvor stor andel vekten av gonadene utgjør av totalvekt på fisken.
HSI	Står for hepatosomatisk indeks eller leverindeks. Indeksen måles i prosent og viser hvor stor andel leveren utgjør av totalvekten.
FSH	Står for follikkelstimulerende hormon. Hormonet stimulerer til modningen av egg- og sædceller.
LH	Står for luteiniserende hormon. Hormonet stimulerer produksjonen av østrogen og testosteron.
HHG-aksen	Står for hjerne-hypofyse-gonade-aksen. Prosess som setter i gang kjønnsmodningen gjennom stimuli fra miljøet rundt og det indre. For eksempel endring i daglengde og ernæring.
GTH	Står for gonadotropiner. Overordnet for kjønnshormonene FSH og LH som stimulerer funksjonen til gonadene.
GnRh	Står for «Gonadotropin releasing hormone». Er hormonet som skilles ut fra hypotalamus, og som videre stimulerer til produksjonen av LH og FSH.

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	1
1.1	<i>Bakgrunn for oppgaven.....</i>	7
1.2	<i>Problemstillinger.....</i>	7
2	Teori.....	8
2.1	<i>Torskefamilien (Gadidae).....</i>	8
2.2	<i>Atlantehavstorsk (Gadus morhua).....</i>	8
2.3	<i>Utviklingen av norsk torskeoppdrett.....</i>	8
2.3.1	<i>Torskeavlsprogrammet og ny kollaps</i>	9
2.4	<i>Generelle utfordringer i torskeoppdrett.....</i>	10
2.5	<i>Kjønnsmodning hos torsk.....</i>	13
2.5.1	<i>Biologisk perspektiv knyttet til kjønnsmodning hos torsk.....</i>	13
2.6	<i>Konsekvenser av kjønnsmodning hos oppdrettstorsk.....</i>	15
2.6.1	<i>Påvirkning av filetkvalitet.....</i>	15
2.6.2	<i>Fiskevelferd ved kjønnsmodning</i>	16
2.6.3	<i>Mulig påvirkning på vill bestand.....</i>	17
2.6.4	<i>Økonomisk perspektiv rundt kjønnsmodning</i>	18
2.7	<i>Lyssetting i torskeoppdrett.....</i>	19
2.7.1	<i>Tidligere forsøk med lyssetting</i>	19
2.7.2	<i>Moderne forsøk med lyssetting.....</i>	20
2.7.3	<i>Lysstyring for å forhindre kjønnsmodning.....</i>	21
2.8	<i>Lovverk og reglement</i>	22
2.9	<i>Kartlegging av kjønnsmodningsprosessen</i>	23
2.9.1	<i>Gonadosomatisk indeks og leverindeks.....</i>	23
2.9.2	<i>Modningsstadier for hunn- og hanntorsk</i>	24
3	Metode.....	27
3.1	<i>Forsøksdesign.....</i>	27
3.2	<i>Informasjon om utsatt yngel.....</i>	28
3.3	<i>Prøveuttak av gonader og lever.....</i>	32
3.4	<i>Prøveuttak ved slakt</i>	33
3.5	<i>Oppsett av kunstig belysning i merd.....</i>	34
3.6	<i>Utførelse av lysmålinger.....</i>	35
3.7	<i>Statistikk.....</i>	37
3.7.1	<i>Data analyse</i>	37
3.8	<i>Tekniske spesifikasjoner</i>	38
3.8.1	<i>Måleinstrumenter og prøvetakning av lys.....</i>	38
3.8.2	<i>Tekniske spesifikasjoner for merd og not</i>	38
3.8.3	<i>Tekniske spesifikasjoner for undervannslysene</i>	39
4	Resultat.....	40

4.1	<i>Utvikling av vekst og kjønnsmodning</i>	40
4.1.1	Prøveuttak av gonader etter 17 måneder i sjøfasen.....	41
4.1.2	Utviklingen av gonadosomatisk indeks	42
4.1.3	Beskrivende statistikk av gonadeutvikling.....	45
4.1.4	Makroskopisk vurdering av modningsstadier	49
4.1.5	Fremstilling av gonadestadiene.....	50
4.2	<i>Utvikling av leverindeks</i>	56
4.2.1	Beskrivende statistikk av leverutvikling	58
4.3	<i>Undersøkelse av lysintensitet ved ulike dybder i merd</i>	62
5	Diskusjon	64
5.1	<i>Diskusjon av vekstutvikling</i>	64
5.2	<i>Diskusjon rundt lever- og gonadeutvikling</i>	66
5.3	<i>Drøfting av effekten av lys</i>	68
5.4	<i>Diskusjon av variabiliteten i vekt og gonadeutviklingen</i>	69
5.5	<i>Påvirkningen på villtorsk</i>	70
5.6	<i>Påvirkning av geografisk område</i>	70
5.7	<i>Alternativ overvåking av kjønnsmodning</i>	71
	<i>Svakheter ved studien</i>	73
5.8	73
5.8.1	Utfordringer knyttet til gjennomføring av lysmålingene	73
5.8.2	Prøvetaking på lokaliteten.....	73
5.8.3	Prøvetakning slakteri og makroskopisk vurdering	74
5.8.4	Mangel på kontrollmerd	75
6	Veien videre	77
7	Konklusjon	79
8	Referanseliste	80

Tabelliste

Tabell 1: Tabellen viser minimum antall lamper som trengs i merdvolumet med en forutsetning at lysbehovet er 25 lux. Beregningen er gjort for merder med ulik størrelse, for 90 meters omkrets, 120 meters omkrets og 160 meters omkrets (Bergheim, u.å.-a).....	22
Tabell 2: Oppsummering av modningsgradene hos hunntorsk. Viser stadium 1 til 4 i modningsstadiet, hvor 1 er lavest og 4 er høyest. Ved siden ligger en beskrivelse av de ulike stadiene som Havforskningsinstituttet kommer med til oppdrettsselskapene. Tabellen er gjengitt med tillatelse fra Alix & Norberg (Alix & Norberg, 2024).....	24
Tabell 3: Oppsummering av modningsstadiene hos hanntorsk. Viser stadium 1 til 4 i modningsstadiet, hvor 1 er lavest og 4 er høyest. Ved siden ligger en beskrivelse av de ulike stadiene som Havforskningsinstituttet kommer med til oppdrettsselskapene. Tabellen er gjengitt med tillatelse fra Alix og Norberg (Alix & Norberg, 2024).....	25
Tabell 4: Nøyaktig informasjon om yngelen som ble satt ut ved lokalitet Forså. Inkluderer informasjon om hvilken merd fisken ble plassert i, hvilket settefiskanlegg som produserte yngelen og når den ble satt ut i sjø. Kroppsvekt er gjennomsnittsvekt (g) ± standardavvik på fisken som ble satt ut i merden. Verdier i parentes for merd 4 er fra restlevering av yngel den 19.07.2022.....	29
Tabell 5: Tabellen gir en oversikt over prøvetakningsplanen for slakt ved to slakterier, Vesterålen Havbruk Bø (VHB) og Kråkøy slakteri (KS) i Roan. Informasjonen inkluderer dato for uttakene, antall fisk, hvilken merd torsken stammer fra, snittvekten og antall måneder den har stått i sjø.....	34
Tabell 6: Tekniske data for Aqualux 2500 (BioMarine) og Seacage 680 (Phillips). Tabellen viser produktnavn og informasjon om produktet. Cellene som er merket med «X» indikerer utilgjengelig eller manglende informasjon for det angitte produktet.	39
Tabell 7: Statistikk fra 48 individer fra merd 7, som ble slaktet 24.10.2023. Viser antall (N), gjennomsnitt (Mean), standardavvik (St.Dev.), minimum verdi (Min) og maksimum verdi (Max). Vekt står i gram (g), GSI er oppgitt i prosent (%).	46
Tabell 8: Statistikk fra 150 individer fra merd 2, 6 og 7 som ble slaktet fra 28.02.2024-15.03.2024. Viser antall (N), gjennomsnitt (Mean), standardavvik (St.Dev.), minimum verdi (Min) og maksimum verdi (Max). Vekt står i gram (g), GSI er oppgitt i prosent (%).	46
Tabell 9: Tabellen viser om det er statistisk signifikant korrelasjon mellom gonadosomatisk indeks (GSI%) og kjønn fra 48 fisk som kom fra merd 7 (23). Modellen beregner at kjønn	

ikke har noen statistisk signifikant påvirkning på GSI med et satt signifikansnivå på $p < 0.05$	48
Tabell 10: Tabellen viser om det er en statistisk signifikant korrelasjon mellom gonadosomatisk indeks (GSI %) og kjønn fra 150 fisk som kom fra merd 2, 6 og 7 (24). Modellen beregner at kjønn ikke har noen statistisk signifikant påvirkning på GSI med et satt signifikansnivå på $p < 0.05$	48
Tabell 11: Tabellen viser den visuelle vurderingen av 100 individer fra merd 2 og 7. Den gjennomsnittlige GSI` en er vist for hvert stadiet i utviklingen.	49
Tabell 12: Statistikk fra 48 individer fra merd 7, som ble slaktet 24.10.2023. Viser antall (N), gjennomsnitt (Mean), standardavvik (St.Dev.), minimum verdi (Min) og maksimum verdi (Max). Vekt står i gram (g), HSI er oppgitt i prosent (%).	58
Tabell 13: Statistikk fra 150 individer fra merd 2, 6 og 7 som ble slaktet fra 28.02.2024-15.03.2024. Viser antall (N), gjennomsnitt (Mean), standardavvik (St.Dev.), minimum verdi (Min) og maksimum verdi (Max). Vekt står i gram (g), HSI er oppgitt i prosent (%).	58
Tabell 14: Tabellen viser om det er en statistisk signifikant korrelasjon mellom leverindeks (HSI %) og kjønn i merd 7 (23) fra 48 fisk slaktet 24.10.2023. Modellen beregner at kjønn ikke har noen statistisk signifikant påvirkning på HSI med et satt signifikansnivå på $p < 0.05$	60
Tabell 15: Tabellen viser om det er statistisk signifikant korrelasjon mellom leverindeks (HSI%) og kjønn i merd 2, 6 og 7 (24) fra 150 individer som ble slaktet mellom 28.02.2024-15.03.2024. Modellen beregner at kjønn ikke har noen statistisk signifikant påvirkning på HSI med et satt signifikansnivå på $p < 0.05$	61

Figurliste

Figur 1: Oversikt over kvotene for nordøstarktisk torsk de siste 10 årene (tall fra 2014 til 2024). Tallene er hentet fra Havforskningsinstituttet (Havforskningsinstituttet, 2024).	1
Figur 2: Oversikt over utviklingen i rekrutteringen for nordøstarktisk torsk, med en alder over 3 år. Utviklingen vises fra 1945 til 2023. Y-aksen viser antall fisk vist med tall i milliarder og x-aksen viser årstall. Dataene har et konfidensintervall på 95%. Figuren er gjengitt med tillatelse fra IMR/PINRO (IMR/PINRO, 2023).....	2
Figur 3: Biomasseindeks for skreitokt fra 1985-2023. Figuren viser en indeks på hvor mye skrei som er blitt observert i Lofoten fra 1985 til 2023 (Fuglebakk & Thorsen, 2023).....	3
Figur 4: Oversikt over selskap som har fått tiltalelse til å drive torskeoppdrett i Norge (y-aksen). Og antall tillatelser for hvert selskap per 01.01.2024 (x-aksen). Dataen er hentet fra Fiskeridirektoratet (Fiskeridirektoratet, 2023).	4
Figur 5: Oversikt over antall torskeyngel (<200 gram) som har blitt satt ut i merd innen akvakultur i Norge. Tall er i 1000 og viser fra årene fra 2019 til 2023. Tallene er hentet fra Fiskeridirektoratet. (Fiskeridirektoratet, 2024a).	5
Figur 6: Oversikt over antall oppdrettstorsk som har rømt i perioden 2006-2024 (29.04.2024). Tall hentet fra Fiskeridirektoratet (Fiskeridirektoratet, 2024b).	12
Figur 7: Eksempel på dårlig fiskevelferd assosiert med kjønnsmodning: torsk med gytespreng eller «egg bound syndrome» (EBS) (Puvanendran et al., 2022).....	16
Figur 8: Figuren viser plasseringen av undervannslamper (2500 W og 600 W) i forsøksmerder på lokaliteten Svartekari for torskeoppdretteren Ode. Oppsettet gir en effekt på totalt 28,4 kW (Bjørkevoll & Dahl, 2023)	20
Figur 9: Tidslinjen for forsøket fra oppstart til siste prøver. Figuren viser tidspunkt for prøvetakning. Gonadeprøvene som hadde oppstart januar 2023 pågikk månedlig etter oppstart. De blå boksene forklarer hva som skjedde på tidspunktet, mens de grønne boksene forklarer antall fisk analysert og eventuell annen relevant informasjon.	28
Figur 10: Histogrammet viser fisken som ble levert til merd 1 og 2 den 23.05.2022. Gjennomsnittsvekt på $58,6 \pm 25,9$ gram. Fisken ble deretter fordelt 163 455 (babord brønn) til merd 1 og 188 066 (styrbord brønn) til merd 2. Y-aksen viser «frequency» som forteller hvor mange prosent av vektgruppen på x-aksen som er representert.	30
Figur 11: Histogrammet viser fisken som ble levert til merd 3 den 24.06.2022. Gjennomsnittsvekten på fisken var $90,4 \pm 45,5$ gram. Det var 186 302 fisk som ble fordelt ut i	

merden. Y-aksen viser «frequency» som forteller hvor mange prosent av vektgruppen på x-aksen som er representert.	30
Figur 12: Histogrammet viser første levering av fisk som kom til merd 4 den 24.06.2022. Gjennomsnittsvekt på $86,6 \pm 45,1$ gram på 90 005 fisk. Y-aksen viser «frequency» som forteller hvor mange prosent av vektgruppen på x-aksen som er representert.....	31
Figur 13: Histogrammet viser leveransen av 379 093 fisk fra Mørkvedbukta som ble levert til merd 6 og 7 i Forså. Det ble fordelt 190 997 til merd 6 og 188 096 til merd 7. Gjennomsnittsvekten var på $63,6 \pm 27,1$ gram og en total biomasse på 12 tonn. Y-aksen viser «frequency» som forteller hvor mange prosent av vektgruppen på x-aksen som er representert.	31
Figur 14: Illustrasjon av lyssetting i merd hos KIME Akva. Det er fem strenger (1-5 fra venstre) som går på tvers av merden. På streng nr. 1 var det montert 3 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) på 2-3 meters dybde. Streng nr. 2 var det montert 2 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) på 7-9 meters dybde. På streng nr. 3 var det montert 7 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) lys på 2-3 (4stk.) meters og 7-9 (3stk.) meters dybde. I tillegg var det montert 2 x 2500 W (Aqualux 2500, BioMarine, Surnadal) på 15 meters dybde. Streng nr. 4 var det montert 2 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) på 7-9 meters dybde. På streng nr. 5 var det montert 3 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) på 2-3 meters dybde. Lyssettingen ga en samlet effekt på 16,56 kW.	35
Figur 15 : Til venstre viser figur (A) hvordan sensorene var koblet på metallstangen under prøvetakningen. Til høyre (B) ser man hvordan prøvetakningen i merd ble foretatt. Begge bildene er tatt ved lokalitet Forså til KIME Akva i Ibestad den 06.02.2024.	36
Figur 16: En oversikt over hvor i merden de ulike lysmålingene ble tatt og hvor lysene i merden er plassert og dybden på disse. Tallene ved siden av punktene markerer rekkefølgen prøvene ble gjort. Markøren for prøvetakning som har mørk kjerne viser til prøven tatt på ettermiddagen. N er markert for Nord, Ø for Øst, V for Vest og S er Sør der hvor båten befinner seg.	37
Figur 17: SpectroSense2 (Skye Instrument, Storbritannia) (A) som brukes til å lese av resultatene fra lys-sensoren. SKUW-310 (Skye Instrument, Storbritannia) (B) som brukes til å registrere lysdata (Skye Instruments, u.å.-a, u.å.-b).....	38
Figur 18: Diagrammet illustrerer utviklingen i vekt i gram for fiskegruppen fra Mørkvedbukta (MB). Utviklingen vises fra 01.01.2023 til 01.04.2024.	40
Figur 19: Diagrammet illustrerer utviklingen i vekt i gram for fiskegruppen fra Arctic Cod (AC). Utviklingen vises fra 01.01.2023 til 01.04.2024.....	40

Figur 20: Sammenhengen mellom størrelse på fisken (gram) og gonadeutvikling på gonadene (gram) for femti fisk som ble slaktet 24.oktober 2023 med opphav fra lokalitet Forså, Ibestad. Målingene er gjort på slakteriet til Vesterålen Havbruk i Bø. Grafen har med trendlinje for uttaket. Y-aksen går fra 0 til 180 gram og x-aksen går fra 1500 til 6000 gram. 41

Figur 21: Gonadosomatisk indeks (GSI %) av 50 individer med opphav fra lokalitet Forså, Ibestad. Målingene ble gjort etter uttak og transport til slakteriet ved Vesterålen Havbruk i Bø den 24.oktober 2023. Y-aksen viser GSI %, mens x-aksen viser rund vekt (gram) av fisken. Figuren inkluderer også en gjennomsnittslinje for uttaket på 1,07%..... 42

Figur 22: Utvikling i gonadosomatisk indeks (GSI) for alle merdene ved lokalitet Forså. Grafen viser GSI over 15 måneder fra 1.januar 2023 til 1.april 2024. Yngel ble levert fra Mørkvedbukta (MB) og Arctic Cod (AC), spesifikk utvikling i GSI for disse populasjonene er presentert i henholdsvis blått (AC) og oransje (MB). Det ble gjort måling av 20 stk fisk fra hver fiskegruppe for hver enkelt måling. 42

Figur 23: Utviklingen av gonadosomatisk indeks (GSI %) for fiskegruppene Mørkvedbukta (MB), Arctic Cod (AC) og kun hunntorsk for de to gruppene (MB f og AC f) fra 01.01.2023 til 01.04.2024. Utviklingen er beregnet fra alle merdene ved lokalitet Forså hos KIME Akva. 43

Figur 24: Sammenligning mellom gonadosomatisk indeks (GSI %) (y-aksen) på 50 fisk (x-aksen). Plottene i blå farge illustrerer fiskeindivider fra slakteriet hos Vesterålen Havbruk Bø (VHB) tatt den 24.10.2023 fra merd 7. Den blå linjen representerer gjennomsnittet av GSI % som er på 1,07 %. Plottene i oransje viser individene fra merd 7 som ble slaktet hos Kråkøy Slakteri (KS) i Roan den 15.03.2024. Den oransje linjen viser gjennomsnitt av GSI % på 3,54 % fra de 50 individene. 44

Figur 25: Oversikt over gonadosomatisk indeks (GSI %) for fire utvalgte merder ved lokalitet Forså. Figuren viser resultat fra merd 7 (23) tatt 24.10.2023 hos VHB nede til venstre. Videre illustreres merd 2, 6 og 7 (24) med GSI-prøver tatt 15.03.2024 hos KS. Resultatene er skilt mellom hunn- og hannkjønn i forholdsvis blå (hunn) og rød farge (hann)..... 45

Figur 26: Boksplott av gonadosomatisk indeks (GSI %) for merd 7 (23) og 7 (24). Dette boksplottet viser utstikkere/ «whiskers» som illustrerer de nedre og øvre grenseverdiene til hovedgrupperingen av dataverdiene. Dataen som ikke passer til hovedgrupperingen vises som uteliggere i form av små sirkler øverst eller nederst i boksplottet. På kvartilbredden beskrives 1. kvartil som begynner nøyaktig på 25%, medianen på nøyaktig 50% og 3.kvartil på nøyaktig 75% av dataen. Uttakene er gjort henholdsvis 24.10.2023 og 15.03.2024 fra merd 7. Til venstre ser man et kompakt boksplott med korte «whiskers». Det er tre uteliggere som ligger

utenfor normalverdiene for 7 (23). Til høyre ser man 7 (24) hvor kvartilbredden er blitt større. Det er større variasjon i dataen som gir lengre «whiskers». Her er det kun to uteliggere som ligger over 6 % GSI.....	47
Figur 27: Fordeling av den visuelle vurderingen av gonadene til 100 individer fra merd 2 og 7 ved lokalitet Forså hos KIME Akva. Til sammen utgjør hele figuren 100%.....	49
Figur 28: Bilde av to hunngonader fra fisk slaktet etter 21 måneder i sjø. (A) Gonade på 80 gram fra en hunntorsk med rund vekt på 5280 gram. Gonadosomatisk indeks (GSI %) på for denne fisken var 1.51%. (B) Gonade ser på 1415 gram fra en hunntorsk med rund vekt på 5375 gram. Dette ga en GSI % på 26,3%. Begge individene stammer fra merd 2 ved lokalitet Forså hos KIME Akva.....	50
Figur 29: Bilde av to hanngonader. Til venstre (A) ser man en hanngonade på 65 gram fra en torsk med rund vekt på 3560 gram. Dette ga en gonadosomatisk indeks (GSI %) på 1,83%. Videre ser man til høyre (B) en hanngonade på 235 gram fra en torsk med rund vekt på 3360 gram. Noe som ga en GSI på 6,99%. Begge individene stammer fra merd 7 ved lokalitet Forså hos KIME Akva.	51
Figur 30: Bilder av en hann- og hunngonade. Til venstre (A) ser man en hunngonade ved makroskopisk vurdering på stadium 1 (umoden). Gonaden er på 50 gram fra en torsk med rundvekt på 4365 gram. Dette gir en gonadosomatisk indeks (GSI %) på 1,1%. Til høyre (B) ser man en hanngonade med en makroskopisk vurdering på stadium 1(umoden). Gonaden har en vekt på 20 gram fra en fisk med rundvekt på 4290 gram. Dette gir en GSI % på 0,46%. Begge gonadene stammer fra fisk merd 2 ved lokalitet Forså hos KIME Akva.....	52
Figur 31: Bilde av en hunn- og hanngonade på stadium 4 (utgytt/hvilende). Til venstre (A) ser man en hanngonade på 20 gram fra en fisk med rundvekt på 4615 gram. Dette gir en gonadosomatisk (GSI %) på 0,43%. Til høyre (B) ser man en hunngonade som veier 125 gram fra en torsk med rundvekt på 4645 gram. Noe som gir en GSI på 2,69%. Begge individene stammer fra merd 7 ved lokalitet Forså hos KIME Akva.	53
Figur 32: Bilde av 3 hunngonader fra tre ulike fiskeindivider. Til venstre (A) som er senere i den modnende fasen (stadium 2) fra slakteriet VHB 24.10.2023. Denne veier 68 gram og har en gonadosomatisk indeks (GSI%) på 1,59 %. I midten (B) viser en utgytt/hvilende (stadium 4) hunngonade fra slakteriet KS den 12.03.2024. Vekten på gonaden er 75 gram fra en fisk på 4320 gram. Noe som gir en GSI % på1,74 %. Til høyre (C) en hunngonade som er tidlig i fasen som modnende (stadium 2) fra 12.03.2024 fra slakteriet KS Vekten på gonaden er 50 gram fra en fisk på 4595 gram. Dette gir en GSI % på 1,09%. Individene stammer fra merd 7 ved lokalitet Forså hos KIME Akva med nesten 5 måneders mellomrom mellom uttakene...	54

Figur 33: Bilde av to hanngonader med ca. 5 måneder mellomrom (24.10.2023-15.03.2024). Til venstre (A) ser man en hanngonade som er umoden (stadium 1) og veier 30 gram fra en torsk med rundvekt på 3450 gram. Her er det en gonadosomatisk indeks (GSI %) på 0,87%. Fisken ble slaktet 24.10.2023 hos Vesterålen Havbruk Bø (VHB). Til høyre ser man en hanngonade (B) som er i en gytende hovedgyteperiode (stadium 3). Gonaden veier 160 gram fra en torsk med rundvekt på 3445 gram. Dette gir en GSI på 4,64% og var slaktet 12.03.2024 hos Kråkøy Slakteri (KS) i Roan. Individene stammer fra merd 7 ved lokalitet Forså hos KIME Akva. 55

Figur 34: Leverindeks (HSI%) for 50 fisk som ble slaktet hos Vesterålen Havbruk Bø (blå) og Kråkøy Slakteri (oransje). Gjennomsnitt illustreres ved de heltrukne linjene for hvert av uttakene. Gjennomsnitts HSI på 12,86% for uttaket tatt 24.10.2023 og 9,47% for uttaket tatt 12.03.2024. 56

Figur 35: Oversikt over leverindeks (HSI) fra merd 7 fra prøver tatt 24.10.2023 og 12.03.2024. Til venstre ser man HSI for fisken som ble slaktet fra merd 7 den 24.10.2023. Mens til høyre ser man leverindeksen for fisken som ble slaktet fra merd 7 den 12.03.2024. Resultatene er skilt mellom hunn- (blå) og hannfisk (rød). 57

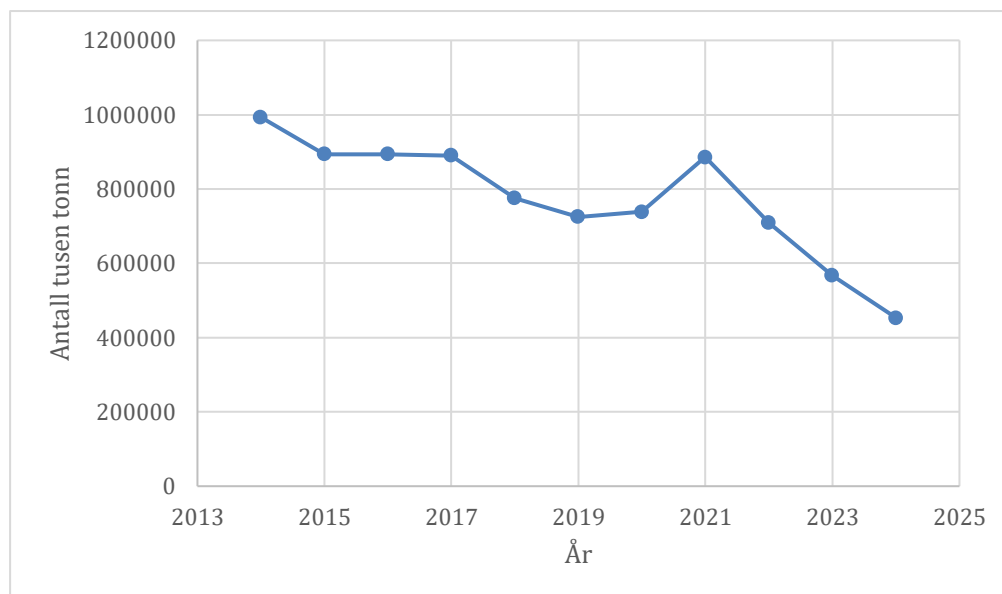
Figur 36: Boksplokk av leverindeks (HSI %) for merd 7 (23) og 7 (24). Dette boksplokket viser utstikkere/ «whiskers» som illustrerer de nedre og øvre grenseverdiene til hovedgrupperingen av dataverdiene. Dataen som ikke passer til hovedgrupperingen vises som uteliggere i form av små sirkler øverst eller nederst i boksplokket. På kvartilbredden demonstreres 1. kvartil som begynner nøyaktig på 25%, medianen på nøyaktig 50% og 3.kvartil på nøyaktig 75% av dataen. Uttakene er gjort henholdsvis 24.10.2023 og 15.03.2024 fra merd 7. Til venstre ser man 7 (23) hvor kvartilbredden er smal med korte «whiskers» og kun en uteligger. Til høyre viser 7 (24) at det er større spredning i parameterne som gjør kvartilbredden større. Det er kun en uteligger her også. 59

Figur 37: Illustrerer lysmålingene som ble gjort oppover i vannsøylen ved lokalitet Forså den 6.februar 2024. De ulike fargene representerer hvor i merden lysmålingen ble gjennomført. Y-aksen viser lysstyrken målt i lux og x-aksen representerer dybden målingen ble gjort fra 5 til 20 meter. Stjernene indikerer en lysprøve som ble gjort i umiddelbar nærhet av en lyskilde. 62

Figur 38: Illustrerer lysmålingene som ble gjort nedover i vannsøylen ved lokalitet Forså den 6.februar 2024. De ulike fargene representerer hvor i merden lysmålingen ble gjennomført. Y-aksen viser lysstyrken målt i lux og x-aksen representerer dybden målingen ble gjort fra 5 til 20 meter. Stjernen indikerer en lysprøve som ble tatt i umiddelbar nærhet av en lyskilde. 63

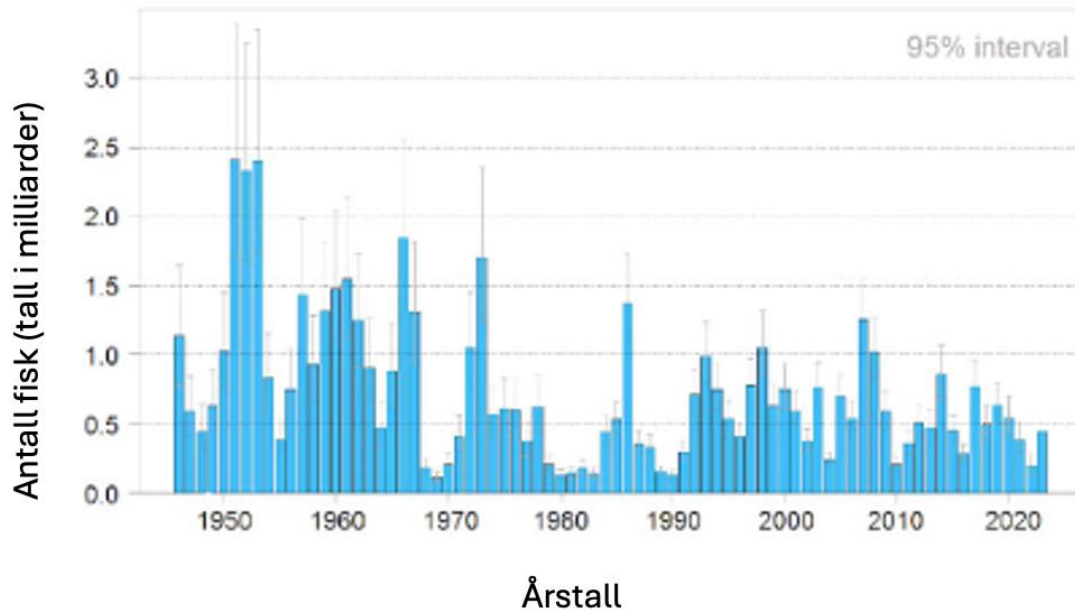
1 Introduksjon

Verdens befolkning er økende, og FN har sagt at vi trenger 50-70 prosent mer mat innen 2050 (Regjeringen, 2020). De tradisjonelle fiskeriene er en begrenset ressurs, noe som betyr at disse ikke kan beskattes for hardt uten at det går utover senere generasjoner. Status i dag er at på verdensbasis er flere fiskerier overfisket. Torsk er en populær matfisk i verdensmarkedene og etterspørselen etter fryst og fersk torsk er stor, men det har vært en nedgang i torsk kvotene det siste tiåret og bare siden 2022 har nedgangen vært på 40 prosent (Havforskningsinstituttet, 2024) som vist i figur 1. Nedgangen hadde nok vært noe høyere, om det ikke hadde vært for handlingsregelen, som ligger i protokollen for den 53. sesjon i den blandede norsk-russiske fiskerikommisjon. Handlingsregelen sier at kvotene ikke kan settes ned mer enn 20 prosent (Fisheries, 2023). Regelen har blitt til for å skape forutsigbarhet og stabilitet hos fiskerne, uten at det går på bekostning av et bærekraftig og langsiktig fiskeri. I figur 1 under ser man en oversikt over hvordan kvotene for nordøstarktisk torsk har hatt en nedgående kurve de siste 10 årene.



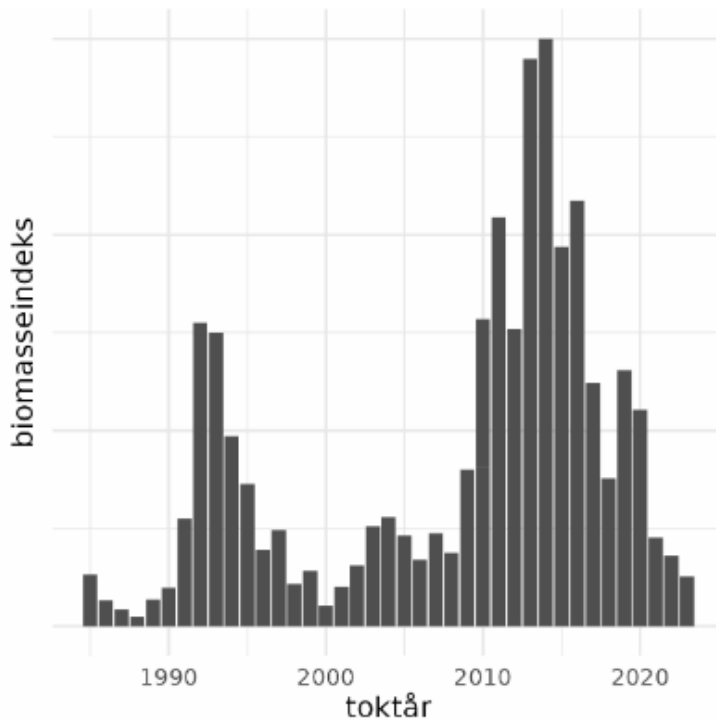
Figur 1: Oversikt over kvotene for nordøstarktisk torsk de siste 10 årene (tall fra 2014 til 2024). Tallene er hentet fra Havforskningsinstituttet (Havforskningsinstituttet, 2024).

Kvotene er hovedsakelig fordelt mellom Norge og Russland, men også noen få andre land får en del av denne kvoten. Kvotene har gått ned mer enn 50 prosent over de siste 10 årene, og som figur 2 fra Havforskningsinstituttet under viser, så ser man syklusen av rekrutteringen av torsk som er 3 år også blir mindre (IMR/PINRO, 2023). Man observerer syklusene med noen sterke kull, men utviklingen viser tydelig at disse «toppene» blir mindre.



Figur 2: Oversikt over utviklingen i rekrutteringen for nordøstarktisk torsk, med en alder over 3 år. Utviklingen vises fra 1945 til 2023. Y-aksen viser antall fisk vist med tall i milliarder og x-aksen viser årstall. Dataene har et konfidensintervall på 95%. Figuren er gjengitt med tillatelse fra IMR/PINRO (IMR/PINRO, 2023).

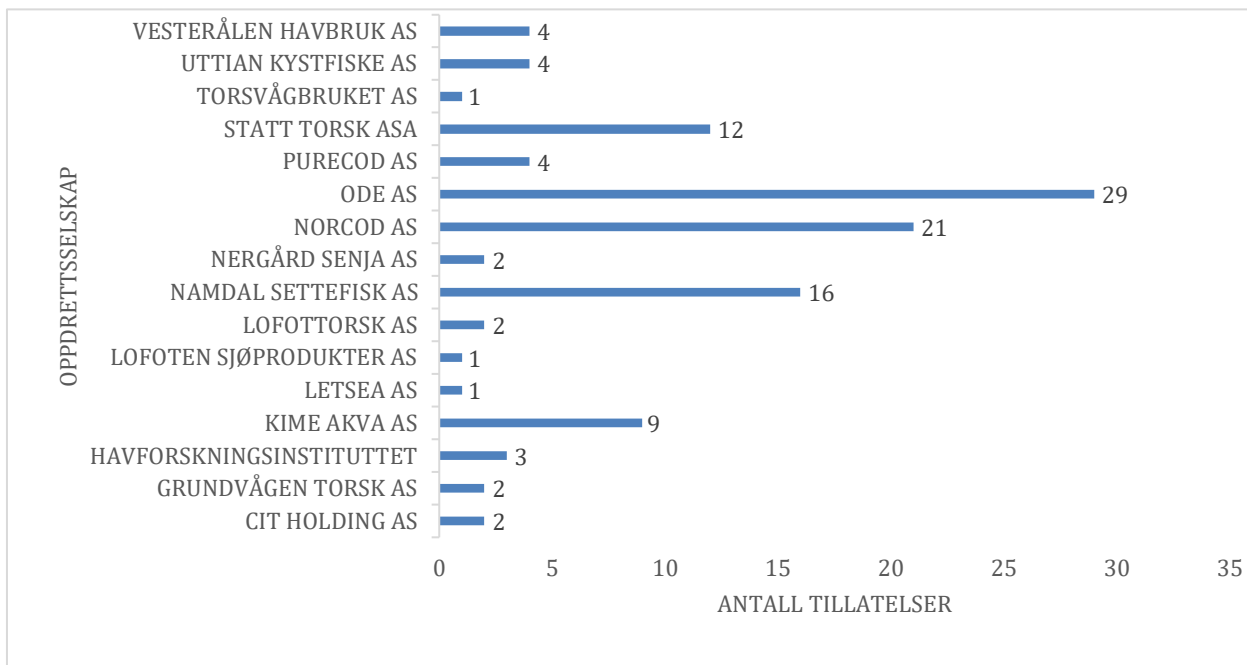
Andre urovekkende trender knyttet til torsken ser man på figur 3 under. Det er blitt observert mindre skrei i Lofoten som historisk har vært det viktigste stedet for gytende vandrende torsk (Skrei). Når man ser på biomasseindeksen for skreitoktet i 2023 er tallene klare; det har ikke vært så lav observasjon av skrei siden 2001 (Fuglebakk & Thorsen, 2023). I samsvar med observasjonene av gytefisk, er det også lave verdier når det kommer til observasjoner av torskeegg. Dette er i tråd med forventningene siden bestanden av nordøst-arktisk torsk er i en nedadgående kurve (Fuglebakk & Thorsen, 2023).



Figur 3: Biomasseindeks for skreitokt fra 1985-2023. Figuren viser en indeks på hvor mye skrei som er blitt observert i Lofoten fra 1985 til 2023 (Fuglebakk & Thorsen, 2023).

Eksport av torsk fra Norge har pågått i flere århundrer, og viktigheten av fiskeriet har vært essensiell for bosetning langs den langstrakte kysten her til lands. Med stadig nedgående kvoter har torskeoppdrett kommet inn som et alternativ for å sikre råstoff til markedene. Helt siden det nasjonale avlsprogrammet ble besluttet tilbake i 2002 har det vært forsøkt å få til oppdrett av torsk, men gang på gang har det ført til konkurser og tilbakeslag (Nofima, 2024). Nå i de senere år er det igjen gryende optimisme i næringen og flere firmaer satser igjen tungt for et nytt oppdrettseventyr. Og denne gangen er forutsetningene etter alt å dømme bedre. Med en mer domestisert fisk, gode erfaringer på hva som har gått galt tidligere og mer kunnskap ligger ting bedre til rette en tidligere for suksess for torskeoppdretterne. Lysstyring for å unngå kjønnsmodning er et fundamentalt verktøy for å lykkes. Kjønnsmodning i merd har vært en av de største utfordringene for konvensjonell oppdrett av torsk, og de siste årene har Ode blitt ledende blant oppdretterne i bruken av kunstig lys i merd for å forsinke kjønnsmodning.

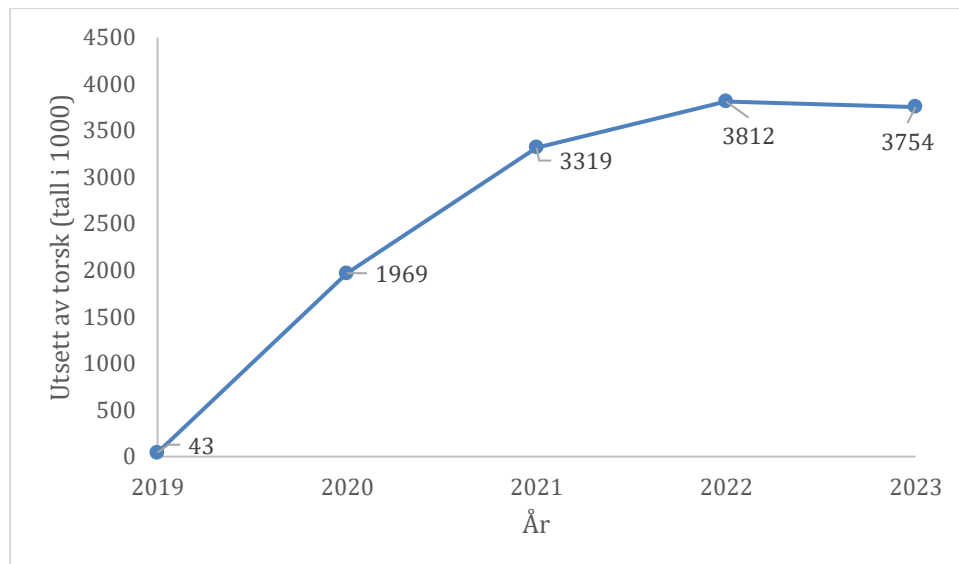
I figur 4 nedenfor kan tillatelser gitt for torskeoppdrett sees som de er per 01.01.2024 i Norge. Denne oversikten gjelder kun hvor formålet er kommersielt, produksjonsformen er matfisk og all kapasitet over 50 tonn i sjø. Det vil si at blant annet stamfisk, levendelagring og produksjon på land ikke er tatt med i oversikten.



Figur 4: Oversikt over selskap som har fått tiltalelse til å drive torskeoppdrett i Norge (y-aksen). Og antall tillatelser for hvert selskap per 01.01.2024 (x-aksen). Dataen er hentet fra Fiskeridirektoratet (Fiskeridirektoratet, 2023).

Her ser man spesielt at selskapene Ode og Norcod dominerer, men også at andre selskaper som KIME Akva, Namdal Settefisk og Statt Torsk stadig utvider antall tillatelser og blir større. Selskapene i figur 4 ovenfor, har til sammen mulighet for å produsere opp til 84 328 tonn fordelt over 113 tillatelser (Fiskeridirektoratet, 2023). Det er viktig å nevne at til tross for at det er mange tillatelser, betyr det ikke at alle er aktive og produserer fisk i merd per dags dato.

I figur 5 under ser man en oversikt over antall torskeyngel <200 gram (tall i 1000) som er satt ut innenfor akvakultur i Norge. I 2018 var tallet på 0, mens det enda ikke er satt ut noe i 2024 (per 17.04.2024). Statistikk sett er det i mai, juni og juli det blir satt ut flest fisk (Fiskeridirektoratet, 2024a).



Figur 5: Oversikt over antall torskeyngel (<200 gram) som har blitt satt ut i merd innen akvakultur i Norge. Tall er i 1000 og viser fra årene fra 2019 til 2023. Tallene er hentet fra Fiskeridirektoratet. (Fiskeridirektoratet, 2024a).

Andre eksempler på at torskeoppdrett i dag er en næring med økende fremgang og utvikling, finner man blant annet i artikler hos ulike medier (Arntzen & Nedrejord, 2023; Njåstad & Vatlestad, 2023; Njåstad, 2023). Artikkene viser blant annet til en «søknadsbonanza», hvor det var 53 aktive søknader som var til behandling ved inngangen av 2023 langs hele kysten i Norge (Njåstad & Vatlestad, 2023). Videre kom det fram i utgangen av 2023 at 17 selskaper, med Ode i spissen ønsket seg flere tillatelser (Arntzen & Nedrejord, 2023). I tillegg har Ode ved flere anledninger uttalt seg om ambisjonene om å produsere 100 000 tonn innen 2030. Dette gir en god indikasjon på at selskapene ser positivt på utviklingen i næringen, og ønsker å bygge videre på hva de allerede har.

Etterspørselen for norsk torsk har de siste 20 årene hatt en eventyrlig vekst, og hadde en årlig gjennomsnittlig vekst på rundt 6 prosent målt i euro fra 2004-2022 (Norges Sjømatråd, 2023). Den har falt noe de siste årene, og har vært på rundt 2 prosent økning de siste 4 årene. Dette har vært naturlig med tanke på kvotereduseringen som er nevnt ovenfor. Til tross for dette så sier administrerende direktør i Norges Sjømatråd Christian Chramer dette om etterspørselen for norsk torsk: «(...) and testifies to both the good quality of the catch and high demand in the markets.» (Norges Sjømatråd, 2024). Dette viser hvordan torsken fortsatt står sterkt i markedet, og til tross for mindre kvantum er etterspørselen fortsatt til stede. Et eksempel på dette er Spania som allerede er en av de største markedene for norsk sjømat. Hvor de har økt importen av norsk torsk i februar 2024 med 50 prosent sammenlignet med februar 2023 (Norges Sjømatråd, 2024).

En annen faktor som er viktig å ta med når det snakkes om oppdrettstorsk og villfisk, er det økonomiske perspektivet. Potensialet til oppdrettstorsk er stort, og man så blant annet i tredje kvartal av 2023 at oppdrettstorsk sto for 19 prosent av eksporten av fersk torsk målt i verdi. I tillegg var eksportprisen høyere for oppdrettstorsk sammenlignet med villtorsk. Prisen på oppdrettstorsk var 63 kroner per kilo sammenlignet mot villfisk som fikk 47 kroner per kilo i denne perioden (Norges Sjømatråd, 2023). Sammenlignet mot første kvartal er prisen noe høyere for villfisk som følge av at skreien er i sesong. Dette viser hvordan oppdrettstorsk kan være med på å skape store verdier gjennom hele året og ikke kun i sesong.

Når man ser aspektene ovenfor med tanke på kvoteredusering, mindre observert skrei og økende etterspørsel av torsken, er det tenkelig at oppdrettstorsk representerer et oppløftende alternativ. Det er viktig at man også vurderer og adresserer de potensielle miljømessige og etiske bekymringene som er knyttet opp mot oppdrettsnæringen. Torskeoppdrett kan samlet sett representere et lovende alternativ for å møte den økende befolkningen på en bærekraftig og økonomisk måte. Lysstyring i merd for å forsinke kjønnsmodning er et viktig tiltak for oppdretterne. Dette er et verktøy som bidrar til å bedre fiskevelferd, bedre vekst, større biosikkerhet med tanke på å unngå kjønnsmodning slik at egg fra oppdrettstorsk ikke kommer på avveie. Det er med andre ord en rekke positive faktorer med tanke på lysstyring for oppdrettstorsk. For å finne ut hvilken mengde kunstig lys som er optimalt for et visst merdvolum trengs det ny forskning og forsøk i produksjon. Det er en rekke problemer som må løses for at oppdrett av torsk skal kunne nå dets fulle potensiale. Lysstyring for å unngå kjønnsmodning i produksjonsfasen vil være essensielt for næringens videre suksess.

1.1 Bakgrunn for oppgaven

Denne oppgaven er gjennomført i samarbeid med KIME Akva, og baseres på data som er hentet ut fra produksjonen ved deres lokalitet ved Forså. Det er kjent i næringen at torsk i merd blir kjønnsmoden og gyter uten noen form for kunstig belysning, det er derimot ikke dokumentert mye i form av hvordan dette fungerer i produksjon.

Hovedmålet med denne oppgaven er å øke kunnskapsgrunnlaget tilknyttet kunstig belysning for å unngå kjønnsmodning hos oppdrettstorsk.

1.2 Problemstillinger

- Hvordan er effekten av kunstig belysning på forsinkelse av kjønnsmodning hos oppdrettstorsk i merd?
- Er dagens lysregime godt nok for å dekke hele merdvolumet med kunstig belysning?
- Hvordan påvirkes leveren (leverindeksen) av økt gonadevekt (kjønnsmodning)?
- Hvordan kan lysstyring bidra til å forhindre gyting i merd og dermed redusere risikoen for genetisk innblanding i villtorskbestanden?

2 Teori

2.1 Torskefamilien (*Gadidae*)

Torskefamilien, kjent som *Gadidae*, tilhører ordenen torskefisker som omfatter rundt 25 arter, hvorav 14 av disse finnes i norske farvann (Vøllestad, 2021). Disse artene foretrekker hovedsakelig tempererte til kalde farvann og er av stor kommersiell betydning for norsk fiskerinæring. Blant de mest betydningsfulle artene finner vi torsk (*Gadus morhua*), sei (*Pollachius virens*) og hyse (*Melanogrammus aeglefinus*) (Vøllestad, 2021).

Typiske kjennetegn for torskefamilien er en langstrakt kroppsform og et relativt stort hode. Kroppen er dekket av mengder med små skjell, og artene har vanligvis mellom én og tre ryggfinner som strekker seg langs nesten hele ryggens lengde. Gattfinnene varierer fra én til to og dekker området fra fiskens gatt til halefinnen. Under strupen finner du bukfinnene, foran brystfinnene. Finnestrålene kan fremstå mer eller mindre deformert, hvor den av og til kan observeres som en lang enkelt tråd. Et annet kjennetegn ved flere av artene i familien er et eller flere «skjeggtråder» på haken (Vøllestad, 2021).

2.2 Atlanterhavstorsk (*Gadus morhua*)

Atlanterhavstorsken (generelt kalt torsk i oppgaven), anses som den viktigste av alle torskefiskene. Gjennom historien har den vært en av Norges viktigste eksportartikler og bidratt økonomisk og til bosetningsmønster langs den langstrakte norskekysten. Som nevnt kjennetegnes torsken morfologisk av en unik kroppsstruktur, som inkluderer tre ryggfinner og to gattfinner. Den har et karakteristisk svakt overbitt og skjeggtråd under haken. Det finnes flere ulike bestander av torsk med stor intraspesifikk variasjon, med stor variasjon i livshistorie, vekstrate og størrelse. Fargen på torsken reflekterer fiskens habitat og diett og kan variere fra grå og olivengrønn til mer brun og rød-brune nyanser. I Norge er det vanlig å skille mellom to økologiske typer av torsken. Kysttorsk som er stasjonær langs kysten og skreien som foretar lange vandringar og kommer inn til norskekysten for å gyte i vintermånedene (Vøllestad, 2023). Villfisk gyter typisk når de er 4-8 år, mens oppdrettstorsk kan derimot gyte tidligere på grunn av tilgangen på næringsstoffer, dette skjer typisk andre vinter i sjø, men kan også skje tidligere (Dahle et al., 2003; Svåsand et al., 2007).

2.3 Utviklingen av norsk torskoppdrett

Historien rundt norsk torskoppdrett går faktisk helt tilbake til 1880-tallet hos havbruksstasjonen i Flødevigen, Arendal. Her ble rundt 5000 torskeyngel forsøkt oppdrettet

på dyreplankton. Dette var i grunn kun et torskeklekkeri, og designet til Gunder Mathiesen Dannevig har blitt omtalt som utslagsgivende for at torskeoppdrett ble satt i gang (Enoksen, 2018). Konseptet i Flødevigen var ikke kommersielt, men i større grad et prosjekt for å sikre en stabil rekruttering til den minkende torskebestanden. Men med det var tanken om oppdrett av torsk begynt (Henriksen et al., 2018). Det første reelle og kommersielle forsøket ble ikke til før 100 år senere i Austevoll på Vestlandet. Forsøket ga viktig lærdom og ny kunnskap om hvordan man skal drive kommersielt torskeoppdrett. Tidlig på 90-tallet kom det nok en kollaps for eventyret rundt torskeoppdrett. Faktorer som tidlig kjønnsmodning, fôr som ga dårlig vekst og lav interesse i markedet satte en stopper for forsøket. Omlag ti år senere, rundt tusenårsskifte, startet forsøk nummer to. Det ble etablert et norsk stamfisksenter for torsk i Tromsø, samt en tydelig økning i både klekkerier og anlegg for matfisk rundt i landet (Havforskningsinstituttet, 2021).

2.3.1 Torskeavlsprogrammet og ny kollaps

Det nasjonale torskeavlsprogrammet startet i 2002 på oppdrag fra Nærings- og fiskeridepartementet. Det er Nofima som har ansvar for avlsprogrammet. Hovedmålet med programmet er å avle fram en oppdrettstorsk med egenskaper som gjør den bedre egnet for kultivering. Dette inkluderer bedre fôrutnyttelse, forbedret vekst, sykdomsresistens og forbedret kvalitet på produktet. Metoden som benyttes for å sikre effektiv avl er en kombinert familie- og individbasert seleksjonsmetode. Dette innebærer at fisk produserer mange avkom og gjennom dette gjøre det mulig å drive avl på mange ulike egenskaper. Det produseres opptil 300 familiegrupper ved den nasjonale avlsstasjonen for torsk og det høye antallet er viktig for å få en tilstrekkelig genetisk variasjon og opprettholde en sunn og robust avlsbestand (Nofima, 2024).

Forskning og utvikling fremmet gjennom torskeavlsprogrammet har også bidratt til en stor forbedring av produksjonsmetodene for torskeyngel. Dette har resultert i bedre vekst, mindre spredning i størrelse, færre deformiteter og høyere overlevelse. Disse forbedringene i avlsarbeidet og yngelproduksjonen har styrket grunnlaget for torskeoppdrett ved å øke forutsigbarheten og potensialet for økonomisk gevinst. Det kontinuerlige avlsarbeidet har vært en viktig forutsetning for økt forutsigbarhet og at norsk torskeoppdrett kan bli konkurransedyktig og bærekraftig i et langsiktig perspektiv (Nofima, 2024).

Selv om avlsprogrammet førte til en forbedring innen torskeoppdrett, så møtte næringen fortsatt på problemer som lav vekst, rømminger og ikke minst problemer knyttet til

kjønnsmodning. I kombinasjon med finanskrisen og framvekst av andre hvitfiskarter som var rimeligere, skjedde det nok en kollaps for torsken som oppdrettsart mellom 2011 og 2014 (Havforskningsinstituttet, 2021).

2.4 Generelle utfordringer i torskeoppdrett

All form for oppdrett i åpne anlegg i sjø vil på en eller annen måte påvirke miljøet rundt, i tillegg medfører driften mulige utfordringer på individene som lever i anlegget. Det er flere utfordringer tilknyttet torskeoppdrett hvor kjønnsmodning er en av hovedutfordringene, disse blir beskrevet i kapittel 2.7. I dette delkapittelet vil andre utfordringer tilknyttet torskeoppdrett bli belyst.

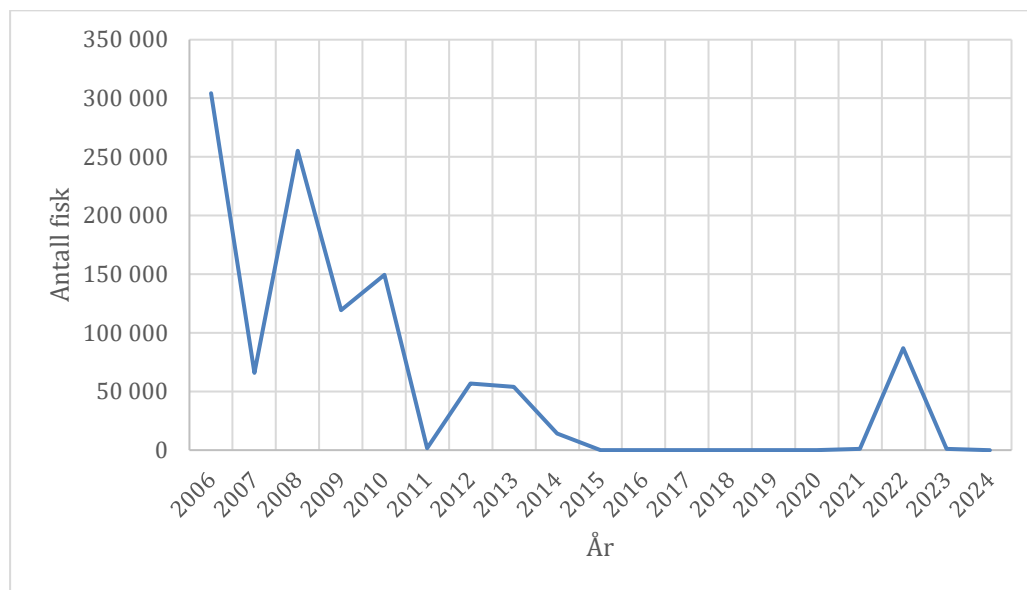
Oppdretterne led store tap i forrige periode med oppdrettstorsk grunnet bakterien *Francisella noatunensis* som gir sykdommen francisellose (Havforskningsinstituttet, 2021).

Bakteriesykdommen kan føre til kroniske betennelsesknuter i organene hos verten. Dette kan være av varierende forekomst. Observasjonen av sykdommen er lettere synlig på milt, lever og hjerte. Smittevegen ser ut til å skje horisontalt, det vil si fra fisk til fisk. Bakterieveksten er størst ved 22 grader celsius og per dags dato finnes det ingen behandling for sykdommen (Veterinærinstituttet, 2016). Ettersom bakterien er temperaturavhengig for vekst, gjør lavere sjøtemperaturer i nord at problemet tilknyttet sykdommen er mindre i Nord-Norge (Havforskningsinstituttet, 2021). I risikorapporten for norsk fiskeoppdrett fra 2022 ble risikoen for endring i forekomsten av sykdom hos villtorsk som følge av smitte fra oppdrettstorsk vurdert til moderat. Dette er for området fra 62 grader nord til 67 grader nord og er med forbehold om en produksjonsintensitet rundt 130 000 tonn (Grefsrud et al., 2022). Det er et pågående prosjekt finansiert av Norges forskningsråd for å bedre resistensen mot francisellose hos oppdrettstorsk. Prosjektet startet opp i midten av 2023 og avsluttes første kvartal 2028 (Nofima, 2023).

En annen sykdom som kan få et økende omfang ved økt produksjonsintensitet for torskeoppdrett er viral nervevevsnekrose (VNN). Sykdommen skyldes en infeksjon fra nodavirus. Dette er et motstandsdyktig virus som fører til skade på nervevevet i hjernen, ryggmargen og øyene. Sykdommen kan føre til store tap i yngelfasen. Smitte fra syk fisk er den største smitekilden (Veterinærinstituttet, 2020). Det er ingen kommersielt tilgjengelig vaksine for sykdommen per dags dato (Grefsrud et al., 2022).

Et vanlig problem tilknyttet oppdrett av torsk er tarmslyng. Problemet kan føre til død for individene, forårsaket av forstoppelse og opphopning av blod. Tarmslyng er ofte knyttet til større individer som har vokst raskt (Henriksen et al., 2018). «Forcod» som er finansiert av Norges Forskningsråd er et pågående prosjekt for å utvikle fôrstrategier for oppdrettstorsk. Disse skal bedre produksjon og fiskehelse og har som delmål og redusere dødeligheten tilknyttet tarmslyng. Prosjektet startet i 2022 og er planlagt avsluttet i 2026 (Akvaplan-niva, 2022).

I torskeoppdretts første år var rømming et kritisk problem for næringen. I forrige rundes mest intensive produksjonsår rømte mellom 3-6% av utsatt biomasse i 2006 og i 2008 var tallene mellom 1-3%. Til sammenligning rømte 0,4-0,5% av utsatt biomasse for oppdrettslaks i 2006 (Henriksen et al., 2018). Siden oppstarten har det skjedd en endring i utstyret som benyttes, erfaringer oppdretterne har gjort seg og domestiseringen av torsken. Det ble innført strengere krav til utstyret som ble brukt. I tillegg har torsken endret atferd i form av at den nå er mer lik laksen i svømmeoppførsel og den er mindre interessert i å gnage på noten (Henriksen et al., 2018). Nedenfor i figur 6 kan rømningsstatistikk for oppdrettstorsk fra 2006 til 2024 observeres. Det er ikke tatt hensyn til alder på den rømte torsken. Årene 2015-2020 er det ingen registrert rømming av oppdrettstorsk, noe som kommer av perioder med lite eller ingen torsk som er satt ut. Dette ser man blant annet i 2019 i figur 5 ovenfor, hvor det kun var satt ut 43 000 torskeyngel.



Figur 6: Oversikt over antall oppdrettstorsk som har rømt i perioden 2006-2024 (29.04.2024). Tall hentet fra Fiskeridirektoratet (Fiskeridirektoratet, 2024b).

For at torskoppdrett skal bli en suksess, er de også avhengig av sosial aksept og en lokal forankring i områdene lokalitetene befinner seg i. Oppdrettsnæringen har blitt en gjenstand for kritikk gjentatte ganger. Dette er noe man har sett i flere år med lakseoppdrett, men man ser også at misnøye kan rettes mot torskoppdrett. I kombinasjonen med fremgangen av kommersiell torskoppdrett de siste årene, har det også forekommet protester og misnøye blant lokalbefolkning og politikere mot nye lokaliteter. Eksempler på misnøyen har man blant annet sett i Askvoll kommune og Langfjorden i Rauma, som har protestert mot nye oppdrettstillatelser de siste årene (Folden, 2022; Knudsen, 2023). Videre har man sett at Ode sin samfunns- og myndighetskontakt Falk Øveraas har tatt opp debatten rundt «hvem eier fjorden, egentlig?». Dette kom i lys av en rekke bannere langs Nordfjorden som ikke ønsket mer fiskeoppdrett i fjorden (Øveraas, 2024). Det er dermed viktig at næringen klarer å adressere bekymringer, bygge tillit og involvere lokalsamfunnene for å kunne sikre langsiktig støtte og suksess for prosjektene innen torskoppdrett.

2.5 Kjønnsmodning hos torsk

2.5.1 Biologisk perspektiv knyttet til kjønnsmodning hos torsk

Her blir kjønnsmodningsprosessen presentert fra et biologisk perspektiv på hvorfor og hva som skjer fysiologisk når den går inn i kjønnsmodning.

Fisk sin reproduksjon blir regulert via hjerne-hypofyse-gonade-aksen (HHG-aksen), denne svarer på stimuli fra miljøet rundt og inne i kroppen. Dette kan være endringer i ernæring og temperatur (Kjørsvik et al., 2024). Signaler fra omgivelsene, altså varierende daglengde og miljøet rundt oppfattes i hjernen. Dette er det som setter i gang utviklingen av kjønnscellene hos de fleste fiskearter, slik er det også for torsken. Endring av daglengden er et av de viktigste stimuliene for endring i hormoner hos torsk. I netthinnen og epifysen oppfattes endringene i lysforhold. Når det er mørkt produseres melatonin, som er et hormon som stimuleres av mørke. Produksjonen er avhengig av forbindelsen mellom netthinnen i øyet og epifysen. Hormonet regulerer syklusen mellom søvn og våken og er viktig for utviklingen av andre hormoner hos organismen (Andersen, 1992; Hardeland et al., 2006; Kjørsvik et al., 2024). Melatonin påvirker utskillelsen av kjønnshormonet GnRH (Gonadotropin Releasing Hormone) fra hypothalamus. Dette betyr at utskillelsen av melatonin og GnRH varierer i løpet av dagen og må holdes under et nivå for at fisken ikke skal gå i kjønnsmodning. Når dagene blir kortere og det blir mindre og mindre lys vil det skilles ut mer av kjønnshormonene slik at den går inn i kjønnsmodning (Andersen, 1992; Kjørsvik et al., 2024).

Frigjøringen av GnRH stimulerer til kjønnsmodning gjennom aktivering av både produksjonen og utskillelse en av gonadotropiner (GTH). Dette transporteres med blodet til gonadene fra hypofysen. Denne ligger i fremre del av hjernen hos torsken og er essensiell for kjønnsmodningsprosessen. Mye grunnet at den er involvert i nesten alle endokrine prosesser som skjer i fisken, alt fra vekst og reproduksjon til metabolisme og stress (von Krogh, 2021). GnRH bindes til bestemte reseptorer på hypofysen. Disse frembringer syntesen av GTH 'ene follikkelstimulerende hormon (FSH, også kalt GTH I) og luteiniserende hormon (LH, også kalt GTH II). Disse regulerer igjen utviklingen av gametogenesen. Her blir FSH skilt ut fra hypofysen til blodet, hormonet regulerer så sammenfatningen av vekstfaktorer og steroidhormonene i gonadene. Når det kommer til LH, blir dette hormonet også lagret i hypofysen. Rett før sluttmodningen blir hormonet sluppet ut i blodet, dermed vil det være en kraftig økning av LH i blodet. Samtidig avtar og hormonet forsvinner relativt raskt fra

blodstrømmen slik at konsentrasjonen ikke er høy over lengre tid (Andersen, 1992; Kjørsvik et al., 2024). I gonadene blir kolesterol omdannet til steroidhormoner gjennom ulike enzymer og ko-faktorer, dette kalles steroidogenesen. Hormonproduksjonen i cellene er betinget av flere ulike gener og deres regulering og uttrykk. Kolesterol blir omdannet til progesteron og androgener i mitokondriene. Androgenene konverteres så til østrogen, begge disse påvirker kjønns karakterene og gyteatferden til fisk. I kapittel 17 i boken «Fiskefysiologi» utgitt av NTNU blir androgenene til fisk presentert slik (Kjørsvik et al., 2024):

«De vanligste androgenene i fisk er testosteron (T) og 11-ketotestosteron (11-KT). Testosteron finnes både hos hunner og hanner, mens 11-KT hovedsakelig finnes i hannfisk. For å indusere kjønnsmodningsprosesser i fisk, er 11-KT mer effektivt enn T. Det vanligst forekommende østroget i hunnfisk er østradiol-17 β (E2)» (Kjørsvik et al., 2024).

2.5.1.1 Hunntorsk

Hunnfisk og hannfisk har ulike kjønns hormoner som aktiveres av syntesen fra FSH. Hos hunnfisk blir FSH tatt opp fra blodet og bindes deretter til follikkelcellene ved hjelp av reseptorer. Follikkelcellene hos hunnfisk bidrar til produksjonen av androgener ved at kolesterol blir omgjort til testosteron. Videre blir testosteronet omdannet til østradiol-17 β , som blir sendt via blodet til leveren hvor produksjonen av viktige eggbestanddeler igangsettes, i tillegg til utviklingen av kjønns karakterene for hunnfisk (Andersen, 1992; Kjørsvik et al., 2024). Det vil skje en økning av testosteron og østradiol-17 β i blodet, denne økningen i konsentrasjon vil etter hvert føre til en reaksjon på HHG-aksen som setter i gang utskillelsen av LH like før sluttmodning. Dette stimulerer så til syntesen av et modningsinduserende hormon, som er med på frigjøringen til gyteklare modne egg (Kjørsvik et al., 2024).

2.5.1.2 Hanntorsk

Som nevnt er det ulike kjønns hormoner for hann og hunnfisk. Likheten er derimot at det er LH og FSH som aktiviserer kjønnsmodningsprosessen til begge kjønn. Hos hannfisk bindes de to gonadotropinene til reseptorer i leydig- og sertolicellene i testis. Ytterst i sædkanalen finnes leydigcellene hvor steroidproduksjonen foregår, dette er regulert av LH og FSH. Sertolicellene reguleres i hovedsak av FSH og er essensielle for å lage riktig fysiologisk miljø og strukturell støtte i utviklingen av sædcellene. 11-ketotestosteron (11-KT) og testosteron er de viktigste produktene fra leydigcellene, hvor 11-KT er det viktigste. Androgenet er

essensielt i utviklingen og modningen av sædcellene. I likhet med hunnfisk kan konsentrasjonen av kjønnshormonene følges i blodet. Mot slutten av modningsfasen stimulerer både FSH og LH utskillelsen av modningsinduserende hormon, som sørger for at de modne spermene støtes ut i det indre hulrom hvor de blir blandet med sperm-væske til melke (Andersen, 1992; Kjørsvik et al., 2024).

2.6 Konsekvenser av kjønnsmodning hos oppdrettstorsk

2.6.1 Påvirkning av filetkvalitet

For at torskeoppdretterne skal kunne konkurrere og hevde seg i markedet, er det viktig at torskfileten som produseres er av høy kvalitet. Kvaliteten på torsken og torskfileten påvirkes av en rekke faktorer, inkludert kjønnsmodning. Det er dermed viktig å forstå hvordan kjønnsmodning kan påvirke fisk- og filetkvaliteten.

Kvalitet er et subjektivt begrep og hvordan man oppfatter filetkvaliteten kan variere mellom ulike personer og kulturer (Altintzoglou & Heide, 2016). Det er vanligvis konsumentene som definerer hva som er god kvalitet, men en vanlig definisjon på kvalitet blir beskrevet av Johansen & Martinussen (2007) som «et produkts evne til å tilfredsstille brukerens behov, ønsker, krav og forventinger» (Johansen et al., 2007). Faktorer som farge, tekstur, spalting, smak og lukt er sentrale for å vurdere om kvaliteten er god eller dårlig.

Kjønnsmodning hos oppdrettstorsk er kjent for å ha en negativ effekt på filetkvaliteten i form av blant annet bløt filet og gaping (Solberg & Willumsen, 2008). Filetgaping forekommer når bindevevet ikke klarer å holde muskelsegmentene sammen, og det gjør at fileten blir vanskeligere å selge for torskoppdretteren (Hagen & Johnsen, 2016). Teksturen til fileten kan påvirkes av faktorer som fôring, slaktemetode, stress, kollagen og kollagenets kryssbindinger (Hagen & Johnsen, 2016), men også lysforhold og eventuell lyssetting (Hemre et al., 2004). Dette er et problem som går igjen hos flere fiskearter, og er en kompleks problemstilling som er forsøkt løst i flere år.

Tidligere forskning har vist at ved lysstyring kan man bidra til å forsinke kjønnsmodning og dermed bedre filetkvaliteten. I en studie med 60 000 fisk fordelt på tre grupper; viste det seg at torsk som var eksponert for kontinuerlig lys fra august til juni, eller fra november til juni, hadde signifikant fastere filettekstur sammenlignet med kontrollgruppen som kun fikk naturlig lys (Hagen & Johnsen, 2016). Andre studier har vist at torsken i gyteperioden får et lavere innhold av proteiner og fett, samt økt vanninnhold i filet (Lynum & Rustad, 2005).

Som tidligere nevnt er det flere faktorer som påvirker kvaliteten på fisken, men lyssetting for å forhindre kjønnsmodning har stor påvirkning på filetkvaliteten.

2.6.2 Fiskevelferd ved kjønnsmodning

Dårligere fiskevelferd er en av konsekvensene som kan oppstå ved kjønnsmodning av torsk i oppdrettsanlegg. En slik konsekvens er gytespreng eller «egg bound syndrome» (EBS), en tilstand som er kjent for å ramme hunntorsk i oppdrettsmiljøer (Árnason & Björnsson, 2012). Gytespreng oppstår når torsken ikke klarer å gyte eggene som naturlig. Konsekvensen av EBS er at torsken får en tydelig oppsvulmet buk på grunn av de store gonadene, som illustrert i figur 7 under. Denne tilstanden er ofte dødelig og det kan forekomme bakterieinfeksjoner i gonadene som kan gi et ubehag og smerte for hunntorsken (Puvanendran et al., 2022). I tillegg vil eggene som er i en oppsvulmet torsk stort sett være overmodne og ubrukelige, noe som selvfølgelig er ugunstig for velferden til torsken (Kjesbu, 1989).



Figur 7: Eksempel på dårlig fiskevelferd assosiert med kjønnsmodning: torsk med gytespreng eller «egg bound syndrome» (EBS) (Puvanendran et al., 2022).

Dødeligheten blant oppdrettstorsk har generelt vært svært høy, med kjønnsmodning som en betydelig faktor. I årene etter årtusenskiftet ble det rapportert flere tilfeller hvor mer enn halvparten av torsken døde fra utsett til slakt. Heldigvis har situasjonen bedret seg betydelig. For eksempel oppnådde de kommersielle småskalaanleggene til Statt torsk AS og Namdal torsk AS et snitt på 13,4 % i 2016 (Henriksen et al., 2018). Dette er tall som er på nivå med dødelighetsratene i lakseoppdrett som har variert fra rundt 12 til 20 % per år (Andersen et al., 2023).

Kjønnsmodning kan også føre til et svekket immunforsvar, siden en betydelig del av energireservene blir brukt på utvikling av gonader og parrings aktiviteter. Dette er også med på å øke risikoen for annen sykdom (Norges forskningsråd, 2009).

Et annet fiskevelferdsproblem som kan forekomme er ved rømming av oppdrettstorsk. Man vil unngå at oppdrettsfisk gyter med ville stammer, som man ser eksempler på ved oppdrettslaks og vill-laks (Aronsen et al., 2017). I motsetning til lakseoppdrett så har man et annet problem i torskeoppdrett, nemlig at torsken kan gyte i merd. Når torsken gyter i merd og frigjør befruktet avkom til miljøet utenfor merden, vil man kunne få oppdrettstorsk som blander seg med vill-bestander (Skjæraasen et al., 2007). Det skal sies at om eggene faktisk overlever utenfor merden, er vanskelig å si med sikkerhet. Likevel er dette noe som burde tas hensyn til. Ved en økning i antall torskeoppdrett langs kysten i Norge, kan det tenkes at hyppigheten av frigjorte egg blant vill-bestander kan øke sjansen for interaksjon mellom vill- og oppdrettsbestander.

2.6.3 Mulig påvirkning på vill bestand

I rapporten fra havforskningsinstituttet fra 2021 (Bjørn et al., 2021) beskrives den genetiske interaksjonen mellom domestisert oppdrettsfisk og ville populasjoner som godt dokumentert. Denne representerer en av de største utfordringene for et bærekraftig havbruk (Bekkevold et al., 2006).

Det vil være nærliggende å anta at påvirkningen på den ville torskebestanden vil være lik eller mer alvorlig enn den vi ser i dag hos atlantisk laks (*Salmo salar*). Fordi anleggene kan ligge i og nære potensielle gyteområder for torsk, i motsetning til laksen som må migrere fra sjøen til elvene (Bjørn et al., 2021).

Årsaken til hvorfor man ikke ønsker en interaksjon mellom domestiserte og ville bestander er at oppdrettsfisk er genetisk annerledes enn vill fisk. På denne måten vil en genetisk innblanding kunne føre til redusert produktivitet og instinkt som er avgjørende for å klare seg i naturen. Interaksjonen vil sannsynligvis føre til mindre fisk og svakere bestander (Bjørn et al., 2021). De faktorene som gjør de ville bestandene og oppdrettsfisk genetisk annerledes er beskrevet fra McGinnity et al og Skaala et al som: «1. Målrettet seleksjon for produksjons-egenskaper (avl). 2. Redusert naturlig seleksjon under oppdrettsforhold. 3. Founder-effekter. 4. Innavl og tilfeldige genetiske forandringer» (McGinnity et al., 1997; Skaala et al., 2019). Disse faktorene er gunstige i en oppdrettssituasjon hvor man ønsker en fisk som vokser hurtig, er resistent mot sykdommer og som har utsatt kjønnsmodning. De avles også til å leve i et trygt miljø med mye mat og med høy overlevelse, slik at de naturlige prosessene som jakt etter mat og migrasjon blir dempet. Det som gjør at oppdrettstorsken er mer egnet i et merdmiljø gjør den også mindre egnet til et liv i naturen. Det er derfor ikke ønskelig at man

blander genmaterialet mellom domestiserte og ville bestander. I tillegg kan oppdrettstorsk som har blitt satt ut i merd stamme fra en torskegruppe som ikke tilhører det området den har blitt satt ut i. Dette kan medføre en «utvasking» av lokale variasjoner i villstammene om det skulle skje en interaksjon mellom partene, dette kalles Founder effekter. En kysttorsk i en fjord sør i Norge vil ha et annet levesett enn én kysttorsk fra nord. Det vil derfor kunne være dramatisk for de lokale bestandene om det innblandes genmateriale som ikke tilhører området (Bjørn et al., 2021; Dahle et al., 2018; Johansen et al., 2020; Otterå et al., 2012).

Et problem i torskeoppdrett i motsetning til oppdrett av laks, er at torsken kan gyte i merd og dermed kan egg komme på avveie fra merd til omgivelsene rundt. I en undersøkelse gjort i 2008 ble det bevist at oppdrettstorsk kan produsere levedyktige torskelarver som blander seg med ville larver. De fleste i områdene rundt merdene, men individer som var gen-markert ble også funnet utenfor den aktuelle fjorden (Jørstad et al., 2008). Det vil derfor kunne skje en genetisk innblanding i ganske store områder rundt anlegg med torskeoppdrett, om man ikke har kontroll på kjønnsmodning og hvis man ikke klarer å unngå gyting i merd. Dette er svært uheldig og man behøver derfor god kontroll på fisken i anlegget, både med tanke på rømming og kjønnsmodning. I kapittel 2.8 vil lovverk og reglement tilknyttet kontroll på gonadeutviklingen i et anlegg bli gått inn på.

2.6.4 Økonomisk perspektiv rundt kjønnsmodning

Det er en klar sammenheng mellom tidlig kjønnsmodning av oppdrettstorsk og økonomien i oppdrettsnæringen. Det er ikke bare den nevnte utfordringen med at filetkvaliteten blir dårligere, men tidlig kjønnsmodning kan også føre til redusert vekt og størrelse. Dette skjer fordi torsken prioriterer å bruke mer energi til å produsere egg og melk foran den vanlige somatiske veksten (Karlsen et al., 2008). En konsekvens av dette er at førfaktoren blir høyere og produksjonskostnaden per produserte fisk og selve produksjonstiden øker. Kjønnsmodning kan også føre til at oppdretterne må slakte ned fisken tidligere for å unngå de negative konsekvensene kjønnsmodning har på kvalitet, fiskevelferd og miljø. En følge av dette er at torsken ikke når optimal slaktevekt og får dermed lavere produksjonsvolum og tapte inntekter for produsentene.

Dårligere kvalitet fører til lavere priser og kan i verste fall påvirke omdømmet til torskeoppdrett. Et svekket omdømme kan igjen føre til lavere etterspørsel og ytterligere redusert inntekt for næringen. Økonomiske utfordringer har alltid vært knyttet til torskeoppdrett, og understreker ytterligere behovet for å finne gode løsninger på næringens

utfordringer. Derfor er det nærliggende å tro at man burde løse utfordringene knyttet til tidlig kjønnsmodning ved å bruke lyssetting.

2.7 Lyssetting i torskoppdrett

2.7.1 Tidligere forsøk med lyssetting

I havbruksrapporten fra 2003 ble lyssetting for å utsette kjønnsmodning beskrevet på følgende måte:

«Forsøk i merder på Vestlandet har vist at kontinuerlig tilleggslys fra sommeren før første gyting vil utsette modningen med fire til seks måneder. I utendørs karforsøk kan tilleggslys med høy lysintensitet stoppe modningen i hvert fall ett år, men man vet ikke nøyaktig hvor mye lys som er nødvendig for å stoppe modningen. Det arbeides med å finne hvilke lysintensiteter som er nødvendige (...)» (Ervik et al., 2003).

Det har altså vært gjennomført en rekke studier med lyssetting for å unngå kjønnsmodning og mange av effektene er kjent i forskningen, likevel har det vært vanskelig å få til gode resultater i praksis. I 2013 publiserte Havforskningsinstituttet, Sintef og Universitetet i Melbourne et studie som omhandlet bruken av kunstig lys i nedsenkede merder for å unngå kjønnsmodning. Artikkelen beskrev resultatene som positive med tanke på forsinkelse av kjønnsmodning og fôrutnyttelse. Den beskrev også at dypere nedsenkning og sterkere lys kunne være videre forsøk for å se på effekten av kjønnsmodning (Korsøen et al., 2013).

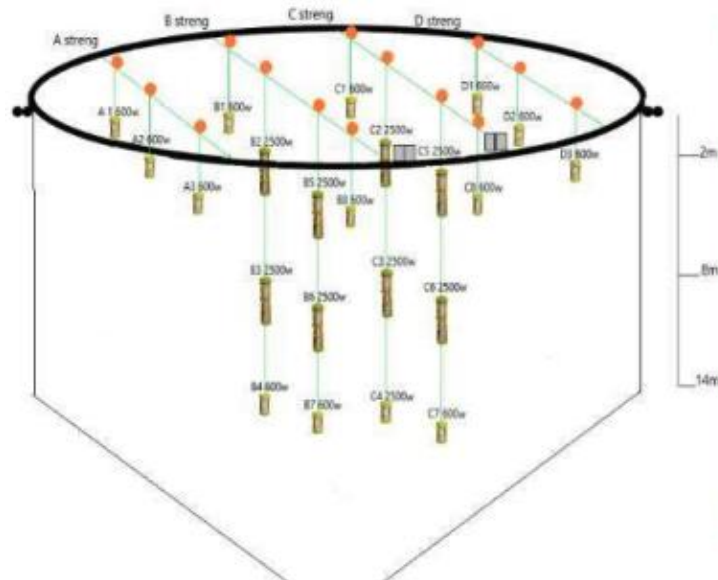
I samme forsøk ble det også benyttet en kontrollgruppe med 800 fisk som kun ble utsatt for naturlig lys. Her var det ingen lysstyring for å forhindre kjønnsmodning. Fisken ble satt ut i juli 2010, og man så allerede i februar 2011 at cirka 50 av hunnfisken var gytende. I tillegg hadde fisken en gonadosomatisk indeks (GSI) på hele $21,1 \pm 0,8\%$ (hunnkjønn) og $8,4 \pm 0,7\%$ (hannkjønn). Til sammenligning hadde fisken som var under kontinuerlig kunstig belysning en GSI på $1,6 \pm 0,1\%$ (hunnkjønn) og $1,5 \pm 0,2\%$ (hannkjønn) på samme tidspunkt (Korsøen et al., 2013).

I et forsøk fra 2015 på torskelarver ble ulike fargespekter benyttet for å se hva som ga best effekt på vekst og velferd. Det ble benyttet blått, grønt, rødt og hvitt lys i forsøket. I forsøket var det en signifikant forskjell i vekst, hvor torskelarvene som ble utsatt for blått og grønt lys hadde best vekst opp mot lys med lengre bølgelengde som rødt lys. Det så derimot ut til at det

grønne lyset ga redusert overlevelse. Det ble ikke funnet noen signifikante forskjeller tilknyttet ulike farger på bakgrunnen i tankene i forsøket (Sierra-Flores et al., 2016).

2.7.2 Moderne forsøk med lyssetting

Våren 2023 publiserte Møreforskning i samarbeid med Ode en rapport om lysstyrt kjønnsmodning hos oppdrettstorsk. På lokaliteten Svartekari i Nordfjorden som ligger i Stad kommune på Vestlandet, ble det satt ut torsk som ble utsatt for kunstig lyseksposering i totalt fem merder med omkrets på 120 meter. Det ble gitt kontinuerlig belysning gjennom hele døgnet fra utsett til slakt. Tre av merdene hadde et lysoppsett som ga 28,4 kW per merd, og de to øvrige hadde et oppsett som ga 24,2 kW lys. Nedenfor i figur 8 kan plasseringen av lysene i merd observeres for oppsettet som ga 28,2 kW (Bjørkevoll & Dahl, 2023).



Figur 8: Figuren viser plasseringen av undervannslamper (2500 W og 600 W) i forsøksmerder på lokaliteten Svartekari for torskeoppdretteren Ode. Oppsettet gir en effekt på totalt 28,4 kW (Bjørkevoll & Dahl, 2023)

Oppdrettstorsken som ble satt ut den 17.juni 2021 hadde en snittvekt på 300 gram. Fisken ble slaktet henholdsvis 17 til 21 måneder etter utsett i sjø. Rundt 600 fisk ble analysert og kun to av disse ble registrert som gytende. Det betyr at lys-styringen har hatt effekt på store deler av oppdrettstorsken i form av å forsinke kjønnsmodningen (Bjørkevoll & Dahl, 2023). Prosjektet har dermed vist at ved tilstrekkelig lysstyring, kan man produsere slakteklar fisk med lav grad av kjønnsmodning. Det ble testet korrelasjon mellom GSI og kjønn fra uttakene, men det ble ikke funnet noen korrelasjon. I tillegg ble det observert en svak sammenheng mellom økende GSI og synkende hepatosomatisk indeks (heretter kalt HSI/leverindeks).

Ode har satt en standard for dagens lysstyring i torskeoppdrett og per dags dato brukes det lys på nesten alle lokaliteter med oppdrettstorsk for å forsinke kjønnsmodning, men i ulik grad i form av effekt i kW og regime.

2.7.3 Lysstyring for å forhindre kjønnsmodning

I det naturlige miljøet stimulerer sesongmessige variasjoner i lysforholdene kjønnsmodning hos torsk. Forskningen har vist at kjønnsmodningen kan unngås ved å manipulere lysforholdene, slik at man kamuflerer den naturlige endringen i daglengde som følger de ulike sesongene (Bergheim, u.å-a). Dette kan gjøres enten ved å hindre lys fra omgivelsene eller ved å benytte kunstig belysning. I praksis vil det være svært vanskelig å hindre lys fra omgivelsene i et utendørs anlegg, om man ikke velger å benytte lukkede merder. Derfor er kunstig belysning det mest effektive og praktiske tiltaket mot den naturlige lysvariasjonen (Bergheim, u.å-a; Hansen et al., 2017).

Teoretiske beregninger har vist at lysbehovet for å unngå kjønnsmodning hos torsk er omtrent 25 lux. Dette er beregninger beregnet ut fra lysbehovet til laks som ligger på 10-12 lux og torsken trenger høyere lysstyrke enn laks for å oppnå forsinket kjønnsmodning (Bergheim, u.å-b). Det er viktig å påpeke at skyggeeffekter og andre påvirkninger spiller inn på hva lysbehovet vil være i realiteten. I torske- og laksemerder er det i dag hovedsakelig grønt lys som benyttes, dette har en bølgelengde mellom 490- og 570 nm (Utne-Palm et al., 2018). For at man skal klare å dekke behovet torsken har i form av lysstyrke for å unngå kjønnsmodning, er det viktig å ha riktig mengde kunstig belysning i merd. I tabell 1 nedenfor illustreres beregningen for antall lamper som minimum trengs for å opprettholde det krevde lysbehovet i ulike merdvolum.

Tabell 1: Tabellen viser minimum antall lamper som trengs i merdvolumet med en forutsetning at lysbehovet er 25 lux. Beregningen er gjort for merder med ulik størrelse, for 90 meters omkrets, 120 meters omkrets og 160 meters omkrets (Bergheim, u.å.-a).

Omkrets Merd (m)	Overflate- areal (m^2)	Dybde (m)	Volum (m^3)	600 W lampe		2500 W lampe	
				Lysdeknin g per lampe/ merdvolu m	Antall lamper (min.)	Lysdeknin g per lampe/ merdvolu m	Antall lamper (min.)
90	645	15	9675	0,56	2	2	1
120	1145	20	22900	0,23	5	0,83	2
160	2040	25	51000	0,11	10	0,37	3

2.8 Lovverk og reglement

Akvakulturlovens §10 slår fast at «Akvakultur skal etableres, drives og avvikles på en miljømessig forsvarlig måte» (Akvakulturloven, 2005). I tillegg til akvakulturloven, reguleres driften av torskeoppdrett av akvakulturdriftsforskriften. Disse har som formål at akvakulturen skal drives lønnsomt og konkurransedyktig med bærekraftige rammer (Akvakulturdriftsforskriften, 2008; Akvakulturloven, 2005).

Fiskeridirektoratet er myndighetenes rådgivende og utøvende organ innenfor fiskeri- og havbruksforvaltningen. Dette inkluderer regulering av torskeoppdrett. Fiskeridirektoratet har vurdert det slik at det er nødvendig med rapportering av modningsgrad på lokaliteter som har oppdrett av torsk over og hvor den står sin andre vinter i merd. Direktoratet sendte ut et pålegg til torskeoppdrettere før jul 2023 om oppfølging av modningsstatus hos oppdrettstorsk i sjønlegg på over 1 kg. Dette pålegget ga disse grenseverdiene for når det kan bli aktuelt med tiltak og vedtak (Petersen, 2023b)¹:

«Ved gjennomsnittlig GSI på 3-5% for hunnfisk, eller påvisning av «tidlig modnende fisk», bør det planlegges tiltak. Ved gjennomsnittlig GSI på 7-10% for hunnfisk, eller påvisning av «avansert modnende/moden» fisk skal planlagte tiltak iverksettes og Fiskeridirektoratet vil vurdere utslaktingsvedtak.» (Petersen, 2023b).

¹ Kilden (Petersen, 2023b) ligger som vedlegg 7

Som pålegget viser er det mest kritisk om hunnfisk blir kjønnsmoden ettersom det ikke er ønskelig at eggene skal komme på avveie. KIME Akva har egne prosedyrer for tiltak ved gonadeutvikling. Tiltakene er laget for å sikre biosikkerhet og unngå at fisken blir gyteklar og at eventuelle egg kommer på avveie².

Fiskeridirektoratet laget en prosedyre for oppfølging av modningsstatus hos oppdrettstorsk i sjø for 2023-2024. Denne beskrev at hver fiskegruppe skulle ha et representativt uttak av 20 levende fisk. I månedene desember, januar og mai trengtes det månedlige uttak, mens for februar, mars og april skulle det utføres uttak hver 14.dag. Prøvene måtte også inkludere en fastsetting av modningsstadium av kvalifisert personell (Petersen, 2023a)³.

2.9 Kartlegging av kjønnsmodningsprosessen

For at oppdretter skal kunne beregne graden av kjønnsmodning er det nødvendig med gode verktøy. Ulike indekser viser hvor i kjønnsmodningsprosessen individene kan befinne seg. I tillegg ligger en veileder til grunn for de makroskopiske vurderingene som blir gjort.

2.9.1 Gonadosomatisk indeks og leverindeks

Gonadosomatisk indeks (GSI) er et mål som viser hvor stor prosentandel vekten av gonadene utgjør av fiskens totalvekt (Guderley et al., 1996). Denne indeksen kan gi oppdretteren indikasjoner på hvor i utviklingen av kjønnsmodningsprosessen torsken er. Ved høy GSI kreves det at det gjøres tiltak. Regelverk for dette ble forklart i kapittel 2.8 om lover og reglement.

Leverindeks, eller hepatosomatisk indeks (HSI) er et uttrykk for levervekten uttrykt som prosentandel av kroppsvekten og viser hvor stor andel a kroppsvekten som utgjøres av leveren. Hos torsk i vill tilstand er leveren normalt 3-7% av kroppsvekten (Hemre et al., 2001), og den inneholder ifølge matvaretabellen rundt 60% fett (Mattilsynet, u.å).

Oppdrettstorsken derimot har rikere tilgang på næring, og avhengig av fettinnholdet i fôret er leveren 7-19% av kroppsvekten (Hemre et al., 2001; Aas & Kjerstad, 2008). Leveren til oppdrettstorsk inneholder også mer fett på grunn av fôrsammensetning og tilgang på næring (Aas & Kjerstad, 2008). Det er ikke ønskelig med for stor lever, ettersom man vil at torsken skal legge på seg i muskel og ikke øke levervekten. Det er bevist en klar sammenheng mellom

² Prosedyrene for tiltak ved gonadeutvikling og merdbarrierer ligger som vedlegg 3 og 4

³ Kilden (Petersen, 2023a) ligger som vedlegg 8

fettinnholdet i fôret og leverindeksen (Hemre et al., 2001). Videre er det også påvist at det ofte er en forbindelse mellom redusert leverindeks og en økende gonadosomatisk indeks (Dahle et al., 2003).

2.9.2 Modningsstadier for hunn- og hanntorsk

For å kunne holde oversikt over hvilket stadium torsken i merd er i modningsgraden, er det viktig å rangere hvilket stadium torsken er makroskopisk, altså under visuell vurdering. Det er noe ulikt mellom hunn- og hanntorsk, men det deles opp i 4 ulike stadium: umoden, modnende, gytende og utgytt/hvilende. I protokollen for modningsgrad hos oppdrettstorsk fra Havforskningsinstituttet, ser man at de ulike stadiene kategoriseres og bestemmes av GSI og den visuelle vurderingen (Alix & Norberg, 2024). Under ser man tabellen som viser en oppsummering av modningsgraden for hunntorsk.

Tabell 2: Oppsummering av modningsgradene hos hunntorsk. Viser stadium 1 til 4 i modningsstadiet, hvor 1 er lavest og 4 er høyest. Ved siden ligger en beskrivelse av de ulike stadiene som Havforskningsinstituttet kommer med til oppdrettsselskapene. Tabellen er gjengitt med tillatelse fra Alix & Norberg (Alix & Norberg, 2024).

Stadium	Makroskopisk- visuell vurdering
1- Umoden	Her er gonadene/eggstokkene hos hunntorsken små, og består kun av to lapper og befinner seg under leveren og fordøyelseskanalen i den bakre delen av bukhulen, langs svømmeblæren. Eggstokkene er glatt, noe gjennomsiktig og rosa. Man ser heller ingen oocytter/eggceller makroskopisk. GSI: 0,27
2- Modnende (tidlig fase)	Gonadene/eggstokkene er plassert i den bakre delen av bukhulen. Gonadene er mindre og hovne med oransje, rød til rosa farge. GSI rekkevidde: 0,65 til 3,92
2- Modnende (avansert fase)	Nå er eggstokkene/gonadene større enn den tidlige fasen. Nå tar de opp halvparten til 2/3 av plassen i bukhulen. Fargen er det samme, men vaskularisering (blodkar) begynner å bli fremtredende. Oocytter er nå lett å observere. GSI rekkevidde: 3,29 til 10,99

3- Gytende (initiering)	Ved initiering av gyting ser man svært store gonader/eggstokker som tar opp mesteparten av plassen i bukhulen. Fargene varierer fra oransje, lys rosa og rosa. Oocytter er nå tydelig synlig og man kan se noen transparente og hydrerte oocytter i gonadene. Gonadene ser granulert ut med mye vaskularisering. GSI: 16
3- Gytende (hovedgyteperiode)	Gonadene er svært store og opptar mesteparten av plassen i bukhulen. Fargen varierer fra oransje, lys rosa, rosa til rødlig. Hydrerte oocytter observeres gjennom hele gonaden. Gonadene er rennende og ved stryking av fisk kan noe egg komme ut. Eggstokkene er granulerte, og det er mye vaskularisering. GSI minker nå gradvis utover gytingen. GSI rekkevidde: 11,80 til 24,99
4- Utgytt/hvilende	Nå er gonadene lokalisert bakerst i bukhulen og har en hvitaktig, gråaktig til lys rosa farge. De er små, slappe og blodsprenge. Tykke vegger på eggstokkene og det er ingen synlige egg. Hvite oocytter (som er tegn på oocytter som tilbakedannes) observeres. Regenerering begynner, og gonadene blir litt større og fyldigere enn i stadium 1 (umoden). GSI: 1,53 til 1,91

Når det kommer til hanntorsken så er det fortsatt 4 stadier, men i motsetning til hunntorsken er det ikke del-stadier i stadium 2 (modnende) og 3 (gytende). I tabellen under ser man en oppsummering av modningsstadiene hos hanntorsk.

Tabell 3: Oppsummering av modningsstadiene hos hanntorsk. Viser stadium 1 til 4 i modningsstadiet, hvor 1 er lavest og 4 er høyest. Ved siden ligger en beskrivelse av de ulike stadiene som Havforskningsinstituttet kommer med til oppdrettsselskapene. Tabellen er gjengitt med tillatelse fra Alix og Norberg (Alix & Norberg, 2024).

Stadium	Makroskopisk- visuell vurdering
1- Umoden	Gonadene/testiklene er små og består av to lapper som befinner seg under leveren og fordøyelseskanalen i den bakre delen av bukhulen. Det ser ut som en streng og har en hvit, gulhvitt eller gjennomsiktig farge. GSI: 0,10

2- Modnende	Her er gonadene blitt langstrakte, lappete og krøllete. Gonadene tar større plass nå, sammenlignet med forrige stadium. Lappene blir nå tykkere. Sædlerne er gjennomsiktige og tomme. Fargen til gonadene varierer fra rødlig, lys rosa til rosa. Jo mer de utvikler seg jo hvitere blir de. Ingen utslipp av melke. GSI rekkevidde: 0,49 til 8,42
3- Gytende	Nå er gonadene svært store og opptar mesteparten av plassen i bukholen. Lappene er fyldige, hvite og ugjennomsiktige. Sædlerne er fulle av melke, som renner ut ved press på fiskens bukside. GSI minker gradvis utover gytingen og testiklene krymper. GSI rekkevidde: 4,81 til 10,34
4- Utgytt/hvilende	Gonadene er små og ligger langs svømmeblæren. Lappene er tomme og har en grå til rødlig farge. Det kan fortsatt være spor av melke. Regenerering tar til, gonadene er noe større enn stadium 1 (umoden). GSI: 0,34

3 Metode

3.1 Forsøksdesign

Oppgaven baserer seg på kvantitativ forskning og et eksperimentelt design. I kvantitativ forskning skiller man mellom beskrivende og forklarende prosjekter, denne oppgaven er et forklarende prosjekt. Her studerer man årsakssammenhenger (kausalitet), altså om x er årsaken til y. I dette tilfellet om kunstig lys har effekt på forsinket kjønnsmodning (Olsson et al., 2003). Under forsøket var det ikke mulig å ha en kontrollmerd med ingen lys eller annen form for lyssetting. Det blir derfor ikke direkte mulig å si noe om årsakssammenheng, men det blir en beskrivelse av hva som er gjort og drøfting rundt resultatene.

Forsøket pågikk fra mai 2022 til midten av mars 2024 og baserer seg på data som ble samlet inn ved lokaliteten til KIME Akva på Forså. I tillegg ved de aktuelle slakteriene selskapet benyttet. Det ble tatt uttak av fisk i henhold til selskapets prosedyrer og fiskeridirektoratets regler. Utover dette ble det gjort større prøveuttak ved slakt. Den kunstige lyssettingen har blitt plassert i merd for å skape størst mulig spredning av lyset og etter tilgjengelig forskning. Lysene som har blitt benyttet er godt utprøvde lys i akvakultur og benyttes også av andre torskeoppdrettere. Figur 9 viser tidslinjen for de ulike delene i forsøket og bakgrunnen for resultatene som er samlet inn. Fullstendig forklaring av hele produksjonsprosessen blir forklart i kapittel 3.2 til 3.8 under. Her blir informasjon om utsatt yngel, prøveuttak av gonader og lever, slakt av torsken, oppsett av lysstyring og tekniske spesifikasjoner forklart i detalj.



Figur 9: Tidslinjen for forsøket fra oppstart til siste prøver. Figuren viser tidspunkt for prøvetakning. Gonadeprøvene som hadde oppstart januar 2023 pågikk månedlig etter oppstart. De blå boksene forklarer hva som skjedde på tidspunktet, mens de grønne boksene forklarer antall fisk analysert og eventuell annen relevant informasjon.

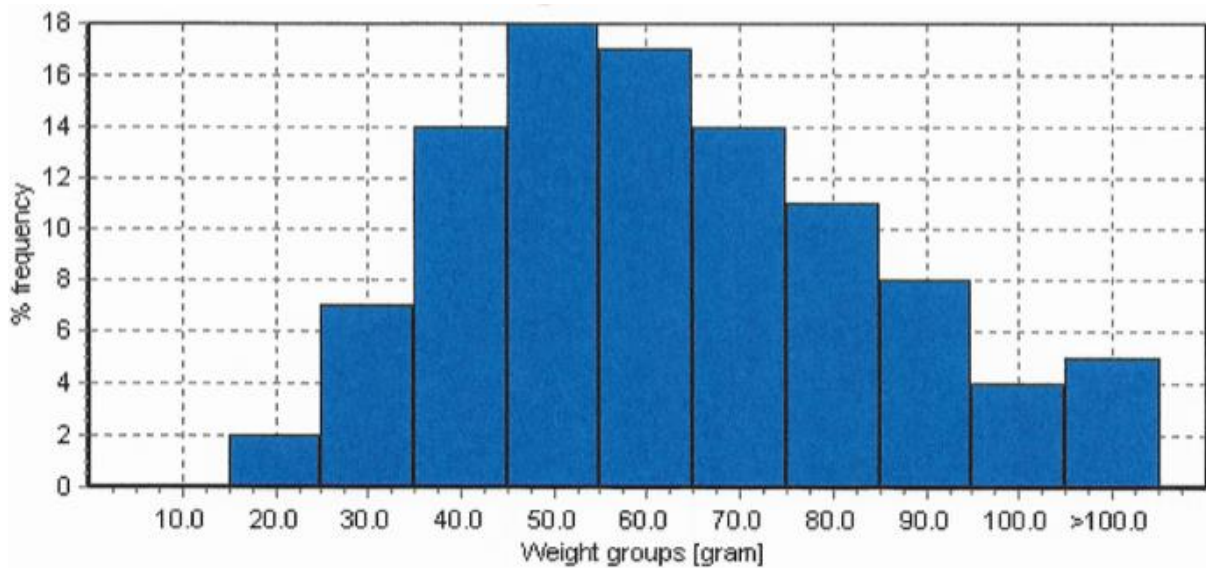
3.2 Informasjon om utsatt yngel

All fisk i anlegget var av likt genetisk opphav fra Havlandet Marin Yngel i Florø, men var produsert ved to ulike settefiskanlegg. Anleggene som leverte fisken, var Mørkvedbukta (MB) fra Bodø og Arctic Cod (AC) på Dønna. Produksjonsprosessen begynte i mai 2022, da de første fiskene ble satt ut til havs. Først levering av torskeyngel kom til merd 1 og 2 den 21.05 fra MB. To dager senere kom nok en levering av torsk fra MB, denne gangen til merd 6 og 7. I overkant av en måned senere den 23.06 kom det levering av fisk til merd 3 og 4 fra AC. Merd 3 fikk tilstrekkelig med fisk, mens merd 4 fikk sin første av to leveringer. Igjen kom det ny levering to dager senere fra AC den 25.06 til merd 8. Siste levering av torskeyngel kom fra AC til merd 9 og resterende rest til merd 4 den 19.07. Nøyaktig informasjon om yngelen som ble brukt i forsøkene er gitt i tabell 4. Alle vektdata er gjennomsnittsvekt \pm standardavvik (snitt \pm SD) som også er presentert i tabellen.

Tabell 4: Nøyaktig informasjon om yngelen som ble satt ut ved lokalitet Forså. Inkluderer informasjon om hvilken merd fisken ble plassert i, hvilket settefiskanlegg som produserte yngelen og når den ble satt ut i sjø. Kroppsvekt er gjennomsnittsvikt (g) \pm standardavvik på fisken som ble satt ut i merden. Verdier i parentes for merd 4 er fra restlevering av yngel den 19.07.2022.

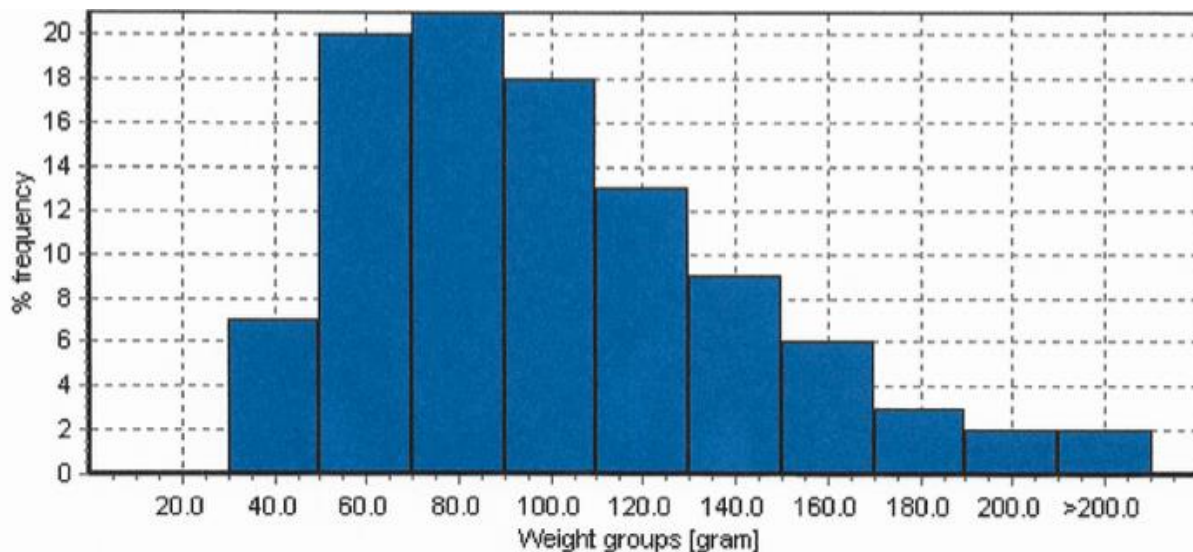
Merd	Settefiskanlegg	Tidspunkt	Kroppsvekt (g)
1	Mørkvedbukta	21.05.2022	58,6 \pm 25,9
2	Mørkvedbukta	21.05.2022	58,6 \pm 25,9
3	Arctic Cod	23.06.2022	90,4 \pm 45,5
4	Arctic Cod	23.06.2022 (19.07.2022)	86,6 \pm 45,1 (144,4 \pm 39,2)
6	Mørkvedbukta	27.05.2022	63,3 \pm 27,1
7	Mørkvedbukta	27.05.2022	63,3 \pm 27,1
8	Arctic Cod	25.06.2022	136,1 \pm 36,1
9	Arctic Cod	19.07.2022	144,4 \pm 39,2

Yngelen kom i brønnbåt til lokaliteten mellom 21.05.2022 og 19.07.2022. Vekten på fisken var varierende, noe som vises på figurene under. Figur 10 viser fisken som kom fra Mørkvedbukta til Forså og merd 1 og 2 den 23.05.2022. Gjennomsnittsvekten var på 58,6 gram \pm 25,9 gram. Disse tallene var fra 351 521 individer som ble fordelt med 163 455 individer til merd 1 og resterende 188 066 til merd 2.



Figur 10: Histogrammet viser fisken som ble levert til merd 1 og 2 den 23.05.2022. Gjennomsnittsvekt på $58,6 \pm 25,9$ gram. Fisken ble deretter fordelt 163 455 (babord brønn) til merd 1 og 188 066 (styrbord brønn) til merd 2. Y-aksen viser «frequency» som forteller hvor mange prosent av vektgruppen på x-aksen som er representert.

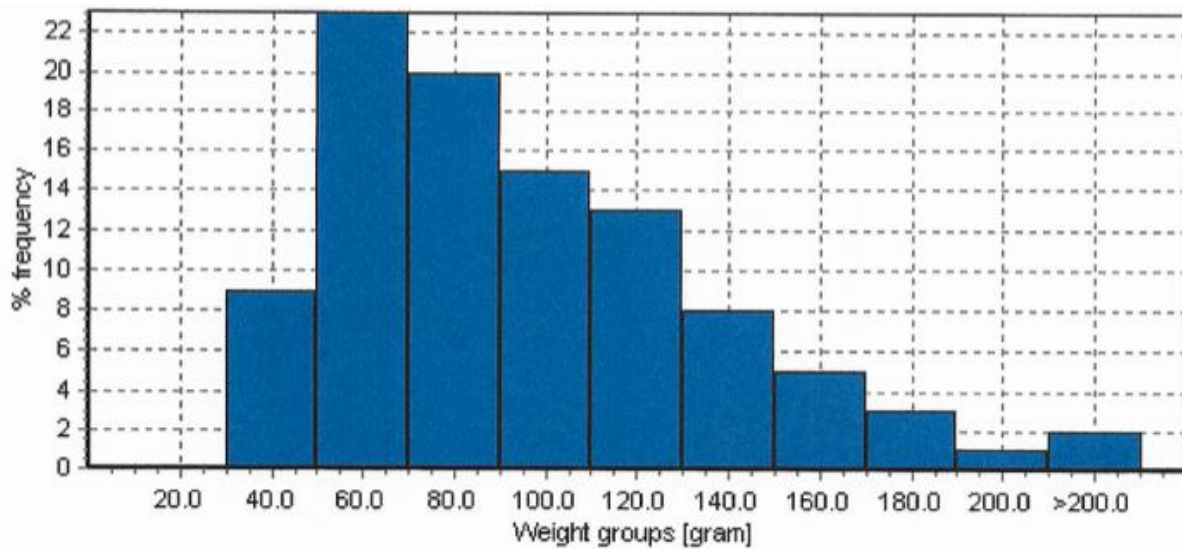
Videre er merd 3 representert i figur 11 nedenfor. Fisken kom den 24.06.2022 fra Arctic Cod. Her var det 186 302 individer med en gjennomsnittsvekt på $90,4 \pm 45,5$ gram.



Figur 11: Histogrammet viser fisken som ble levert til merd 3 den 24.06.2022. Gjennomsnittsvekten på fisken var $90,4 \pm 45,5$ gram. Det var 186 302 fisk som ble fordelt ut i merden. Y-aksen viser «frequency» som forteller hvor mange prosent av vektgruppen på x-aksen som er representert.

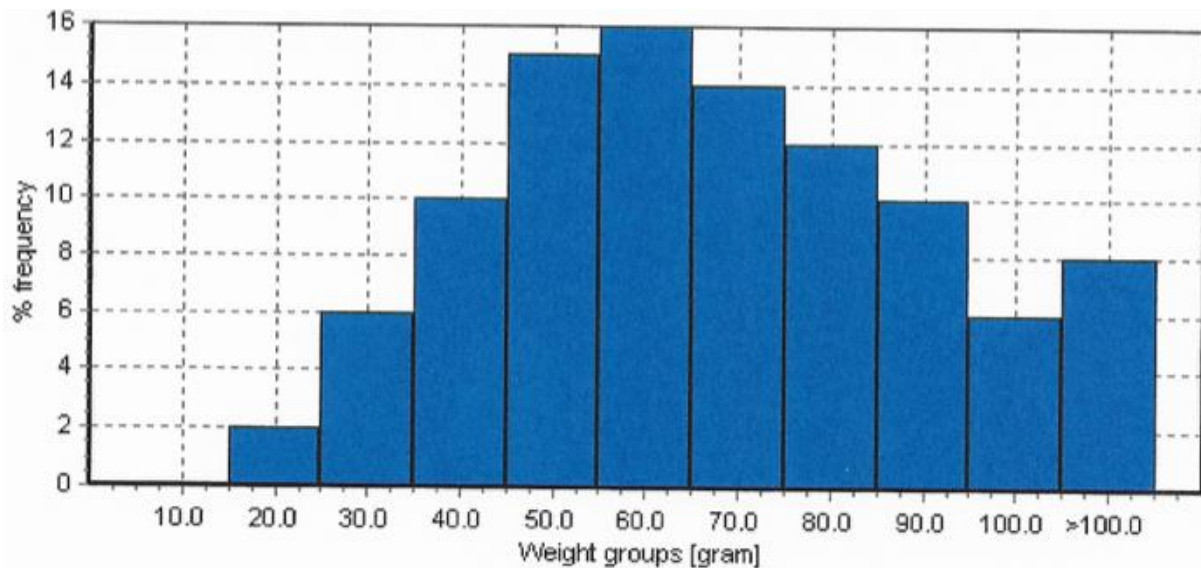
I merd 4 kom det fisk over to leveringer. Første levering av fisk som ble sendt fra Mørkvedbukta til merd 4 ved lokaliteten i Forså kom den 24.06.2022. Dette var 90 005 individer med en total biomasse på 8 tonn som ble levert. Gjennomsnittsvekten var på $86,6 \pm 45,1$ gram. Levering nummer to kom fra Arctic Cod den 19.07.2022 sammen med fisk til

merd 9. Det ble losset 105 000 individer med en snittvekt på $144,4 \pm 39,2$ gram. Totalt var det 195 005 fisk i merd 4 over to leveringer.



Figur 12: Histogrammet viser første levering av fisk som kom til merd 4 den 24.06.2022. Gjennomsnittsvekt på $86,6 \pm 45,1$ gram på 90 005 fisk. Y-aksen viser «frequency» som forteller hvor mange prosent av vektgruppen på x-aksen som er representert.

Merd 6 og 7 fikk levert fisk fra Mørkvedbukta den 21.05.2022. Det var 379 093 individer som ble levert. Gjennomsnittsvekten var på $63,6 \pm 27,1$ gram. Fisken ble fordelt med 190 997 individer til merd 6, mens resterende 188 096 ble levert til merd 7.



Figur 13: Histogrammet viser leveransen av 379 093 fisk fra Mørkvedbukta som ble levert til merd 6 og 7 i Forså. Det ble fordelt 190 997 til merd 6 og 188 096 til merd 7. Gjennomsnittsvekten var på $63,6 \pm 27,1$ gram og en total biomasse på 12 tonn. Y-aksen viser «frequency» som forteller hvor mange prosent av vektgruppen på x-aksen som er representert.

Det manglet brønnbåtdata fra levering av fisk fra Arctic Cod 25.06.2022 til merd 8. Det er gjort fem kontrollveiinger i etterkant. Resultatet av veiingen av 250 fisk kom på $136,7 \pm 36,17$

gram. Videre foreligger det ingen brønnbåtdata fra fisken som ble levert til merd 9 fra Arctic Cod 19.07.2022. Ifølge snittveiinger på settefiskanlegget var gjennomsnittsverken 144,4 gram \pm 39,2 gram.

3.3 Prøveuttak av gonader og lever

Fisken ble rutinemessig overvåket fra oppnådd snittvekt på 1 kg⁴. Fiskegruppen ble kontrollert minst 1 gang per måned, og hver kontroll inneholdt 20 levende fisk for å få et representativt utvalg.

For gjennomføringen av gonadeprøvene ble det montert et sikkerhetsnett mellom båt og merd for å hindre eventuell rømming. Individnot ble sjekket for skade og bedøvelseskar ble gjort klart.

Deretter ble det satt ut avkastnot for å fange et representativt utvalg fisk (minimum 20 stykk) etter prosedyrene for utførelse av gonadeprøver⁵. Ønsket antall fisk ble håvet inn og avlivet etter Kime Akva sine prosedyrer⁶ ved bruk av overdose av bedøvelses middelet «Finquel» (300mg/L, minimum 15 minutter holdetid). Etter avlivning ble hver fisk veid og målt.

Til slutt ble gonade- og leverindeks regnet ut. Torsken ble først veid rund før gonader og lever ble tatt ut. Disse ble veid hver for seg, før man igjen veide torsken på nytt. Vekten av gonadene ble brukt for å finne ut GSI-verdien til torsken. Gonadosomatisk indeks forkortes til GSI, og viser hvor stor andel vekten av gonadene utgjør av totalvekt på fisken. Formel 1 under viser utregning av GSI:

$$\left(\frac{\text{vekt gonader (g)}}{\text{vekt rund fisk (g)}} \right) \times 100 \quad (\text{formel 1})$$

Et eksempel på hvordan dette vil se ut hos en torsk med rund vekt på 1500 gram og gonader på 80 gram:

$$\left(\frac{80g}{1500g} \right) \times 100 = GSI 5,3$$

⁴ Prosedyren for frekvens av overvåking av gonadeutvikling ligger som vedlegg 1

⁵ Prosedyren for hvordan gonadeprøvene skal utføres ligger som vedlegg 2

⁶ Prosedyrene til KIME Akva for bedøving ligger som vedlegg 6

Tilsvarende ble gjort for leverindeksen. Den er et mål for hvor stor andel vekten av leveren utgjør av totalvekt på fisken, bestemt ved bruk av formel 2.

$$\left(\frac{\text{vekt lever (g)}}{\text{vekt rund fisk (g)}}\right) \times 100 \quad (\text{formel 2})$$

Da dette var gjort ble det tatt bilder av fisk, gonader og lever, og det utfylte skjemaet samt bilder ble lagret i mappe for fiskehelse på lokalitetens mappestruktur. Død fisk og rester fra den døde fisken ble behandlet etter Kime Akvas prosedyrer «håndtering av død fisk og svak fisk»⁷. Til slutt ble utstyret rengjort, desinfisert og ryddet på plass.

3.4 Prøveuttak ved slakt

Uttakene ble gjort i forbindelse med prøveslakt og slakt for anlegget, fra 17 måneder i sjø til 22 måneder i sjø. Rund vekt (gram), gonadevekt for hann og hunnfisk (gram) og levervekt (gram) ble gjort før fisken gikk videre på slaktelinjen. Det ble benyttet en presisjonsvekt fra Radwag WLC serie 120/C2/k (Radwag wag Elektroniczne, Radom, Polen) for vektmålingene. All data ble notert og registrert. Fisken ble slaktet på to forskjellige slakteri. De første slakteprøvene kom fra slakteriet Vesterålen Havbruk i Bø (VHB), mens prøvene i 2024 kom fra Kråkøy slakteri (KS). Prøvetakningsplanen for uttakene gjort ved slakteriene kan sees nedenfor i tabell 5. Basert på dataen ble GSI og HSI beregnet. Det ble også foretatt en visuell bedømmelse av modningsgraden med tabellen beskrevet i kapittel 2.9.2 som hjelpemiddel.

⁷ Prosedyrene til KIME Akva for håndtering av død fisk og svak fisk, ligger som vedlegg 5

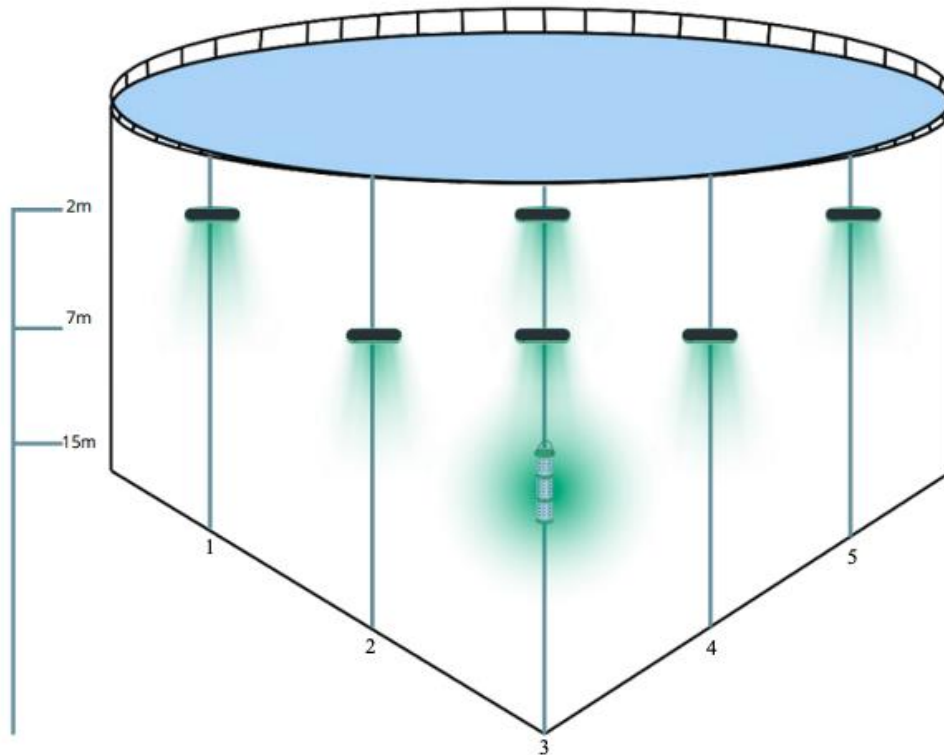
Tabell 5: Tabellen gir en oversikt over prøvetakningsplanen for slakt ved to slakterier, Vesterålen Havbruk Bø (VHB) og Kråkøy slakteri (KS) i Roan. Informasjonen inkluderer dato for uttakene, antall fisk, hvilken merd torsken stammer fra, snittvekten og antall måneder den har stått i sjø.

	Uttak for prøvetakning			
Dato (uke)	24.10.2023 (43)	28.02.2024 (9)	12.03.2024 (11)	15.03.2024 (11)
Slakteri	VHB	KS	KS	KS
Antall fisk	50	50	50	50
Merd	7	2	7	6
Snittvekt ± (gram)	3620 ± 714	4185 ± 969	3533 ± 917	3943 ± 708
Måneder i sjø	17	21	22	22

3.5 Oppsett av kunstig belysning i merd

I henhold til KIME Akva sine prosedyrer ble det benyttet lys fra første høst i sjø på lokaliteter som er nord for polarsirkelen. Disse lysene har vært operative fra 25.juli 2022, mens i perioden med mest naturlig lys 20.mai til 25.juli 2023 har lysene vært slått av. I det andre året fisken har vært i sjø har lysene vært på fra 25.juli til merdene ble utslaktet.

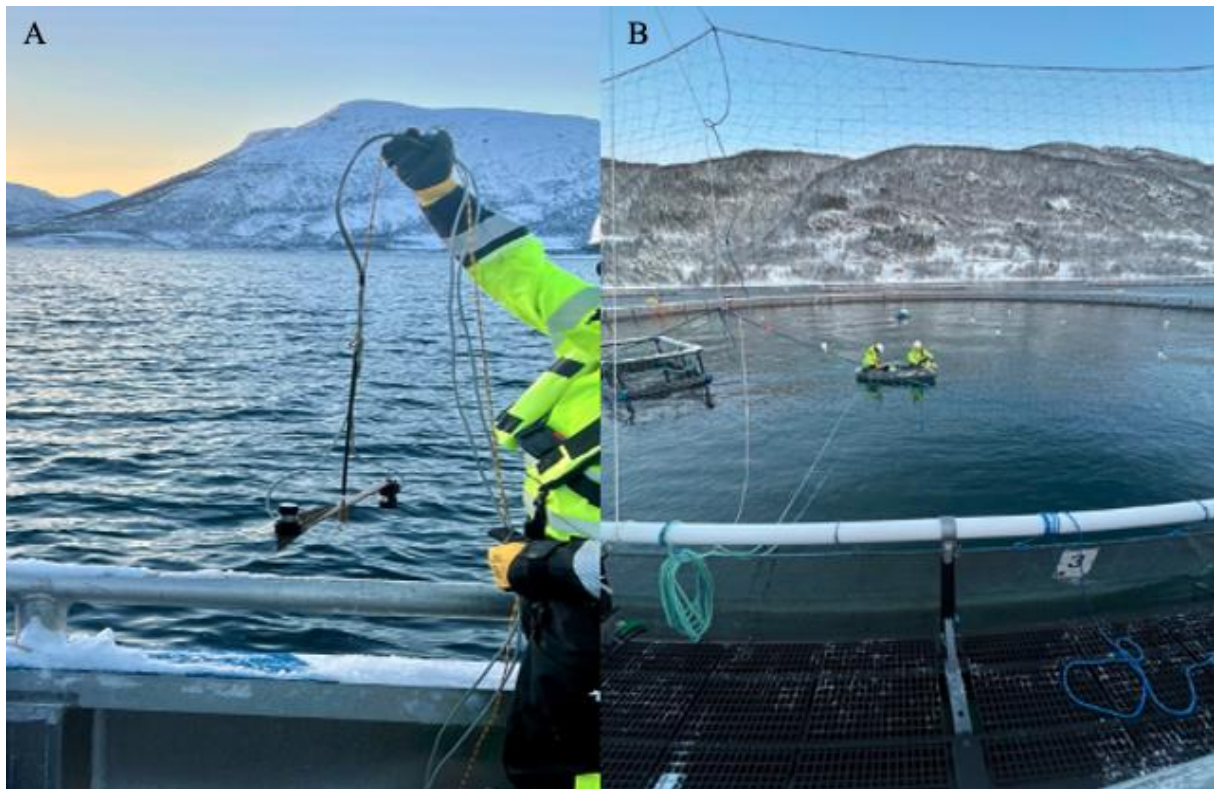
For å dekke hele merdvolumet med lys ble det benyttet flere lyskilder i ulike «lag» i merden. Det ble satt ut fem strenger som gikk på tvers av merden hvor lysene ble festet på ulike dybder. På de to ytterste strengene i merden ble det satt ut 3 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) lys på hver streng som hang på 2-3 meters dybde. Videre ble det satt ut lys på de nest ytterste strengene på hver side av merden. Her ble 2 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) lys på hver streng hengt på 7-9 meters dybde. Til slutt ble det hengt på lys på den midterste strengen i merden. Her ble det satt ut 7 x 680 W lys (SeaCage, Phillips, Oslo) på 2-3 meter (4 stk.) og 7-9 meter (3 stk.). I tillegg ble det satt ut 2 x 2500 W lys fra BIO MARINE (Aqualux 2500, BioMarine, Surnadal) på 15 meters dybde midt i merden. Totalt sett var det 17 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) lys og 2 x 2500 W (Aqualux 2500, BioMarine, Surnadal) lys som ga en samlet effekt på 16560 W eller 16,56 kW i hver merd. Oppbyggingen av lyssettingen kan sees i figur 14 nedenfor.



Figur 14: Illustrasjon av lyssetting i merd hos KIME Akva. Det er fem strenger (1-5 fra venstre) som går på tvers av merden. På streng nr. 1 var det montert 3 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) på 2-3 meters dybde. Streng nr. 2 var det montert 2 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) på 7-9 meters dybde. På streng nr. 3 var det montert 7 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) lys på 2-3 (4stk.) meters og 7-9 (3stk.) meters dybde. I tillegg var det montert 2 x 2500 W (Aqualux 2500, BioMarine, Surnadal) på 15 meters dybde. Streng nr. 4 var det montert 2 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) på 7-9 meters dybde. På streng nr. 5 var det montert 3 x 680 W (SeaCage, Phillips, Oslo) på 2-3 meters dybde. Lyssettingen ga en samlet effekt på 16,56 kW.

3.6 Utførelse av lysmålinger

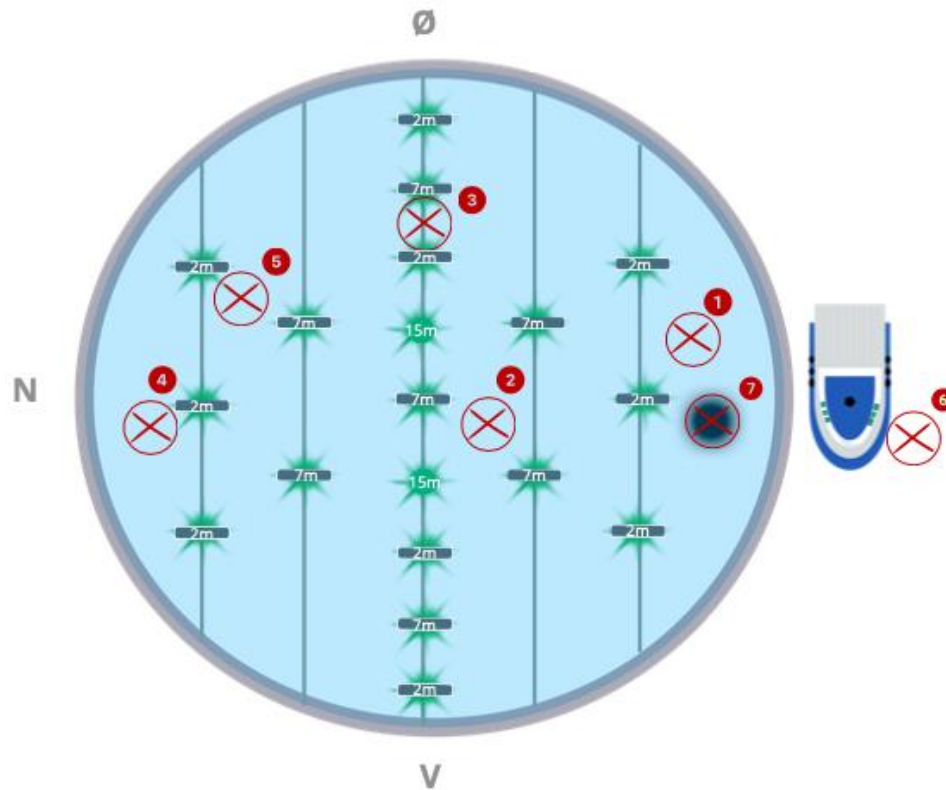
Det var en klar dag ved lokalitet Forså i Ibestad. Målingene på dagtid ble gjort før solens direkte påvirkning. Fra 08.45 til 09:20. For å kunne se den direkte effekten av lysene uten at de havnet i skyggen av dagslyset, ble det en måling gjennomført på ettermiddagstid uten dagslys samme dag. Lysmålingen på ettermiddagen ble gjort klokken 17:15. Målingene ble notert med benevnelsen lux (lx). Dette er måleenheten for belysningsstyrke, den er definert som lysstrømmen mot en overflate, delt på arealet av overflaten.



Figur 15 : Til venstre viser figur (A) hvordan sensorene var koblet på metallstangen under prøvetakningen. Til høyre (B) ser man hvordan prøvetakningen i merd ble foretatt. Begge bildene er tatt ved lokalitet Forså til KIME Akva i Ibestad den 06.02.2024.

Først ble sensorene koblet og skrudd fast til en metallstang som vist på figur 15 (A) ovenfor. Deretter ble sensorene koblet opp mot måleapparatet. Kabelen ble deretter målt opp og det ble satt på en markør for hver meter så man kunne lese av dybden sensorene befant seg. Da dette var gjort var det klart for å gjennomføre målingene. En mindre båt ble løftet ut i merden og to personer hadde gikk ombord og startet prøvetakningen ved røkterpunktet, på sørsiden av merden. Dette er vist som punkt 1 i figur 16 nedenfor. Her hadde en person ansvar for å føre lux-måleren som vist på figur 15 (A) ned i merden på ulike punkt og dybder, mens den andre leste av resultatene. Hvordan lysmålingene ble gjennomført er vist på figur 15 (B).

Prøvetakingsutstyret ble senket ned til 5 meter og lux nivåene ble lest av og notert ned. Dette ble gjentatt på 10, 15 og 20 meters dybde. Resterende målinger ble gjennomført på nøyaktig samme måte. Måling nummer to ble gjort nært senter av merden. Videre ble måling tre gjennomført på østsiden i merden. Måling fire ble tatt på nordsiden i merden og måling fem ble gjennomført nord-øst. Til slutt ble måling nummer seks tatt som en kontrollmåling. Denne ble gjennomført sørlig på utsiden av lokalitetsbåten. På ettermiddagstid ble det gjennomført måling på tilnærmet samme punkt som måling nummer 1, markert som punkt 7 på figur 16. Posisjonene for alle målingene kan sees nedenfor i figur 16.



Figur 16: En oversikt over hvor i merden de ulike lysmålingene ble tatt og hvor lysene i merden er plassert og dybden på disse. Tallene ved siden av punktene markerer rekkefølgen prøvene ble gjort. Markøren for prøvetakning som har mørk kjerne viser til prøven tatt på ettermiddagen. N er markert for Nord, Ø for Øst, V for Vest og så er Sør der hvor båten befinner seg.

3.7 Statistikk

Det har blitt samlet inn mye data i løpet av produksjonsperioden ved lokaliteten Forså og på slakteriene ved uttak. Denne har blitt forsøkt visualisert og fremstilt på best mulig måte gjennom tabeller, figurer og statistiske analyser. Excel og RStudio har blitt brukt som hjelpemiddel.

3.7.1 Data analyse

RStudio er et program som benyttes for statistisk beregning, dataanalyse og grafisk representasjon. For å kunne visualisere og teste denne dataen som har blitt samlet inn ble de omgjort fra Excel til en csv fil for å kunne blitt brukt i RStudio. Deretter ble csv. filen lagt inn i RStudio. Videre ble en «fixed effects» regresjonsanalyse benyttet for å analysere forskjeller i GSI og HSI basert på kjønn i datamaterialet. Formel 3 nedenfor viser regresjonslikningen til disse modellene som så ble analysert. For å kunne lage modellene ble RStudio og plm. pakken i R benyttet (Croissant & Millo, 2008; R Core Team, 2022).

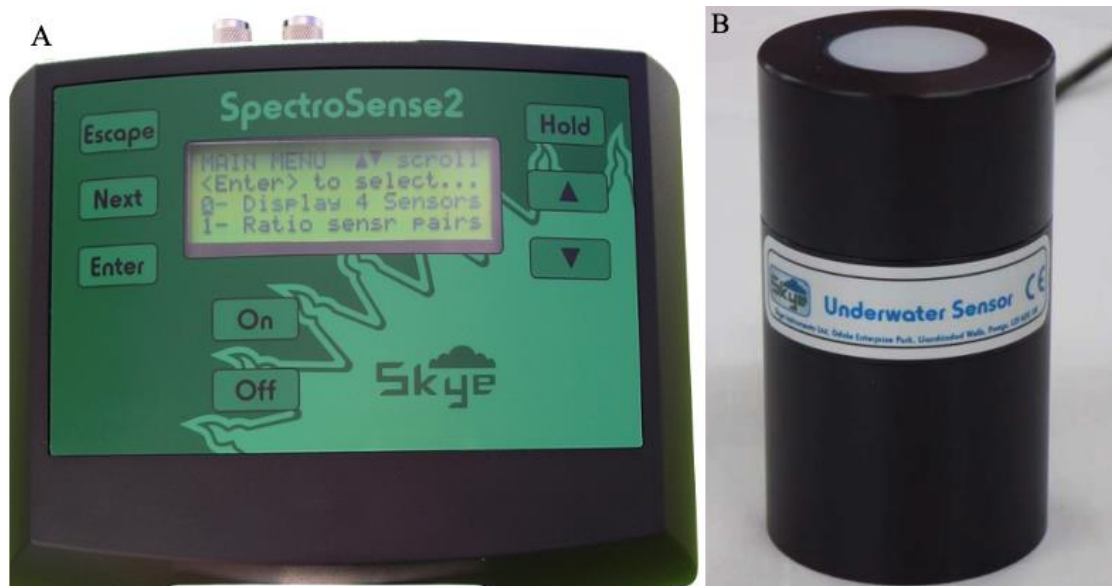
$$GSI/HSI_i = \beta_0 + \beta_1 \text{HunnKjønn}_i + \varepsilon_i \quad (\text{formel 3})$$

I formelen står β_0 for skjæringspunktet for hver enkelt merd, ε_i er standardfeilen og i er gjeldende merd. Kjønn er en dummy variabel hvor β_1 hunnkjønn i modellen er estimert endring i GSI/HSI fra hannkjønn til hunnkjønn.

3.8 Tekniske spesifikasjoner

3.8.1 Måleinstrumenter og prøvetakning av lys

Til måling av det faktiske lyset fisken i merdene ble eksponert for, ble lys-sensor SKUW-310 (Skye Instrument, Storbritannia) benyttet (Se figur 17, B). For å kunne lese av resultatene fra lys-sensorene, ble måleinstrumentet SpectroSense2 (Skye Instrument, Storbritannia) som vises på figur 17 (A) brukt. Instrumentene ble lånt av Signify, og det ble brukt to lysmålere under prøvetakingen, hvor en målte oppover i vannsøylen, mens den andre målte nedover i vannsøylen.



Figur 17: SpectroSense2 (Skye Instrument, Storbritannia) (A) som brukes til å lese av resultatene fra lys-sensoren. SKUW-310 (Skye Instrument, Storbritannia) (B) som brukes til å registrere lysdata (Skye Instruments, u.å.-a, u.å.-b).

3.8.2 Teknisk spesifikasjoner for merd og not

Merdene/flytekragene som ble benyttet på lokaliteten i Forså var laget av utstyrsprodusenten Sqale AQ og hadde en omkrets på 160 meter. Den ble laget i et PE plastmaterialet. Notposen kom fra utstyrsleverandøren Aqualine AS. Selve notlinet er laget av polyester, mens tau, bånd og løkker er laget av «Hardslått Danline».

3.8.3 Tekniske spesifikasjoner for undervannslysene

Det ble benyttet to ulike typer lys ved lokaliteten. Som nevnt ovenfor er det brukt Aqualux 2500 (BioMarine) og Seacage 680 (Phillips) i merdene. Det er ikke all informasjon som var tilgjengelig for begge lysene, men de illustreres med «X» i cellen i tabell 6.

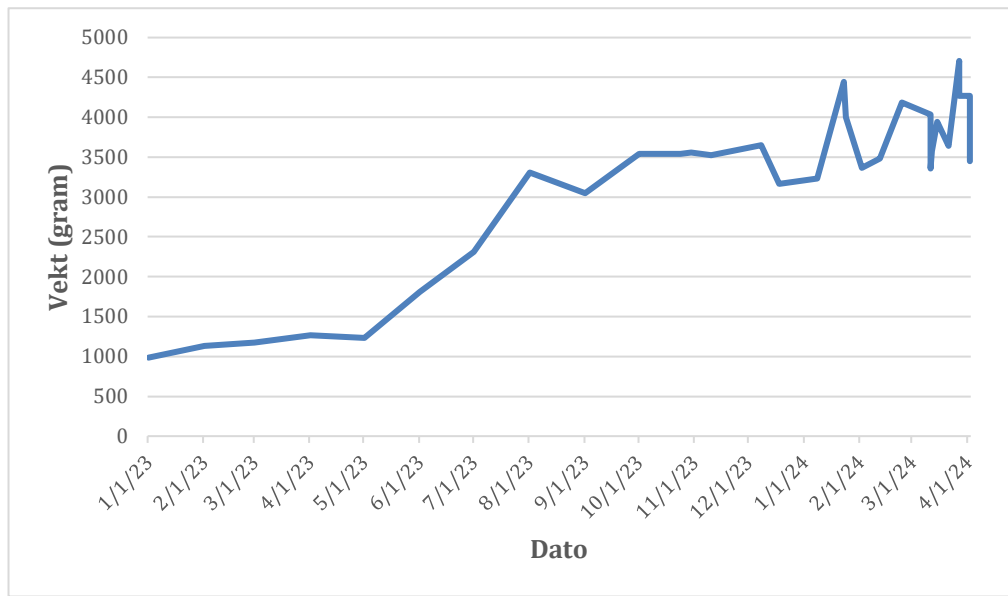
Tabell 6: Tekniske data for Aqualux 2500 (BioMarine) og Seacage 680 (Phillips). Tabellen viser produktnavn og informasjon om produktet. Cellene som er merket med «X» indikerer utilgjengelig eller manglende informasjon for det angitte produktet.

Teknisk data for Aqualux 2500 (BioMarine) og Seacage 680 W (Phillips)		
Produktnavn	Aqualux 2500 (BioMarine)	SeaCage 680 (Phillips)
Effekt (W)	2500	680
Vekt armatur (kg)	13,5	17,7 (6,5 i vann)
Vekt kabel (kg)	5	X
Lysutbytte (LM/W)	130	150
Dimensjoner (mm)	160x730	364x265
Input (volt)	200-600	220-240
Strålingsvinkel	360°	120°
Funksjonstemperatur(°C)	-20°-80°C	X
Forventet levetid (timer)	50 000	70 000
Kapsling	Syrefast stål, opphengs deksel av PEHD	X
Maks dybde (m)	100	X
Effektfaktor	0,95	X
Materialer	POM + SMD + Akryl	Aluminium godkjent for saltvann & PMMA

4 Resultat

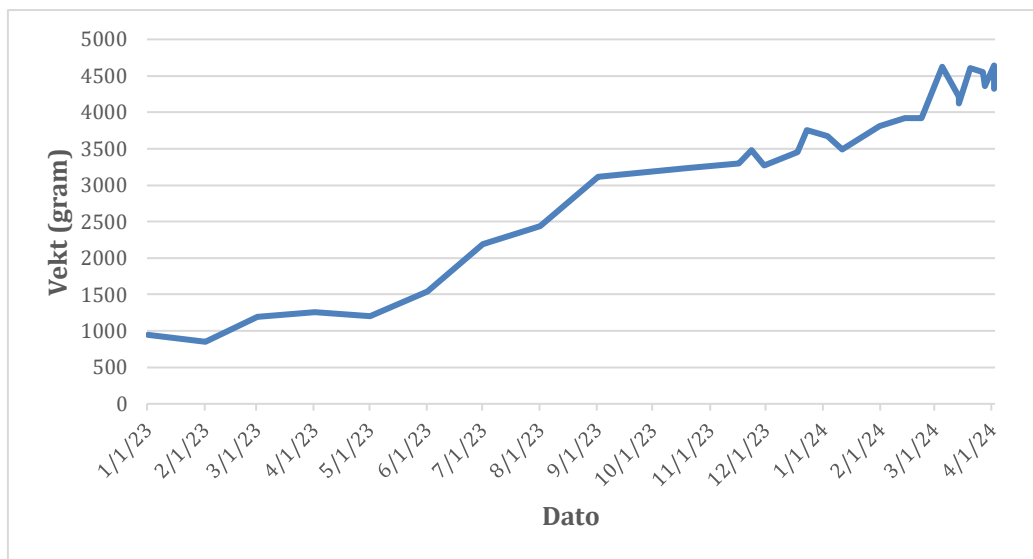
4.1 Utvikling av vekst og kjønnsmodning

I figur 18 kan vekstutviklingen for merdene med fisk fra settefiskanlegget Mørkvedbukta observeres. Diagrammet viser rask vekst frem mot vinteren 2023. Det kan også observeres svingninger i uttakene gjort fra januar til april 2024.



Figur 18: Diagrammet illustrerer utviklingen i vekt i gram for fiskegruppen fra Mørkvedbukta (MB). Utviklingen vises fra 01.01.2023 til 01.04.2024.

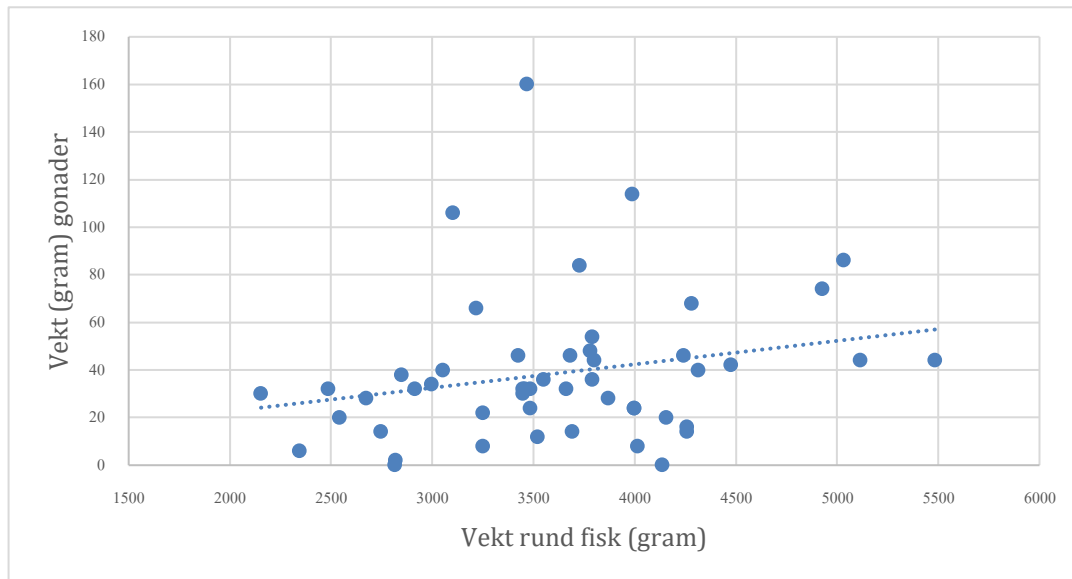
Nedenfor viser figur 19 vekstutviklingen for merdene med fisk fra settefiskanlegget Arctic Cod. Det blir observert en liten nedgang fra januar til februar 2023. Fra juni 2023 til februar 2024 ser man en betydelig vekst, før det er noe svingning i målingene i mars-april 2024.



Figur 19: Diagrammet illustrerer utviklingen i vekt i gram for fiskegruppen fra Arctic Cod (AC). Utviklingen vises fra 01.01.2023 til 01.04.2024.

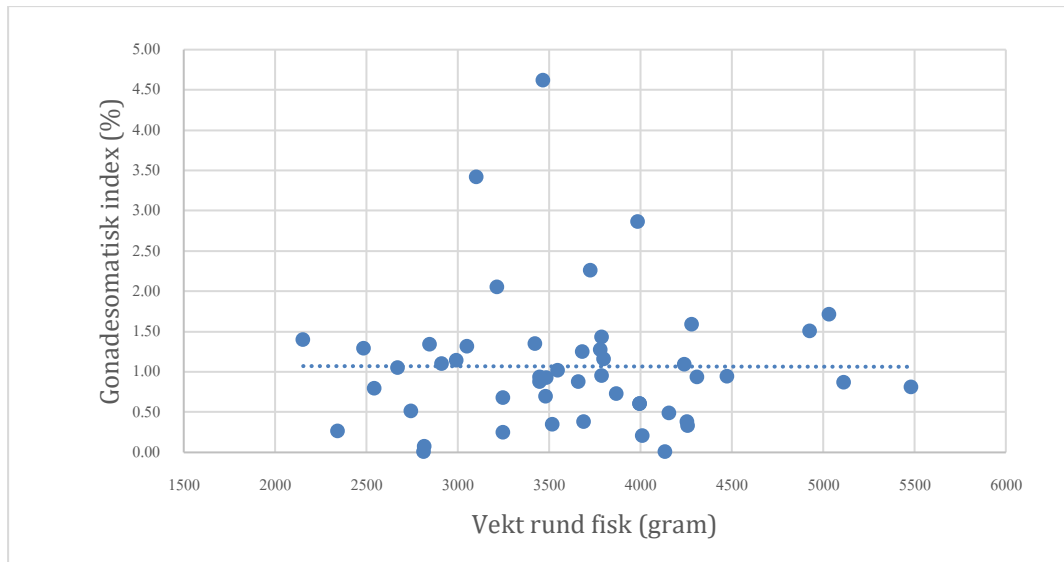
4.1.1 Prøveuttak av gonader etter 17 måneder i sjøfasen

Prøvene ble tatt i forbindelse med prøveslakt og sortering den 24.oktober 2023. Figur 20 nedenfor viser et punktdiagram med 50 punkter som er for de 50 individene. På x-aksen er vekten på fisken før den er sløyd og på y-aksen er vekten på gonadene til individene, alt er målt i gram. Det er forsøkt å vise en korrelasjon mellom økende vekt på gonadene desto større fisken er i gram. Som trendlinjen viser er det en svak sammenheng mellom vekt på fisken og vekten på gonadene.



Figur 20: Sammenhengen mellom størrelse på fisken (gram) og gonadeutvikling på gonadene (gram) for femti fisk som ble slaktet 24.oktober 2023 med opphav fra lokalitet Forså, Ibestad. Målingene er gjort på slakteriet til Vesterålen Havbruk i Bø. Grafen har med trendlinje for uttaket. Y-aksen går fra 0 til 180 gram og x-aksen går fra 1500 til 6000 gram.

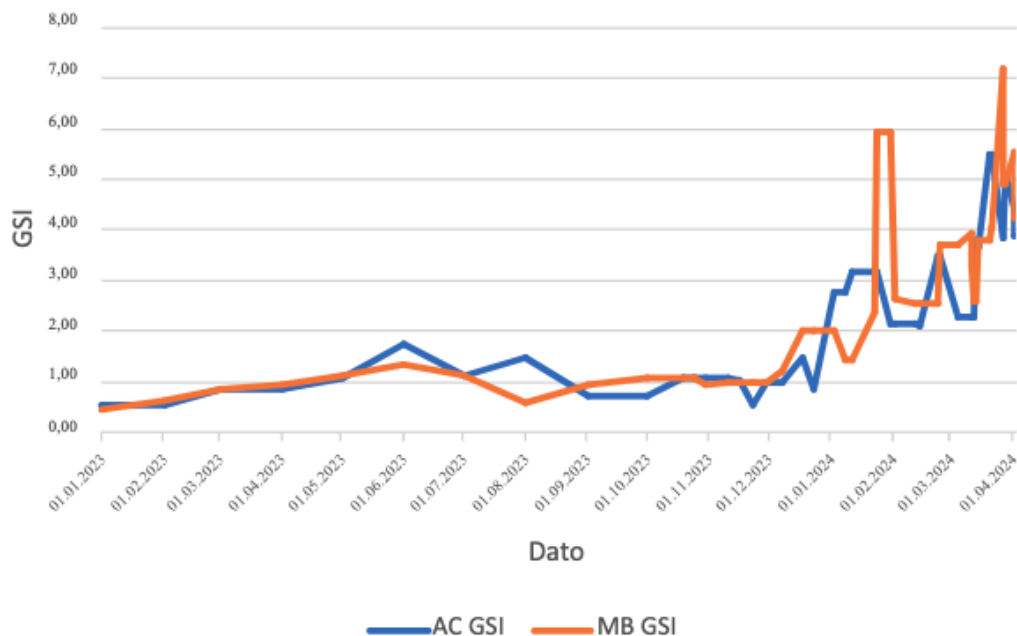
I tillegg til vekt i gram ble det laget et punktdiagram for å vise GSI for individene. I likhet med figur 20 er x-aksen på figur 21 vekten på fisk før sløyting. Y-aksen viser GSI i prosent. Figuren viser gjennom punktene at det ikke er noen klar sammenheng mellom vekt på individene og GSI. Figuren viser at de fleste individene hadde lav GSI noe som gjenspeiler seg i gjennomsnittet som var 1,07%. Linjen viser gjennomsnitts GSI for uttaket. Det observeres en stor variasjon i uttaket.



Figur 21: Gonadosomatisk indeks (GSI %) av 50 individer med opphav fra lokalitet Forså, Ibestad. Målingene ble gjort etter uttak og transport til slakteriet ved Vesterålen Havbruk i Bø den 24.oktober 2023. Y-aksen viser GSI %, mens x-aksen viser rund vekt (gram) av fisken. Figuren inkluderer også en gjennomsnittslinje for uttaket på 1,07%.

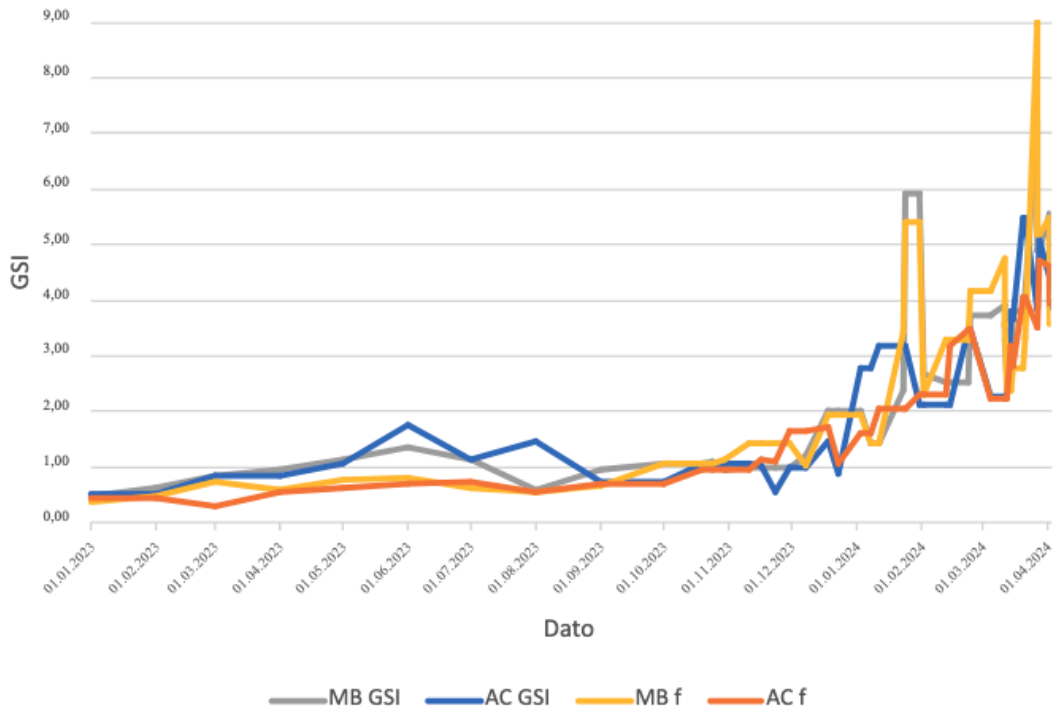
4.1.2 Utviklingen av gonadosomatisk indeks

Figur 22 under viser utviklingen av GSI for de to fiskegruppene ved lokaliteten til KIME Akva fra Arctic Cod (AC) og Mørkvedbukta (MB). Som figuren viser er det en slak utvikling mot andre vinter i sjø, ved nyttår blir det en mer markant økning før den går litt ned igjen i april. Gruppene følger hverandre jevnt, med noen unntak gjennom målingene.



Figur 22: Utvikling i gonadosomatisk indeks (GSI) for alle merdene ved lokalitet Forså. Grafen viser GSI over 15 måneder fra 1.januar 2023 til 1.april 2024. Yngel ble levert fra Mørkvedbukta (MB) og Arctic Cod (AC), spesifikk utvikling i GSI for disse populasjonene er presentert i henholdsvis blått (AC) og oransje (MB). Det ble gjort måling av 20 stk fisk fra hver fiskegruppe for hver enkelt måling.

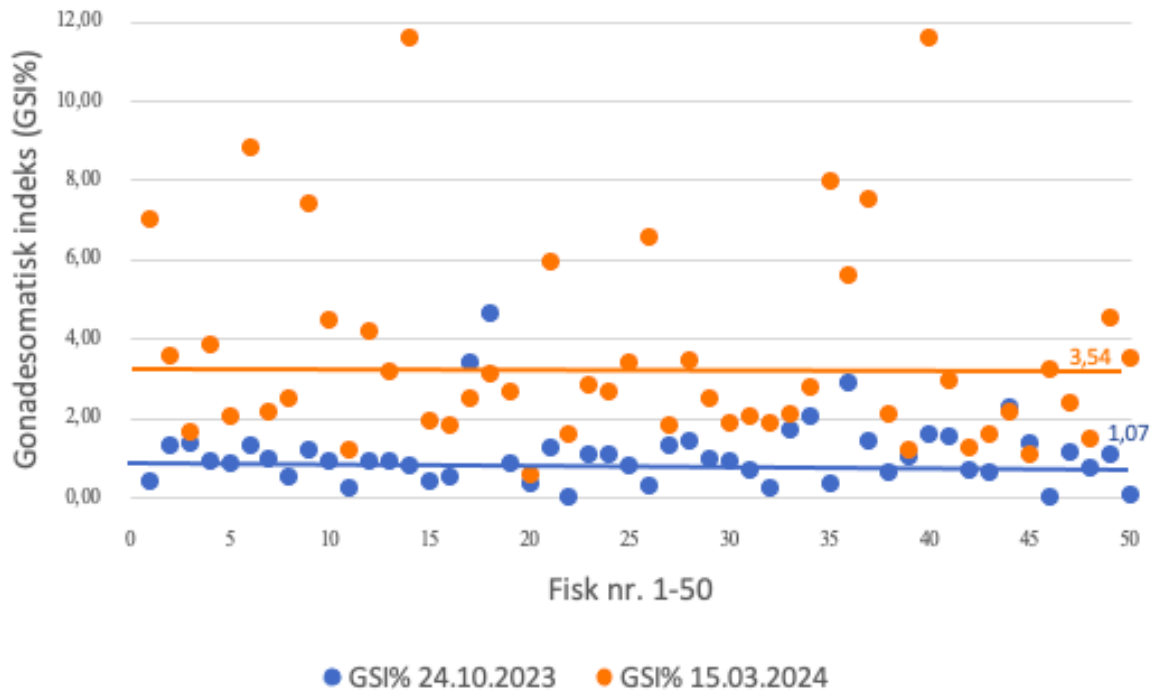
Utviklingen av GSI for fiskegruppene MB, AC, og kun for hunntorsk (MB f og AC f) over perioden 01.01.2023 til 01.04.2024 illustreres i figur 23 nedenfor. Her er dataen hentet fra alle merder på Forså og gir et bilde på hvordan situasjonen ser ut på hele lokaliteten.



Figur 23: Utviklingen av gonadosomatisk indeks (GSI %) for fiskegruppene Mørkvedbukta (MB), Arctic Cod (AC) og kun hunntorsk for de to gruppene (MB f og AC f) fra 01.01.2023 til 01.04.2024. Utviklingen er beregnet fra alle merdene ved lokalitet Forså hos KIME Akva.

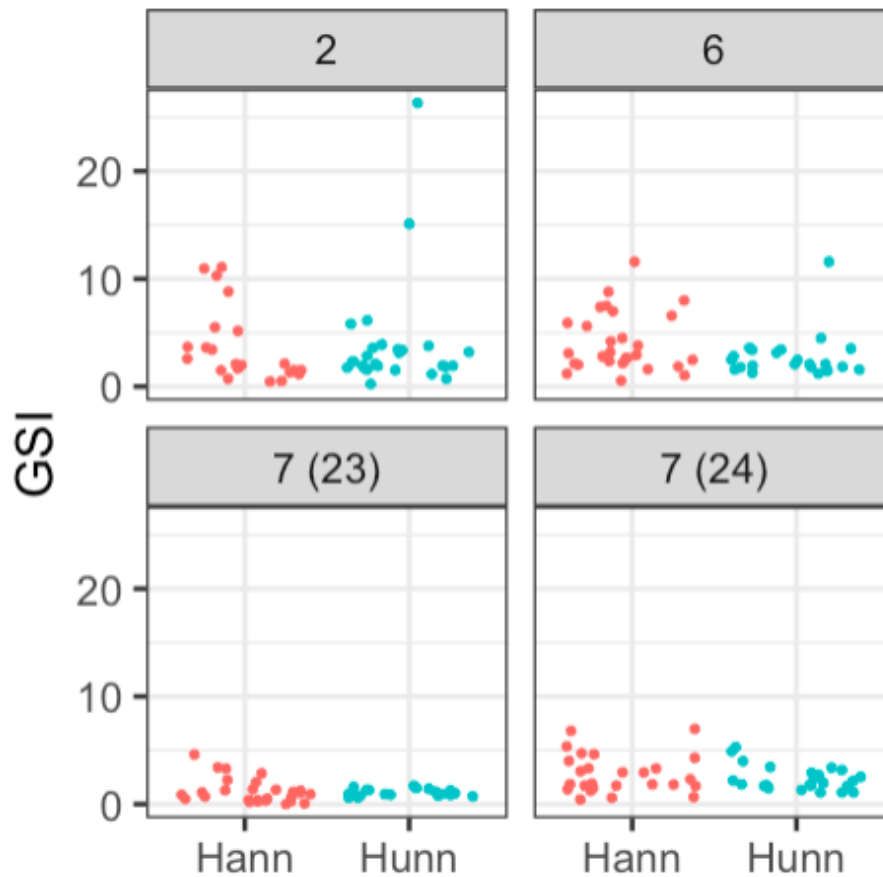
Under viser figur 24 GSI-målingene som ble utført på slakteriet til Vesterålen Havbruk Bø (VHB) og Kråkøy Slakteri (KS). De første målingene som ble utført 24.10.2023 var hos VHB, mens målingene 15.03.2024 var hos KS. Det ble gjort målinger på 50 fisk.

Variasjonene er tydelig større i uttaket gjort 15.03.2024 med et par individer med en god del høyere GSI. Snittet for de to uttakene er forholdsvis 1,07% den 24.10 og 3,54% den 15.03.



Figur 24: Sammenligning mellom gonadosomatisk indeks (GSI %) (y-aksen) på 50 fisk (x-aksen). Plottene i blå farge illustrerer fiskeindivider fra slakteriet hos Vesterålen Havbruk Bø (VHB) tatt den 24.10.2023 fra merd 7. Den blå linjen representerer gjennomsnittet av GSI % som er på 1,07 %. Plottene i oransje viser individene fra merd 7 som ble slaktet hos Kråkøy Slakteri (KS) i Roan den 15.03.2024. Den oransje linjen viser gjennomsnitt av GSI % på 3,54 % fra de 50 individene.

I figur 25 blir GSI-resultatene fra slakteriet skilt mellom hunn- (blå farge) og hannkjønn (rød farge). Prøvene fra merd 7 (23) som var slaktet 24.10.2023 blir sammenlignet mot prøvene fra merd 2, 6 og 7 (24) som ble slaktet mellom 28.02.2024 til 15.03.2024. Den ene uteliggeren med GSI over 25% fra merd 2 som illustreres i figur 25 under, blir presentert i figur 28 i kapittel 4.1.5.



Figur 25: Oversikt over gonadosomatisk indeks (GSI %) for fire utvalgte merd ved lokalitet Forså. Figuren viser resultat fra merd 7 (23) tatt 24.10.2023 hos VHB nede til venstre. Videre illustreres merd 2, 6 og 7 (24) med GSI-prøver tatt 15.03.2024 hos KS. Resultatene er skilt mellom hunn- og hannkjønn i forholdsvis blå (hunn) og rød farge (hann).

4.1.3 Beskrivende statistikk av gonadeutvikling

Under forsøket ble all data fra slakteriene lagt inn i en csv. fil som ble brukt i R-studio for å utføre statistikk på dataen som hadde blitt samlet inn i løpet av produksjonen.

Tabell 7 viser statistikk fra fisken som ble slaktet fra VHB den 24.10.2023. Det er fra 48 individer, fordi individene 35 og 50 er fjernet på grunn av feildata. Her vises antall fisk, gjennomsnitt, standardavvik, minimum verdi og maksimum verdi. Som tabellen viser er gjennomsnitts GSI på $1,11 \pm 0,83\%$.

Tabell 7: Statistikk fra 48 individer fra merd 7, som ble slaktet 24.10.2023. Viser antall (N), gjennomsnitt (Mean), standardavvik (St.Dev.), minimum verdi (Min) og maksimum verdi (Max). Vekt står i gram (g), GSI er oppgitt i prosent (%).

Vekt fisk (g)	48	3,623.88	720.86	2,154	5,484
Vekt gonader (g)	48	39.96	30.29	0	160
Vekt lever (g)	48	467.98	110.87	246	740
Vekt sløyd fisk (g)	48	2,981.46	621.32	1,828	4,610
GSI (%)	48	1.11	0.83	0.00	4.61

Nedenfor i tabell 8 vises statistikk fra fisken som ble slaktet på KS mellom 28.02.2024 og 15.03.2024. Individene som vises er 150 stykk (50 per merd) og kommer fra merd 2, 6 og 7. I tillegg vises gjennomsnitt, standardavvik, minimum verdi og maksimum verdi. Gjennomsnitts GSI er på $3,31 \pm 3,12\%$.

Tabell 8: Statistikk fra 150 individer fra merd 2, 6 og 7 som ble slaktet fra 28.02.2024-15.03.2024. Viser antall (N), gjennomsnitt (Mean), standardavvik (St.Dev.), minimum verdi (Min) og maksimum verdi (Max). Vekt står i gram (g), GSI er oppgitt i prosent (%).

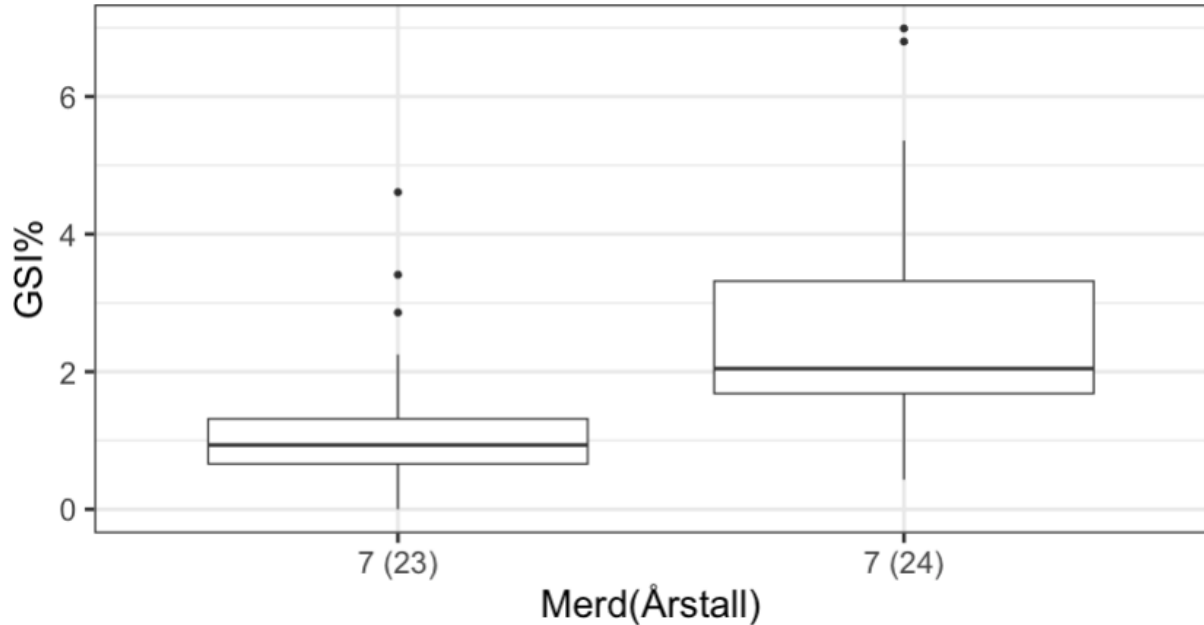
Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Vekt fisk (g)	150	3,882.53	925.74	1,305	6,725
Vekt gonader (g)	150	128.77	151.42	10	1,415
Vekt lever (g)	150	382.70	134.09	40	800
Vekt sløyd fisk (g)	150	3,220.84	748.54	1,095	5,530
GSI (%)	150	3.31	3.12	0.24	26.33

I figur 26 under ser man et boksplokk av GSI for merd 7 (23) og 7 (24). Til venstre ser man boksplokk av merd 7 (23). Her ser man at majoriteten av variablene ligger $\pm 1\%$ GSI. Medianen er rett i underkant av 1% og det finnes tre uteliggere som ligger over den øvre grenseverdien. Til høyre ser man boksplokket for merd 7 (24). Her er medianen av GSI på 2%. Her er variablene mer spredt og har en større øvre og nedre grenseverdi. Det er to uteliggere på over 6%.

Under ser man et boksplokk av GSI % for merd 7 fra uttakene 24.10.2023 og 15.03.2024.

Resultatene fra 7 (23) viser lite variasjon og korte «whiskers», men har 3 uteliggere.

Sammenlignet med 7 (24) ser man at kvartilbredden er større som antyder at det er større variasjon i resultatene. Her er det bare to uteliggere som ligger på ca. 6,5 % GSI.



Figur 26: Boksplokk av gonadosomatisk indeks (GSI %) for merd 7 (23) og 7 (24). Dette boksplokket viser utstikkere/ «whiskers» som illustrerer de nedre og øvre grenseverdiene til hovedgrupperingen av dataverdiene. Dataen som ikke passer til hovedgrupperingen vises som uteliggere i form av små sirkler øverst eller nederst i boksplokket. På kvartilbredden beskrives 1. kvartil som begynner nøyaktig på 25%, medianen på nøyaktig 50% og 3.kvartil på nøyaktig 75% av dataen. Uttakene er gjort henholdsvis 24.10.2023 og 15.03.2024 fra merd 7. Til venstre ser man et kompakt boksplokk med korte «whiskers». Det er tre uteliggere som ligger utenfor normalverdiene for 7 (23). Til høyre ser man 7 (24) hvor kvartilbredden er blitt større. Det er større variasjon i dataen som gir lengre «whiskers». Her er det kun to uteliggere som ligger over 6 % GSI.

Videre viser statistikken i figuren under om det finnes korrelasjon mellom GSI % og kjønn blant de 48 individene fra merd 7 (23). Modellen har beregnet at kjønn ikke har noen statistisk signifikant påvirkning på GSI med et satt signifikansnivå på $p < 0.05$.

Tabell 9: Tabellen viser om det er statistisk signifikant korrelasjon mellom gonadosomatisk indeks (GSI%) og kjønn fra 48 fisk som kom fra merd 7 (23). Modellen beregner at kjønn ikke har noen statistisk signifikant påvirkning på GSI med et satt signifikansnivå på $p < 0.05$.

<i>Dependent variable:</i>	
	GSI %
Hunn kjønn	-0.084 p = 0.731 (0.243)
Observations	48
Residual Std. Error	0.840 (df = 46)
F Statistic	0.120 (df = 1; 46)
<i>Note:</i>	* p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

I neste resultat fra 150 individer fra merd, 2, 6 og 7 (24) som ble slaktet 5 måneder senere ser man at det er litt større forskjell. Men modellen beregner at kjønn ikke har noen statistisk signifikantpåvirkning på GSI med et satt signifikansnivå på $p < 0.05$.

Tabell 10: Tabellen viser om det er en statistisk signifikant korrelasjon mellom gonadosomatisk indeks (GSI %) og kjønn fra 150 fisk som kom fra merd 2, 6 og 7 (24). Modellen beregner at kjønn ikke har noen statistisk signifikantpåvirkning på GSI med et satt signifikansnivå på $p < 0.05$.

<i>Dependent variable:</i>	
	GSI %
Hunn kjønn	-0.478 p = 0.349 (0.508)
Observations	150
F Statistic	0.886 (df = 1; 146)
<i>Note:</i>	* p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

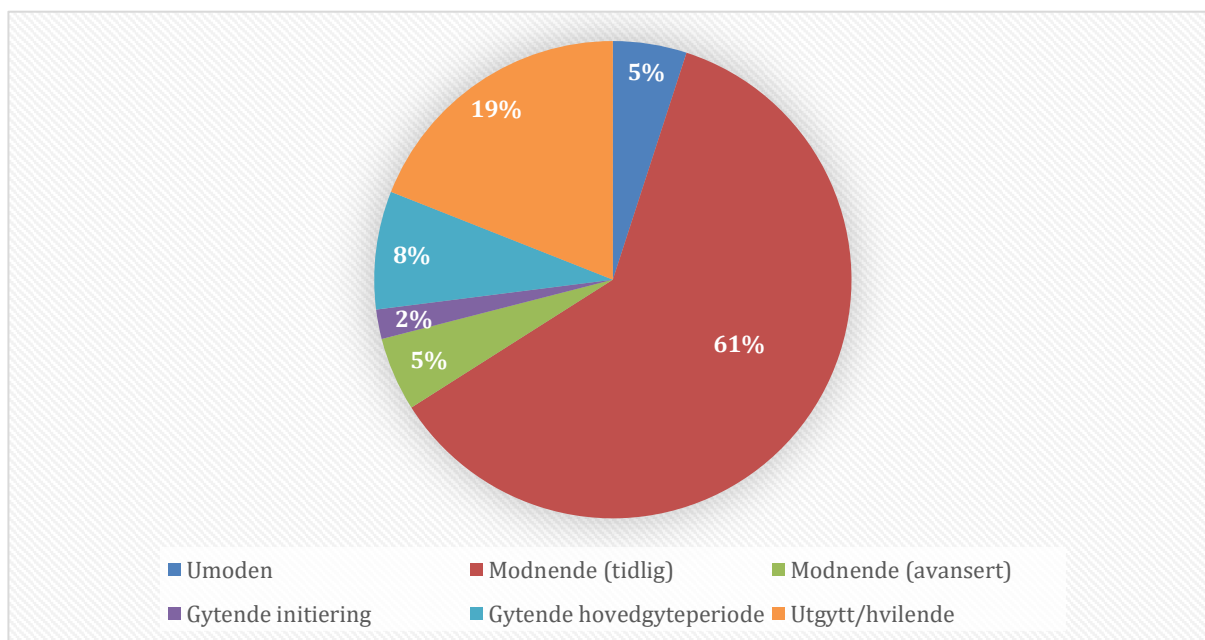
4.1.4 Makroskopisk vurdering av modningsstadier

Under slakt gjort på Kråkøy ble det gjort visuell vurdering av gonadene etter HI sin protokoll på to av merdene som er presentert i resultatene, henholdsvis merd 2 og 7 (slaktet 28.02.2024 og 15.03.2024). Gonadene til de 100 individene ble visuelt vurdert i tillegg til normal prosedyre for måling av GSI. I tabell 11 nedenfor vises resultatet fra den visuelle vurderingen.

Tabell 11: Tabellen viser den visuelle vurderingen av 100 individer fra merd 2 og 7. Den gjennomsnittlige GSI'en er vist for hvert stadiet i utviklingen.

	Umoden	Modnende (tidlig)	Modnende (avansert)	Gytende initiering	Gytende hovedgyteperiode	Utgytt/hvilende	Totalt
Antall fisk	5	61	5	2	8	19	100
Gjennomsnitt GSI	0,89	2,71	7,06	5,55	8,06	2,04	4,38

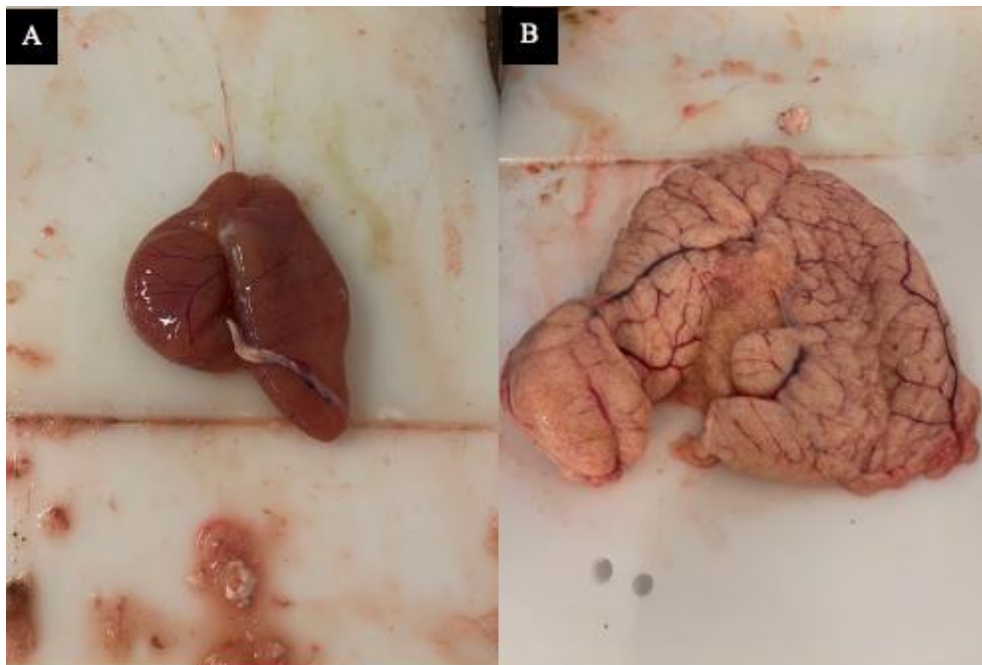
Som tabellen ovenfor viser er det størst andel av individer som er på stadiet «Modnende (tidlig)», med en snitt GSI på 2,71%. Det som er verdt å merke seg er at 19 individer ble karakterisert som «Utgytt/hvilende», med en snitt GSI på 2,04%. I tillegg var totalt 10 individer på stadiet «Gytende». Lavest GSI hadde de fem individene på stadiet «Umoden» med snitt på 0,89%. I figur 27 kan fordelingen på de ulike stadiene sees i prosent. Det er klart størst andel av individene som var i stadiet «Modnende (tidlig)», med 61%. Videre er 19% av individene det ble gjort visuell vurdering av på stadiet «Utgytt/Hvilende». De to stadiene for gyting utgjør 10%, til slutt utgjør «Modnende (avansert)» og «Umoden» 5% hver.



Figur 27: Fordeling av den visuelle vurderingen av gonadene til 100 individer fra merd 2 og 7 ved lokalitet Forså hos KIME Akva. Til sammen utgjør hele figuren 100%.

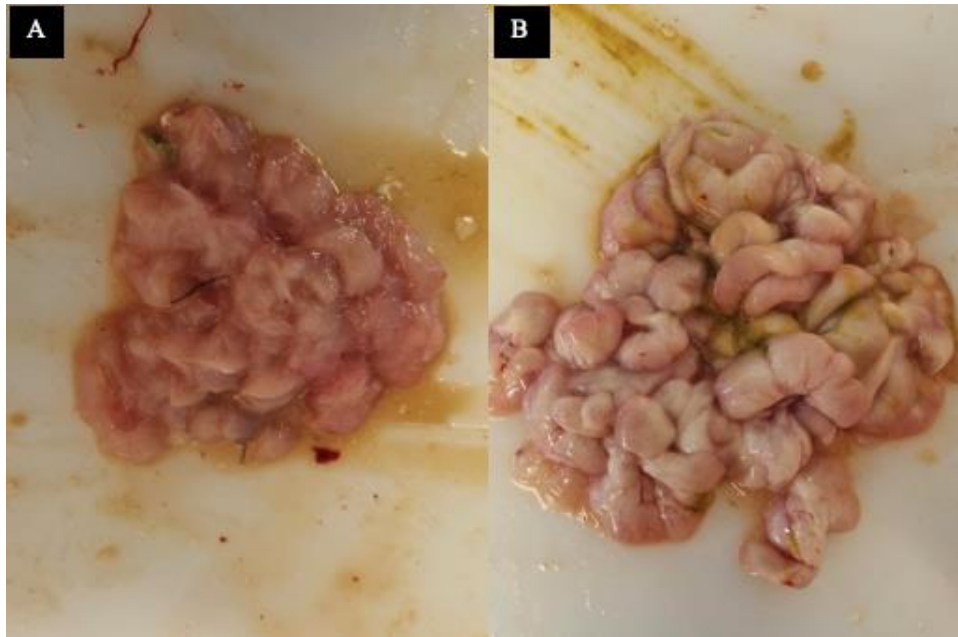
4.1.5 Fremstilling av gonadestadiene

Under viser figur 28 to hunn gonader fra to fisk med relativ lik vekt fra torsk fra samme merd (merd 2) og slaktet på samme dato hos Kråkøy slakteri (KS). Figur 28 (A) viser en gonade på 80 gram fra en fisk på 5280 gram, noe som ga en GSI på 1,51%. Ved makroskopisk vurdering går figur 28 (A) som stadium 2 (modnende tidlig). Til høyre på figur 28 (B) er en større gonade med vekt på 1415 gram. Rund vekt på denne fisken var 5375 gram og dette ga en GSI på 26,6 %. Makroskopisk vurdering av denne er på stadium 3 (gytende hovedgyteperiode). Gonade (A) er et representativ bilde på hvordan merdbildet var, da hele 39 av 50 individer var på stadium 2 (modnede tidlig). Mens gonade (B) er ikke representativ da det kun var 2 av 50 individer som er på stadium 3 (gytende hovedgyteperiode).



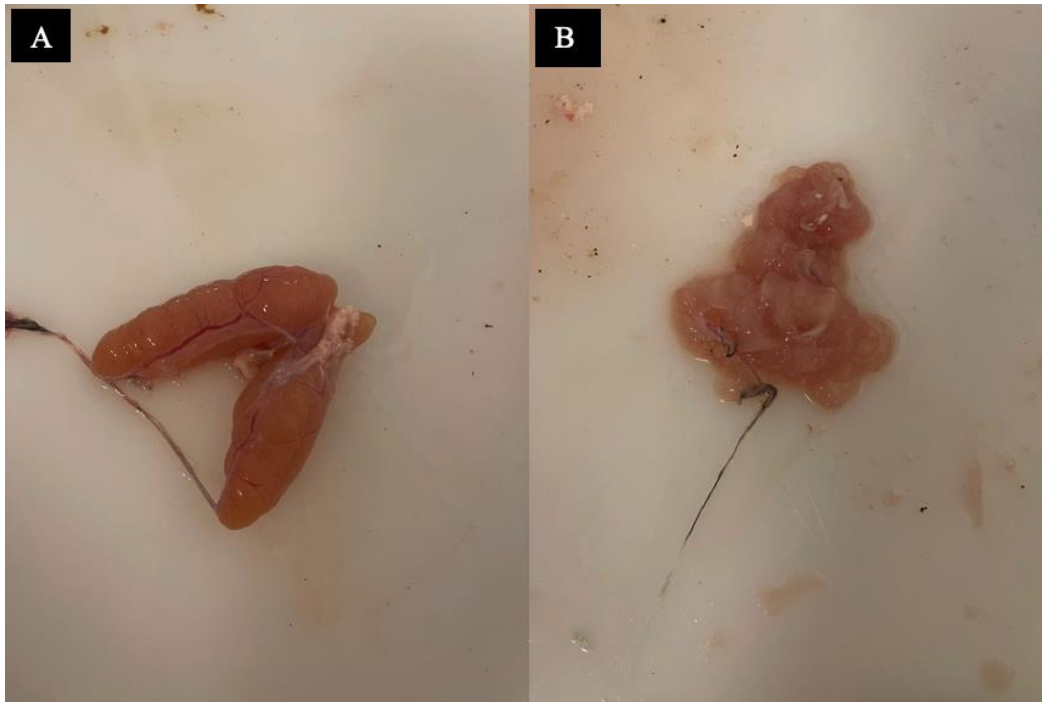
Figur 28: Bilde av to hunn gonader fra fisk slaktet etter 21 måneder i sjø. (A) Gonade på 80 gram fra en hunntorsk med rund vekt på 5280 gram. Gonadosomatisk indeks (GSI %) på for denne fisken var 1.51%. (B) Gonade ser på 1415 gram fra en hunntorsk med rund vekt på 5375 gram. Dette ga en GSI % på 26,3%. Begge individene stammer fra merd 2 ved lokalitet Forså hos KIME Akva.

Figur 29 viser to eksempler på gonader fra hanntorsk. Figur 29 (A) viser en gonade på 65 gram fra en hanntorsk med rundvekt på 3560. Denne var på stadium 2 (modnende tidlig) og hadde en GSI på 1,83%. Figur 29 (B) viser en gonade på 235 gram fra en hanntorsk med rundvekt på 3360 gram. Dette tilsvarte stadium 3 (gytende hovedgyteperiode) og en GSI på 6,99%. Fisken er hentet fra merd 7 og slaktet hos KS. Her ser man at (A) er representativt for slaktet fisk i merd 2. Av 50 fisk var 22 individer på stadium 2 (modnende tidlig). Gonade (B) til høyre er ikke representativ for merden, da det kun var 6 av 50 individer som var på stadium 3 (gytende hovedgyteperiode).



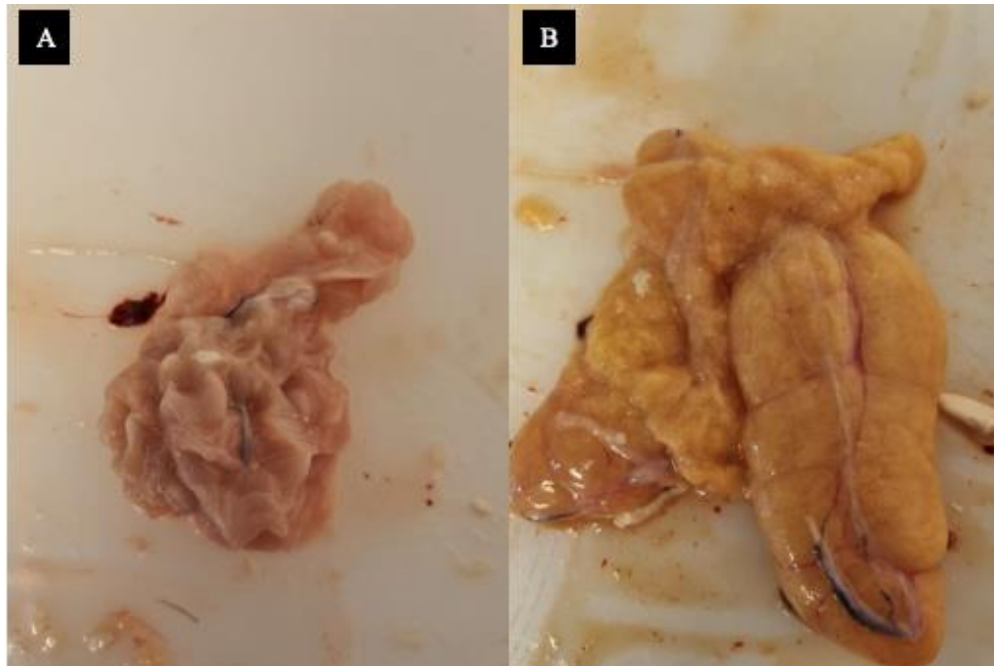
Figur 29: Bilde av to hanngonader. Til venstre (A) ser man en hanngonade på 65 gram fra en torsk med rund vekt på 3560 gram. Dette ga en gonadosomatisk indeks (GSI %) på 1,83%. Videre ser man til høyre (B) en hanngonade på 235 gram fra en torsk med rund vekt på 3360 gram. Noe som ga en GSI på 6,99%. Begge individene stammer fra merd 7 ved lokalitet Forså hos KIME Akva.

Videre ser man på figur 30 under eksempler på hunn- og hanngonader som er på stadium 1 (umoden). Disse er betraktelig mindre enn de ovenfor. Figur 30 (A) viser en hunngonade på 50 gram og en GSI på 1,1%. Denne gonaden kommer fra en torsk med rund vekt på 4365 gram. Videre ser man figur 30 (B) en hanngonade på 20 gram. Denne kommer fra en torsk med en rund vekt på 3290 gram. Det vil si en GSI på 0,5%. Fisken er tatt fra merd 2 og slaktet hos KS. I merd 2 er det stadium 2 (modnende tidlig) som var representative for merden med 39 individer. Det vil si at disse gonadene ikke er representativt for merden når det kun var 5 av 50 individer som var på stadium 1 (umoden).



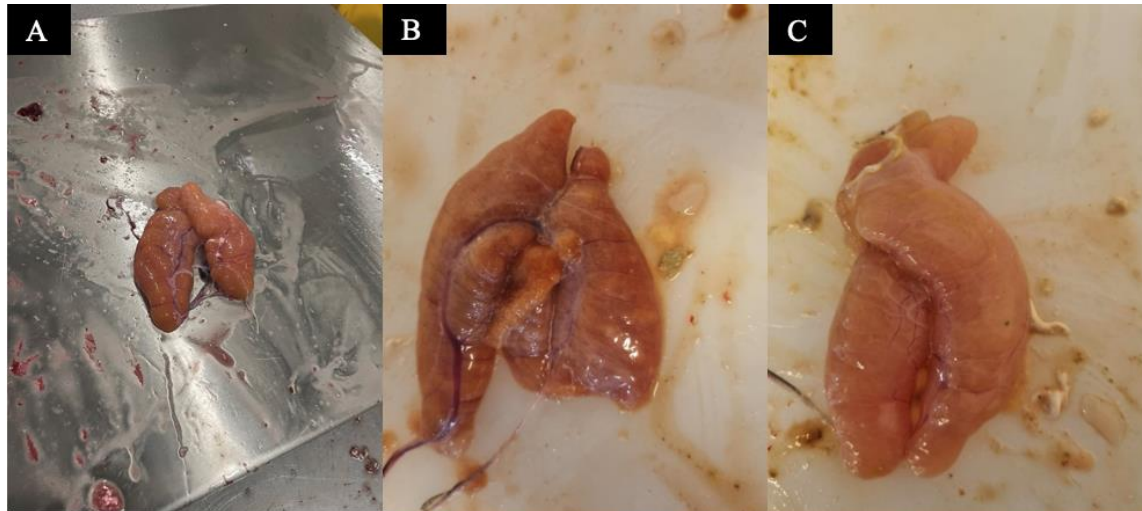
Figur 30: Bilder av en hann- og hunngonade. Til venstre (A) ser man en hunngonade ved makroskopisk vurdering på stadium 1 (umoden). Gonaden er på 50 gram fra en torsk med rundvekt på 4365 gram. Dette gir en gonadosomatisk indeks (GSI %) på 1,1%. Til høyre (B) ser man en hanngonade med en makroskopisk vurdering på stadium 1 (umoden). Gonaden har en vekt på 20 gram fra en fisk med rundvekt på 4290 gram. Dette gir en GSI % på 0,46%. Begge gonadene stammer fra fisk merd 2 ved lokalitet Forså hos KIME Akva.

Videre er det gonader som er stadium 4 (utgytt/hvilende). Under viser figur 31 eksempler på hann- og hunngonader som har nådd dette stadiet. Begge er hentet fra merd 7 og slaktet hos KS. Figur 31 (A) viser en hanngonade på 20 gram fra en fisk med rundvekt på 4615 gram. Denne har en GSI på 0,46%. Videre viser figur 31 (B) en hunngonade på 125 gram fra en fisk med rundvekt på 4645 gram, som gir en GSI på 2,69%. Begge gonadene i figur 31 ble gitt en makroskopisk vurdering på stadium 4 (utgytt/hvilende). Dette illustrerer godt hvordan store deler av slakteprøvene fra merd 7 var. I merd 7 var 18 av 50 fisk på stadium 4 (utgytt/hvilende). Ellers var det 22 av 50 gonader på stadium 2 (modnende tidlig) og resterende 10 gonader på andre stadier i modningsprosessen.



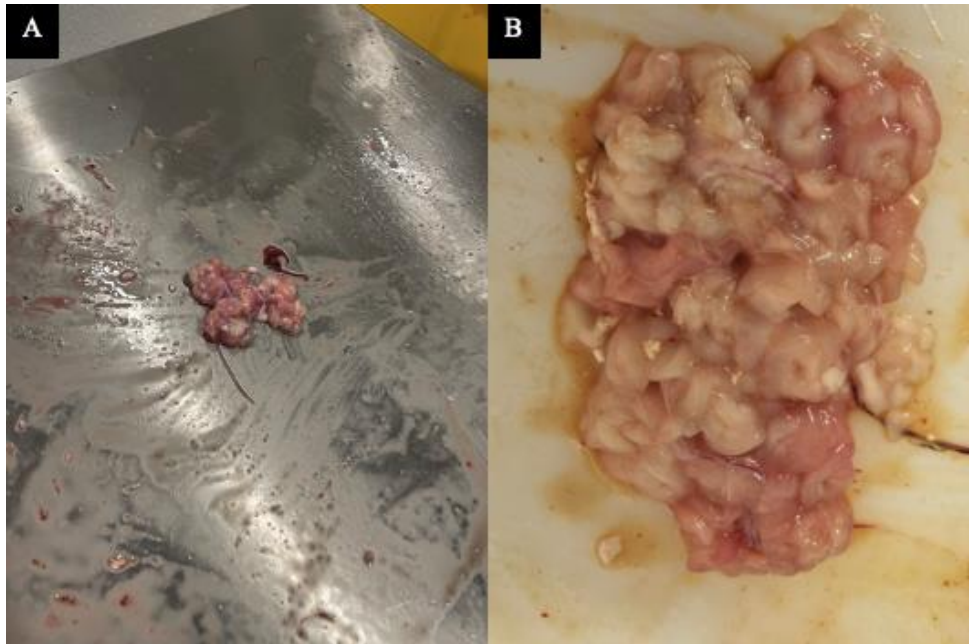
Figur 31: Bilde av en hunn- og hanngonade på stadium 4 (utgytt/hvilende). Til venstre (A) ser man en hanngonade på 20 gram fra en fisk med rundvekt på 4615 gram. Dette gir en gonadosomatisk (GSI %) på 0,43%. Til høyre (B) ser man en hunnngonade som veier 125 gram fra en torsk med rundvekt på 4645 gram. Noe som gir en GSI på 2,69%. Begge individene stammer fra merd 7 ved lokalitet Forså hos KIME Akva.

Figur 32 viser tre eksempler på hunnngonader med nesten 5 måneder mellomrom fra merd 7. Bildet helt til venstre (A) viser en hunnngonade på 68 gram. Den kom fra en torsk med rundvekt på 4284, som gir den en GSI på 1,59% og var stadium 2 (modnende tidlig). Fisken ble slaktet hos VHB den 24.10.23. Videre viser (B) en hunnngonade som ble slaktet hos KS 12.03.24. Her veide gonaden 75 gram fra en torsk på 4320 gram. Den hadde en GSI på 1,74%. Denne var stadium 4 (utgytt/hvilende). Tilslutt har man (C) som veide 50 gram fra en fisk på 4595 gram. Her er det en GSI på 1,09%. Denne er litt tidligere i stadium 2 (modnende) sammenlignet med (A) som har mer vaskularisering. Slaktedatoen er også 12.03.24 fra KS her. Disse representerer godt hvordan gonadeprøvene hos merd 7 var. I merd 7 var 22 av 50 fisk på stadium 2 (modnende tidlig) og 18 av 50 fisk på stadium 4 (utgytt/hvilende).



Figur 32: Bilde av 3 hunngonader fra tre ulike fiskeindivider. Til venstre (A) som er senere i den modnende fasen (stadium 2) fra slakteriet VHB 24.10.2023. Denne veier 68 gram og har en gonadosomatisk indeks (GSI%) på 1,59 %. I midten (B) viser en utgytt/hvilende (stadium 4) hunngonade fra slakteriet KS den 12.03.2024. Vekten på gonaden er 75 gram fra en fisk på 4320 gram. Noe som gir en GSI % på 1,74 %. Til høyre (C) en hunngonade som er tidlig i fasen som modnende (stadium 2) fra 12.03.2024 fra slakteriet KS Vekten på gonaden er 50 gram fra en fisk på 4595 gram. Dette gir en GSI % på 1,09%. Individene stammer fra merd 7 ved lokalitet Forså hos KIME Akva med nesten 5 måneders mellomrom mellom uttakene.

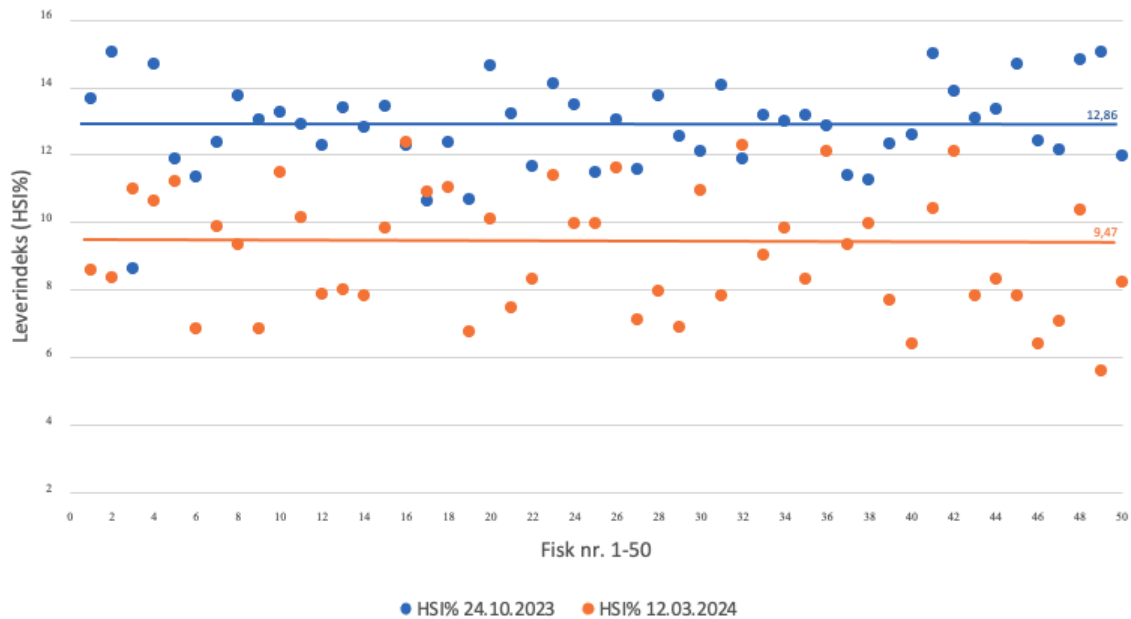
Videre er det to eksempler fra hanngonader slaktet hos VHB den 24.10.2023 (A) og hos KS den 12.03.2024 (B). Figur (A) er en hanngonade som er i stadium 1 (umoden) og veier 30 gram. Gonaden kommer fra en torsk som veier 3450 gram som gir en GSI på 0,87%. Til høyre ser man figur (B) som viser en hanngonade på stadium 3 (gytende hovedgyteperiode). Gonaden kommer fra en torsk som veier 3445 gram som gir en GSI på 4,46%. Bildene er tatt fra ulik avstand. Gonadeprøven (A) fra VHB ga et representativt bilde på prøvene, med en gjennomsnitt GSI på 1,07% fra slakteprøvene. Gonaden (B) til høyre er ikke representativ for merd 7, hvor det kun er 6 av 50 som er stadium 3 (gytende hovedgyteperiode).



Figur 33: Bilde av to hanngonader med ca. 5 måneder mellomrom (24.10.2023-15.03.2024). Til venstre (A) ser man en hanngonade som er umoden (stadium 1) og veier 30 gram fra en torsk med rundvekt på 3450 gram. Her er det en gonadosomatisk indeks (GSI %) på 0,87%. Fisken ble slaktet 24.10.2023 hos Vesterålen Havbruk Bø (VHB). Til høyre ser man en hanngonade (B) som er i en gytende hovedgyteperiode (stadium 3). Gonaden veier 160 gram fra en torsk med rundvekt på 3445 gram. Dette gir en GSI på 4,64% og var slaktet 12.03.2024 hos Kråkøy Slakteri (KS) i Roan. Individene stammer fra merd 7 ved lokalitet Forså hos KIME Akva.

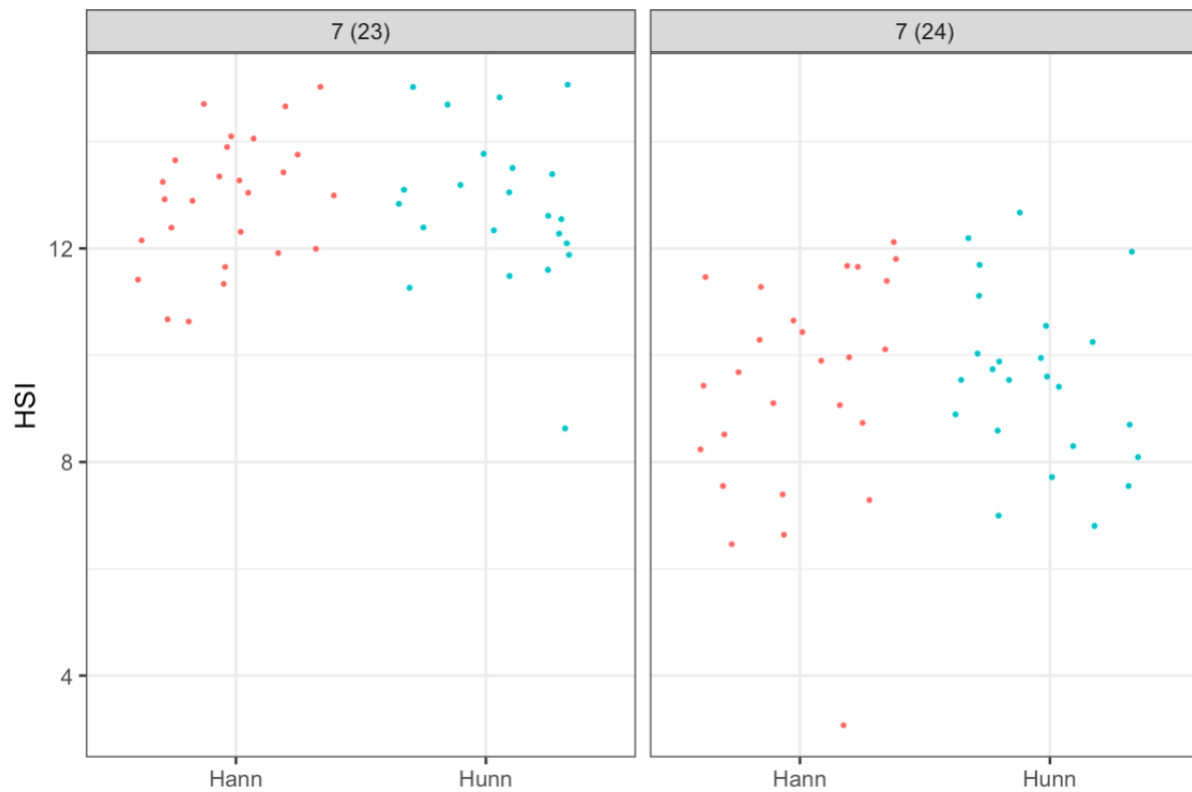
4.2 Utvikling av leverindeks

Leverindeks fra oppdrettstorsken tatt ut hos slakteriene Vesterålen Havbruk Bø (VHB) og Kråkøy slakteri (KS) er vist i figur 34. Målingene ble gjort 24.10.2023 og 12.03.2024, og det ble tatt prøver av 50 individer ved hvert uttak. Snittet ligger jevnt lavere på uttaket gjort den 12.03.2024, med noen individuelle forskjeller. Snittet for uttaket den 24.10.2023 er 12,86% og for uttaket den 12.03.2024 var det 9,47%.



Figur 34: Leverindeks (HSI%) for 50 fisk som ble slaktet hos Vesterålen Havbruk Bø (blå) og Kråkøy Slakteri (oransje). Gjennomsnitt illustreres ved de heltrukne linjene for hvert av uttakene. Gjennomsnitts HSI på 12,86% for uttaket tatt 24.10.2023 og 9,47% for uttaket tatt 12.03.2024.

Under viser figur 35 leverindeksen fra prøvene på slakteriene. Figuren illustrerer også skillet mellom kjønn. Til venstre til figuren ser man resultatene fra 24.10.2023, mens til høyre viser resultatene fra 12.03.2024. Her ser man at HSI-indeksen synker, noe som er i tråd med teorien ved økt GSI. Prøvene er fra merd 7, og slaktet hos VHB (24.10.2023) og KS (12.03.2024).



Figur 35: Oversikt over leverindeks (HSI) fra merd 7 fra prøver tatt 24.10.2023 og 12.03.2024. Til venstre ser man HSI for fisken som ble slaktet fra merd 7 den 24.10.2023. Mens til høyre ser man leverindeksen for fisken som ble slaktet fra merd 7 den 12.03.2024. Resultatene er skilt mellom hunn- (blå) og hannfisk (rød).

4.2.1 Beskrivende statistikk av leverutvikling

Tabell 12 viser statistikk fra fisken som ble slaktet fra VHB den 24.10.2023. Det er fra 48 individer, fordi individene 35 og 50 er fjernet på grunn av feildata. Her vises antall fisk, gjennomsnitt, standardavvik, minimum verdi og maksimum verdi. Som tabellen viser er gjennomsnittets HSI er $12,86 \pm 1,31\%$.

Tabell 12: Statistikk fra 48 individer fra merd 7, som ble slaktet 24.10.2023. Viser antall (N), gjennomsnitt (Mean), standardavvik (St.Dev.), minimum verdi (Min) og maksimum verdi (Max). Vekt står i gram (g), HSI er oppgitt i prosent (%).

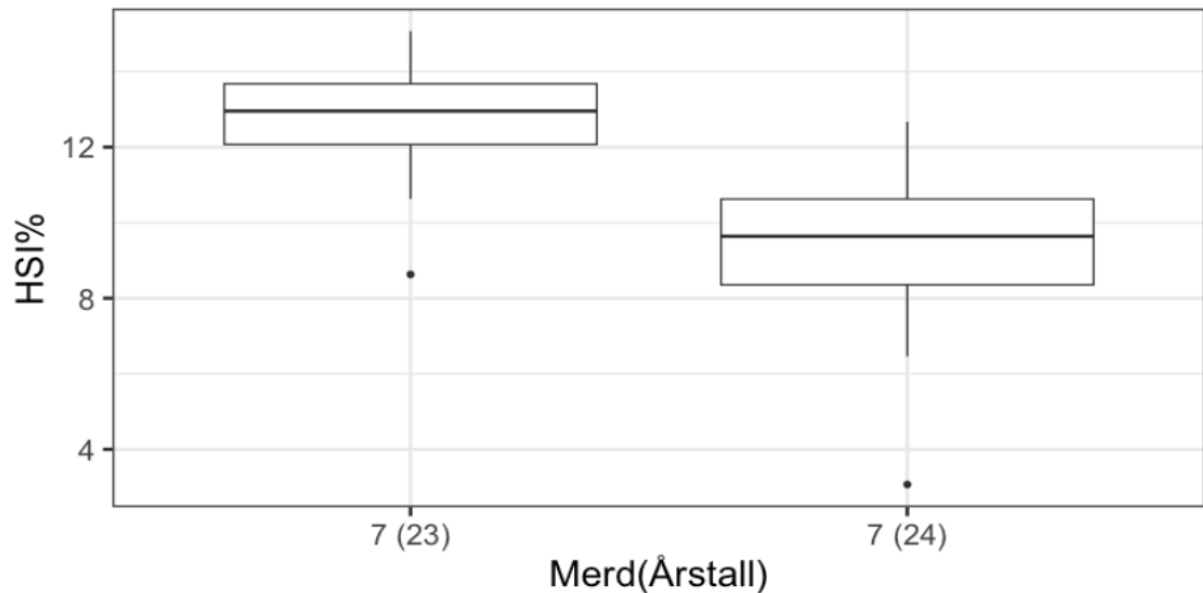
Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Vekt fisk (g)	48	3,623.88	720.86	2,154	5,484
Vekt gonader (g)	48	39.96	30.29	0	160
Vekt lever (g)	48	467.98	110.87	246	740
Vekt sløyd fisk (g)	48	2,981.46	621.32	1,828	4,610
HSI (%)	48	12.86	1.31	8.63	15.07

Nedenfor i tabell 13 vises statistikk fra fisken som ble slaktet på KS mellom 28.02.2024 og 15.03.2024. Individene som vises er 150 stykk (50 per merd) og kommer fra merd 2, 6 og 7. I tillegg vises gjennomsnitt, standardavvik, minimum verdi og maksimum verdi. Gjennomsnittets HSI er $9,67 \pm 1,86\%$.

Tabell 13: Statistikk fra 150 individer fra merd 2, 6 og 7 som ble slaktet fra 28.02.2024-15.03.2024. Viser antall (N), gjennomsnitt (Mean), standardavvik (St.Dev.), minimum verdi (Min) og maksimum verdi (Max). Vekt står i gram (g), HSI er oppgitt i prosent (%).

Statistic	N	Mean	St. Dev.	Min	Max
Vekt fisk (g)	150	3,882.53	925.74	1,305	6,725
Vekt gonader (g)	150	128.77	151.42	10	1,415
Vekt lever (g)	150	382.70	134.09	40	800
Vekt sløyd fisk (g)	150	3,220.84	748.54	1,095	5,530
HSI (%)	150	9.67	1.86	3.07	16.10

Resultatene av leverindeksen (HSI%) vises i figur 36 under. Man ser til venstre at 7 (23) har lite variasjon og tallene er nokså like. Det er en uteligger som nærmer seg 8 % HSI. Til høyre ser man 7 (24) hvor det er større variasjon i resultatene. Her er det også bare en uteligger med HSI % på under 4%.



Figur 36: Boksplott av leverindeks (HSI %) for merd 7 (23) og 7 (24). Dette boksplottet viser utstikkere/ «whiskers» som illustrerer de nedre og øvre grenseverdiene til hovedgrupperingen av dataverdiene. Dataen som ikke passer til hovedgrupperingen vises som uteliggere i form av små sirkler øverst eller nederst i boksplottet. På kvartilbredden demonstreres 1. kvartil som begynner nøyaktig på 25%, medianen på nøyaktig 50% og 3.kvartil på nøyaktig 75% av dataen. Uttakene er gjort henholdsvis 24.10.2023 og 15.03.2024 fra merd 7. Til venstre ser man 7 (23) hvor kvartilbredden er smal med korte «whiskers» og kun en uteligger. Til høyre viser 7 (24) at det er større spredning i parameterne som gjør kvartilbredden større. Det er kun en uteligger her også.

Om det det er korrelasjon mellom leverindeks og kjønn vises under. Her ser man tabell 14 som viser resultatet fra 48 individer fra merd 7 (23). Med et satt signifikansnivå på $p < 0.05$, ser man at modellen beregner at kjønn ikke har noen statistisk signifikant påvirkning på HSI.

Tabell 14: Tabellen viser om det er en statistisk signifikant korrelasjon mellom leverindeks (HSI %) og kjønn i merd 7 (23) fra 48 fisk slaktet 24.10.2023. Modellen beregner at kjønn ikke har noen statistisk signifikant påvirkning på HSI med et satt signifikansnivå på $p < 0.05$.

	<i>Dependent variable:</i>
	HSI %
Hunn kjønn	-0.104 p = 0.789 (0.384)
Observations	48
Residual Std. Error	1.327 (df = 46)
F Statistic	0.073 (df = 1; 46)
<i>Note:</i>	* p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

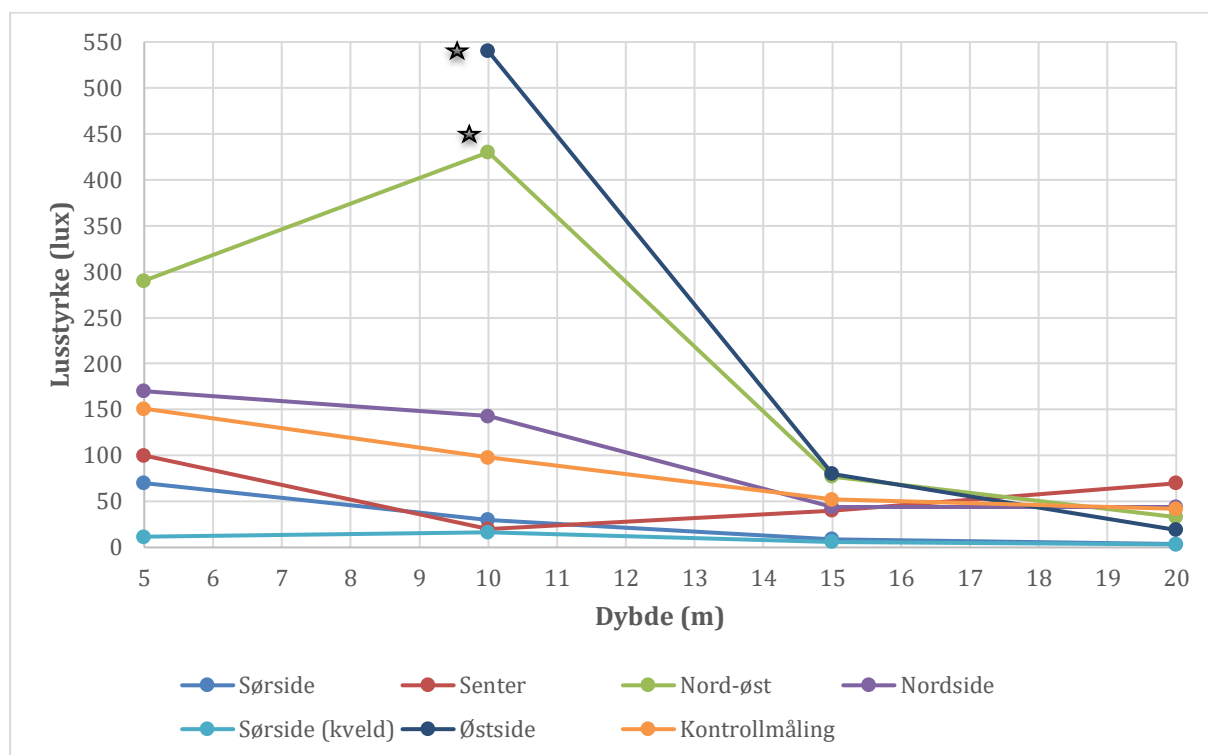
Tabell 15 under viser resultatet fra 150 individer fra merd 2, 6 og 7 (24). Med et satt signifikansnivå på $p < 0.05$, ser man at modellen beregner at kjønn ikke har noen statistisk signifikant påvirkning på HSI.

Tabell 15: Tabellen viser om det er statistisk signifikant korrelasjon mellom leverindeks (HSI%) og kjønn i merd 2, 6 og 7 (24) fra 150 individer som ble slaktet mellom 28.02.2024-15.03.2024. Modellen beregner at kjønn ikke har noen statistisk signifikant påvirkning på HSI med et satt signifikansnivå på $p < 0.05$.

	<i>Dependent variable:</i>
	HSI %
Hunn kjønn	0.083 p = 0.780 (0.296)
Observations	150
F Statistic	0.078 (df = 1; 146)
<i>Note:</i>	* p<0.05; ** p<0.01; *** p<0.001

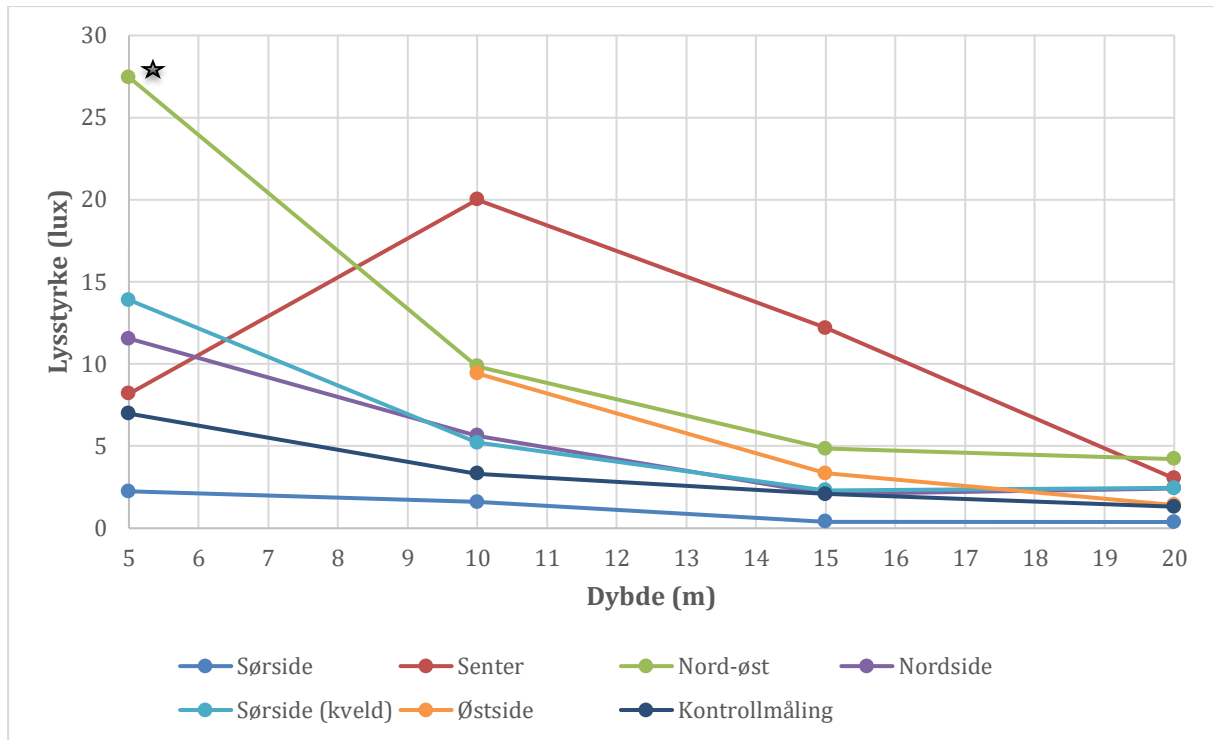
4.3 Undersøkelse av lysintensitet ved ulike dybder i merd

I figur 37 nedenfor blir et utvalg av lysmålingene fra merd 4 på lokalitet Forså tatt den 6.februar 2024 presentert. Figuren viser en tydelig trend at det er i det øverste vannlaget de høyeste lux-verdiene er. Trenden er også at det blir registrert lavere lux-verdier jo lengre ned i vannlaget målingene blir gjort. Stjernene i figuren viser punkt hvor lysmålingen ble gjort i umiddelbar nærhet av en lyskilde. For målingen «Østside» ble et punkt på fem meter fjernet, dette målte en verdi på 7540 lux. Dette ble gjort ettersom resterende resultater kom utydelig frem. Resultatene i figuren stammer fra sensoren som pekte opp mot overflaten.



Figur 37: Illustrerer lysmålingene som ble gjort oppover i vannsøylen ved lokalitet Forså den 6.februar 2024. De ulike fargene representerer hvor i merden lysmålingen ble gjennomført. Y-aksen viser lysstyrken målt i lux og x-aksen representerer dybden målingen ble gjort fra 5 til 20 meter. Stjernene indikerer en lysprøve som ble gjort i umiddelbar nærhet av en lyskilde.

I figur 38 nedenfor viser resterende av lysmålinger fra merd 4 på lokalitet Forså tatt den 6. februar 2024. Som figuren viser ble de høyeste lux-verdiene funnet i de øverste vannlagene (med noen uteliggere), tilsvarende ble det registrert lavere lux-verdier jo dypere målingene ble gjort. Stjernen i figuren viser punkt hvor lysmålingen ble gjort i umiddelbar nærhet av en lyskilde. I likhet med figur 37 ovenfor ble punktet på fem meter fjernet for målingen «Østside» og verdien her var på 45,42 lux. Resultatene i figuren stammer fra sensoren som pekte nedover i vannsøylen.



Figur 38: Illustrerer lysmålingene som ble gjort nedover i vannsøylen ved lokalitet Forså den 6.februar 2024. De ulike fargene representerer hvor i merden lysmålingen ble gjennomført. Y-aksen viser lysstyrken målt i lux og x-aksen representerer dybden målingen ble gjort fra 5 til 20 meter. Stjernen indikerer en lysprøve som ble tatt i umiddelbar nærhet av en lyskilde.

5 Diskusjon

Som nevnt innledningsvis er hovedmålet med oppgaven å øke kunnskapsgrunnlaget tilknyttet kunstig belysning for å unngå kjønnsmodning hos oppdrettstorsk. Gjennom samarbeidet med KIME Akva har det blitt gjort lysmålinger, gonade- og leverprøver i tillegg til slakteprøver. Resultatene fra dette arbeidet har gjort det mulig å få svar på problemstillingene.

Vi har ønsket å se på hvordan effekten av kunstig belysning på forsinkelse av kjønnsmodning hos oppdrettstorsk i merd er. Videre hvordan lysstyring kunne bidra til å forhindre gyting i merd og dermed redusere risikoen for genetisk innblanding i villtorskbestanden. I tillegg ønsket vi å se hvordan leveren (leverindeksen) påvirkes av økt gonadevekt (kjønnsmodning). Til slutt ville vi se om dagens lysregime var godt nok for å dekke hele merdvolumet med kunstig belysning.

Funnene som ble oppnådd i resultatkapitlet ovenfor blir diskutert og knyttet opp med kjent kunnskap i diskusjonsdelen.

5.1 Diskusjon av vekstutvikling

Som oppgaven har visst, var det stor spredning i individstørrelse innad i merdene. Dette kan medføre til et hierarki i merden hvor de største individene er dominante. Da fisken ble satt ut i merd var de minste individene rundt 20 gram, mens de største individene var godt over 100 gram. Snittvekten på uttakene varierte fra $58,6 \pm 25,9$ gram til $144,4 \pm 45,5$ gram. Ved sammenligning av yngelen fra settefiskanleggene AC og MB i tabell 4. Her kan man se at torsken fra AC har en høyere snittvekt ved utsett sammenlignet med fisken fra MB. Dette gjenspeiles også ved vekstutviklingen som vises på figur 18 og 19. Da ser man at AC sin vekst er noe høyere.

Dette forteller oss at fra fisken ble satt ut i merd var det en heterogen gruppe med store forskjeller innad som kan være med å påvirke førtilgang, ferdsel i merd og da hvor mye lys de blir eksponert for. Tallene reflekterer seg også i resultatene fra slakteriprøvene hvor man ser store forskjeller mellom individene og forholdsvis store standardavvik. Det må nevnes om det hadde blitt gjort uttak av flere individer på slaktelinjen, kan dette ha vært med på å gi et tydeligere bilde enn hva man kan gjøre med 50 individer per uttak.

Gjennomsnittsvekten for de 50 individene som ble tatt ut 24.10.2023 fra merd 7 var 3620 ± 714 gram. Ved nytt prøveuttak fra samme merd 5 måneder senere, 12.03.2024, var snittvekten omtrent det samme, 3533 ± 917 gram. Hvorfor gjennomsnittsvekten ikke hadde gått opp i denne perioden kan skyldes flere ulike faktorer. For det første er det kun tatt ut 50 individer fra slakteprøvene. For å sette det i perspektiv, er 50 av totalt 188 096 fisk bare 0,0266%. Dermed gir dette ikke nødvendigvis et fullstendig representativt bilde av vekstutvikling i merden. Videre viser standardavviket på 917 gram tydelig at det var stor variasjon blant individene og dette vil jo også ha innflytelse på resultatene.

Hvis man sammenligner med resultatene i kapittel 4.1 og figur 18 og 19, kan man se at vekstutviklingen tydelig går oppover fra oktober i 2023 til mars-april i 2024. At veksten går noe tregere rundt årsskiftet kan skyldes faktorer som blant annet kjønnsmodning og havtemperaturer. Som nevnt i teorien vil kjønnsmodningsprosessen påvirke veksten fisken fordi mindre ressurser brukes på somatisk vekst og mat, men i større grad til utvikling av gonader (Karlsen et al., 2008). KIME Akva sin lokalitet på Forså opplevde en kald vinter med lave havtemperaturer, noe som igjen kan ha påvirket appetitten til torsken. Samfunnskontakt Stefan Paulsen hos KIME Akva, har uttrykt muntlig at de kalde havtemperaturene erfaringsmessig har bidratt til perioder med mindre appetitt for fisken. Dette var noe man så tydelig i dette prosjektet og vekstutviklingen var slakk første kvartal i både 2023 og 2024 (figur 18 og 19). Prøveuttaket tatt fra oktober 2023 kom etter en sommer med sterk vekst og god appetitt, men visste også lav GSI. Mens uttaket fra mars 2024 var fra en vinterperiode med lav appetitt og noe høyere GSI nivåer. Tar man den somatiske veksten, kjønnsmodning og havtemperatur med i betraktningen, var det kanskje ikke så uventet at det ikke ble observert særlig vekst mellom uttakene i oktober 2023 og mars 2024.

Ved sammenligning av vekstutviklingen som ble observert i dette prosjektet med det tidligere omtalte LuxCod-prosjektet, ser man noen klare forskjeller. Yngelen som ble satt ut i sjø hos Ode hadde en oppgitt gjennomsnittsvekt på ca. 300 gram, uten at det var oppgitt noe standardavvik (Bjørkevoll & Dahl, 2023). I dette prosjektet ble det benyttet betraktelig mindre yngel, og hos KIME Akva var fisken mellom $58,6 \pm 25,9$ gram og $144,4 \pm 39,2$ gram. Dette utgjør en betydelig forskjell og må tas i betraktning når man ser på slaktevekten. Ved 17 måneder i sjø var snittvekten på 3900 gram for torsken til Ode, fra et uttak av 60 individer (Bjørkevoll & Dahl, 2023). KIME Akva sitt prøveuttak etter like mange måneder i sjø var på 3620 ± 714 gram (50 individer). Dette betyr at til tross for utsett av vesentlig mindre yngel, ble det oppnådd ganske lik vekst etter 17 måneder i sjø. Mangel på standardavvik for fisken

til Ode må tas hensyn til, ettersom det ikke er mulig å vite om yngelen representerte en mer eller mindre homogen biomasse.

5.2 Diskusjon rundt lever- og gonadeutvikling

I dette prosjektet ble det observert en forholdsvis stabil leverindeks mellom samtlige uttak, selv om det var en viss nedgang i leverindeksen mot slutten av produksjonsfasen. Uttaket 24.10.2023 viser at leverindeksen var på 12,85%, mens for uttaket 12.03.2024 har den blitt redusert til 9,47%. En reduksjon i levermengde og HSI assosieres ofte med en økende gonadeindeks, samt modnende gonader (Dahle et al., 2003). Det var også liten forskjell mellom hann- og hunnkjønn.

Resultatene fra dette forsøket viste altså en synkende leverindeks i de siste vintermånedene hos KIME Akva. Dette kan tyde på at fisken hadde dårlig appetitt og måtte benytte depotfettet fra leveren. Den samme nedgangen ble ikke observert i LuxCod-prosjektet hos Ode hvor leverindeksen var like over 12% ved første uttak (17 måneder i sjø), mens den var holdt stabil og ved siste uttak (21 måneder i sjø) var den i underkant av 12% (Bjørkevoll & Dahl, 2023). Dette kan tyde på at appetitten har vært bedre og at denne fisken ikke ble like påvirket av vintermånedene. I samme tidsperiode har GSI-nivåene vært svakt økende i begge prosjektene. I tråd med teorien om at en reduksjon i levermengde kobles til økende GSI (Dahle et al., 2003) viser figur 24 og 34 tydelig en sammenheng mellom GSI og HSI, gjennom resultatene til KIME Akva.

Når det kommer til utviklingen av GSI (kapittel 4.1.1 og 4.1.2). Her ser man blant annet en gjennomsnittlig GSI på 1,07% (merd 7) fra slakteriet den 24.10.2023. Og henholdsvis 3,7% (merd 2), 2,97% (merd 7) og 3,79% (merd 6) på fisken som var slaktet mellom 28.02.2024 til 15.03.2024. Videre vises bilder av hann- og hunngonader (kapittel 4.1.5). Her ser man hvor stor forskjell det kan være på gonadene hos fisken som er i samme merd. Figur 28 viser dette godt, hvor det er tatt ut to fisk av samme vekt, kjønn og merd. Det viser seg her at gonadene er på 1415 gram (GSI på 26,3%) og 80 gram (GSI på 1,51%). Dette antyder at individer i samme miljø, og med likt opphav har ulik effekt av lyssettingen. Ved å ha bedre distribusjon av lys i hele merdvolumet, kan det tenkes at man ville hatt en bedre effekt på gonadeutvikling. Dette diskuteres nærmere i kapittel 5.3.

LuxCod-prosjektet dokumenterte at lysstyringen hadde effekt på individene i forsøket. Av 600 analyserte fisk, ble det bare registrert to individer som ble klassifisert som gytende, en av

hvert kjønn. Snitt-GSI for uttaket etter 21 måneder i sjø var i overkant av 3% for hunntorsk (Bjørkevoll & Dahl, 2023). Videre viste Korsøen et al. (2013) sitt forsøk fra nedsenkede merder, at fisk uten kunstig belysning gikk tidligere i kjønnsmodning. Her var det 11% høyere GSI-nivåer på fisken som ble utsatt for naturlig lys, sammenlignet med fisken som ble utsatt for kunstig belysning. Gjennomsnittlig GSI for hunntorsk uten kunstig belysning var på 21,2%, mens for hunntorsk med kunstig belysning var den på 10,2% på samme tidspunkt (Korsøen et al., 2013). Til sammenligning var GSI-nivåene hos KIME Akva ved de tre siste uttakene på $3,31 \pm 3,12\%$ for hunn- og hanntorsk. Dette må derimot sees i kombinasjon med den makroskopiske vurderingen som ble gjort. Her ble 100 av 150 individer vurdert. Av disse ble 19 klassifisert som utgytt og disse hadde en lav GSI (jmfør tabell 11). For å kunne si noe om effekten av lysstyringen, er det prekært å ta hensyn til den makroskopiske vurderingen opp mot GSI-nivåene. Det gir derfor ikke et komplett bilde på om lysstyringen har fungert ved å kun nevne GSI-nivåene.

En annen viktig faktor som er viktig å diskutere, er om det er korrelasjon mellom et lavt GSI-snitt og tidlig stadium av kjønnsmodning. Det kan tenkes at et lavt GSI-snitt betyr at fisken er i stadium 1 eller 2 av kjønnsmodningsstadiet. Spesielt under første vinter er det mulig å danne seg dette bildet. Ser man derimot på resultatene presentert i tabell 11, ser man at det ikke nødvendigvis er slik. Her ser man flere eksempler på fisk som er i stadium 4 (utgytt/hvilende), men med lav GSI. Det er dermed viktig at man har en makroskopisk vurdering av fisken og vurderer denne sammen med GSI-nivåene, for å kunne si noe om korrelasjon mellom GSI og hvor i kjønnsmodningsstadiet fisken er. Det er også viktig å ta med i betraktningen at det kreves god kunnskap for å kunne foreta den makroskopiske vurderingen på en god måte. Ved siste slaktedatoer ble det observert en rask økning i individer som ble makroskopisk vurdert til «Utgytt/hvilende». Dette overrasket både oppdretter og direktoratet. Det ble derfor sendt inn prøver til nøyere undersøkelse for å se om dette stemmer eller om gonadene var i et tilbaketrekkende stadiet. Resultatene fra denne analysen var dessverre ikke kommet før ferdigstilling av masteroppgaven.

5.3 Drøfting av effekten av lys

Lysene som benyttes fra BioMarine og Phillips har et grønt lysspekter med en bølgelengde på mellom 490- og 570nm (Utne-Palm et al., 2018). Tidligere forsøk på torskelarver med hensyn på dødelighet og vekst viste bedre vekst ved bruk av lys med som inkluderte også kortere bølgelengder i området 450-570nm, som representerer både blått og grønt lys (Sierra-Flores et al., 2016). Det hadde vært interessant og sett om det hadde vært noen signifikant forskjell om det hadde blitt brukt lys med et annet fargespekter/bølgelengde på samme lokalitet.

BioMarine opplyste at lysene deres har et fargespekter tilpasset laks, og det kan tenkes at kjønnsmodning, vekst og overlevelse hos torsk ville respondert annerledes ved bruk av lys som er optimalisert torskens behov.

Aqualux lysene som blir benyttet i nederste del av merden er velprøvde lys som har god gjennomtrengning i vann og LED teknologien bidrar til lavt energiforbruk. Fargespekteret som benyttes er som nevnt tilpasset laks, og det kan derfor tenkes at videre utvikling og forskning kan bekrefte om et annet fargespekter for torsk fungerer mer optimalt for torsk.

En annen faktor som krever videre utvikling er spredningen av lys i merdvolumet for å kunne bidra til optimal lyssetting for oppdrettstorsk med tanke på å hindre kjønnsmodning, på samme tid som å sikre optimal vekst og velferd. Lysmålingene som ble gjort og presentert i kapittel 4.3, viser at det er stor variasjon i lux nivåene rundt om i merden. Disse resultatene bekrefter at det vil være viktig å utvikle nye strategier for å sikre best mulig lysspredning i hver merd.

Lysstyring gjort i kar uten naturlig belysning er lettere ettersom man til enhver tid har full kontroll på all belysning og fisken lever i et miljø uten påvirkning av ikke-kontrollerbare faktorer fra miljøet rundt. Dette har vist seg å være svært effektivt på kontrollering av kjønnsmodning, blant annet i avlsarbeidet (Nofima, 2024). Et alternativ for torskeoppdrett da vil kunne være å benytte lukket merdteknologi. På denne måten vil man kunne oppnå flere fordeler. Man vil minske faren for rømming betraktelig, både i form av individer og egg som kan fraktes med vannstrømmene (Henriksen et al., 2018). I tillegg vil man kunne oppnå en større kontroll på lysstyringen og forhåpentligvis dermed forsinke kjønnsmodningen til produksjonsfasen er over.

Et annet viktig aspekt som er viktig å ta med i betraktingen er størrelsen på merden. Fra tabell 1 ser man at forskjellen i volm på en merd med omkrets på 120 meter og en merd med

omkrets på 160 meter er på hele 28 100 m³. Dette er mer enn dobbelt så stort volum, noe som også vil gjenspeiles i lysdekningen hver lampe gir. I prosjektet til LuxCod, ble det benyttet 120 meters merder (Bjørkevoll & Dahl, 2023), mens KIME Akva har brukt 160 meters merder. I tillegg ble det brukt 28,4 kW (3 merder) og 24,3 kW (2 merder) i LuxCod prosjektet sammenlignet mot KIME Akva sine 16,56 kW per merd. Resultatene KIME Akva har fått med ca. 8-10 kW mindre effekt av lys, med dobbelt så stort volum å dekke, er med andre ord lovende med tanke på å finne optimal lysmengde i merd. Ettersom man ser at det er mulig å forsinke kjønnsmodning med mindre belysning i større merdvolum. En alternativ tilnærming for KIME Akva som kan diskuteres i videre produksjon, er å minske merdvolum til f.eks. 120 meter, samtidig som de øker lysintensiteten.

5.4 Diskusjon av variabiliteten i vekt og gonadeutviklingen

Resultatene fra dette forsøket viser betydelige variasjoner i vekt og GSI blant oppdrettstorsk, som dokumentert i tabellene 7 og 8. Spredningen som er illustrert gjennom størrelsen på standardavvikene og svært store forskjeller mellom minimums- og maksimumsverdier. For eksempel var gjennomsnittsvekten for de 48 individene fra uttaket 24.10.2023 på 3624 ± 721 gram. Tilsvarende ble observert for gjennomsnittet på GSI som var $1,11 \pm 0,83\%$. Minimumsverdien for individene var 2154 gram og maksimumsverdien var 5484 gram, noe som gir en forskjell på 3330 gram mellom det minste og største individet i uttaket. For uttakene gjort fra 28.02.2024-15.03.2024 viste en liknende trend med store variasjoner i vekt og GSI. Verdien fra 150 individer viste at gjennomsnittsvekten var 3883 ± 926 gram. Det største individet i uttaket veide 6725 gram og det minste hadde en vekt på 1305 gram. Altså en differanse på 5420 gram. De store variasjonene gjenspeiler seg også i GSI hvor snittet er på $3,31 \pm 3,12\%$. Disse resultatene illustrerer også utfordringene med å oppnå en homogen biomasse i kommersiell skala.

Denne store variasjonen, spesielt for GSI, betyr også at det er vanskelig å finne signifikante forskjeller fra disse dataene- og dermed også å trekke signifikante konklusjoner. Dette forsterkes ytterligere av at man er nødt til å begrense antall individer som tas ut i et slikt prosjekt og dette begrenser muligheten for å generalisere funnene. Ved første uttak ble det tatt ut 50 individer, hvor 48 ga gyldige data. Resultatene fra uttakene gjort 28.02-15.03.2024 viste at hunntorsk hadde 0,48% lavere GSI enn hanntorsk, mens 24.10.2023 ga 0,08% lavere GSI for hunntorsk. Forskjellene var ikke statistisk signifikante. Heller ikke for uttakene gjort i 2024 hvor antallet ble økt til 150 individer ble det observert noen signifikante forskjeller.

Selv om det kan tenkes at en økning i utvalget av fisk kunne gi et klarere bilde på om det egentlig er en korrelasjon mellom kjønn og GSI, stemmer disse observasjonene med funn fra lignende prosjekter slik som LuxCod-prosjektet. Også der ble det observert store variasjoner i GSI og vekt. Rundvekten varierte fra rundt 2500 gram til rundt 7300 gram (Bjørkevoll & Dahl, 2023). Dette tyder på utfordringer innen torskoppdrettsnæringen ved å oppnå en homogen biomasse. Å få kontroll på denne variasjonen vil sannsynligvis ha betydelig effekt for både produksjonsstabilitet og økonomisk lønnsomhet.

5.5 Påvirkningen på villtorsk

Gjennom å ha god kontroll på kjønnsmodningen i merd vil man kunne skåne de ville bestandene for mulig genetisk påvirkning. I teorien ble det beskrevet at i oppstarten av torskoppdrett var det store problemer tilknyttet blant annet rømming, tidlig kjønnsmodning og gyting i merd (Havforskningsinstituttet, 2021). Gjennom avl, bedre utstyr og bedre kompetanse blant torskoppdretterne er rømmingsproblemene blitt redusert (Henriksen et al., 2018). Lysstyring for å forsinke kjønnsmodning er et viktig hjelpemiddel for å hindre at egg fra oppdrettstorsk skal komme på avveie. Som resultatene til KIME Akva og LuxCod prosjektet viser, er det mulig å oppdrette torsk til slaktevekt med forholdsvis lav grad av kjønnsmodning. Effekten av god lysstyring vil gi lave GSI-nivåer og føre til at gonadene ikke utvikles til stadiene hvor de gyter i merd før de er slakteklare. På denne måten vil man redusere risikoen for genetisk påvirkning på villtorsk. Det trengs derimot videre utvikling for å finne den optimale lysmengden til å dekke merdvolumet.

5.6 Påvirkning av geografisk område

Det er allment kjent at geografisk plassering påvirker temperatur, sjøtemperatur og klima generelt. Lokaliteten Forså i Ibestad kommune ligger 68° nord. Det er mørketid fra 3. desember til 9. januar, og midnattssol fra 22. mai til 22. juli. Ettersom torsken oppfatter de varierende daglengdene og dette er et stimuli som påvirker igangsettelsen av kjønnsmodningen (Kjørsvik et al., 2024). Kan det dermed tenkes at den geografiske posisjonen kan ha en påvirkning på kjønnsmodningen til oppdrettstorsken. Lokaliteten ligger i et område med mye naturlig lys i sommerhalvåret og tilnærmet ingen naturlig lys på vinterhalvåret. Lokalitetens geografiske lokasjon påvirker den naturlige lyspåvirkningen i merdene. Det vil være store forskjeller i lyspåvirkning avhengig av hvor i Norge man driver med produksjon av oppdrettstorsk. Resultatene må derfor sees i tråd med den geografiske plasseringen til lokaliteten prøvene er tatt fra.

Sammenlignet med Ode sitt LuxCod-prosjekt, kan man se at deres prosjekt var lokalisert ved Svartekari på Vestlandet, 61° nord (Bjørkevoll & Dahl, 2023). Den geografiske plasseringen er dermed noe som må tas hensyn til når man sammenligner vekst og kjønnsmodning.

Parametere som daglengde og sjøtemperaturer kan være med å påvirke resultatene i prosjektene. Det kunne vært interessant å sett på forskjellen på to ulike geografiske plasseringer. Hvor alle andre parametere er like, i form av blant annet fisken som settes ut, lysstyringen, fôr og merdstørrelse. På denne måten kunne man funnet ut om det bestemte lysregimet er overførbart til andre geografiske lokasjoner. Slike forsøk kan være viktige for å finne ut av hvilken lysmengde som er optimal i merdvolumet for å forsinke kjønnsmodning.

5.7 Alternativ overvåking av kjønnsmodning

Som beskrevet i kapittel 2.5 om utviklingen av kjønnsmodningen til oppdrettstorsk er det noen hormoner som er viktige for kjønnsmodningsprosessen. Disse er som nevnt 11-keto testosteron (11-KT) for hannfisk. Vanlig testosteron finnes i både hann og hunnfisk, men 11-KT finnes derimot hovedsakelig i hannfisk. For hunnfisk er østradiol-17 β det vanligste kjønns hormonet (Kjørsvik et al., 2024). I tillegg har utviklingen av melatonin en påvirkning på når kjønns hormonene skilles ut. Det hadde derfor vært interessant og gjort et forsøk der man fulgte utviklingen av disse hormonene gjennom året og sammenlignet hormonnivåene mot GSI-nivåene.

Et alternativ for å kunne gjøre dette er ved å følge kjønnsmodningen hos fisken gjennom blodprøver. En fordel ved å følge utviklingen av kjønnsmodningen ved hjelp av blodprøver, er at man kan ta prøver uten å måtte ta livet av fisken. Fisken kan bli testet og sluppet ut i merden for å vokse videre. I motsetning til en vanlig GSI-prøve på slakteriet eller merdkanten hvor man må ta livet av torsken og kun får en prøve. Til tross for at blodprøver er mindre inngripende enn å ta livet av fisken, er det viktig å påpeke at blodprøver fortsatt utgjør en risiko for fisken som eksamineres (Næve et al., 2018). I tillegg vil det medføre til økt stress hos fisken (Eriksen et al., 2015), og gjentatte prøver på samme fisk vil være svært vanskelig i en merd med 200 000 individer. Det er blant annet gjort lignende forsøk på laks tidligere. Her så man for eksempel at hann-laksen hadde høyest konsentrasjon av testosteron og 11-KT, rett før siste modningsfase. I studiet til Næve et al. (2018) ble det også observert en økning av 11-KT nivåer i slutten av kjønnsmodningsstadiet hos hannkjønn. Det var også mulig å observere lik utvikling hos andre fiskearter slik som kveite (Kjørsvik et al., 2024). På bakgrunn av disse forsøkene kan det tenkes at dette også kan overføres til torsk oppdrett. Da kan man følge

utviklingen av 11-KT hos hannkjønn og østradiol-17 β hos hunnkjønn ved hjelp av blodprøver. Ved høy konsentrasjon av de overnevnte hormonene, vil det være mulig å gjøre tiltak og samtidig skape bedre kontroll over gyteperioden til torsken.

Andre muligheter for å overvåke utviklingen av kjønnsmodning er ved bruk av ultralyd. Dette er en metode som ikke er inngripende for fisken, samtidig som den ikke utsettes for stress (Karlsen & Holm, 1994; Næve et al., 2018). Ved ultralyd bruker man ekko fra høy-frekvens lydbølger for å visualisere interne organer (Næve et al., 2018).

5.8 Svakheter ved studien

5.8.1 Utfordringer knyttet til gjennomføring av lysmålingene

Det er en rekke feilkilder tilknyttet prøvetakingen av lys i merd. Som beskrevet i kapittel 3.6 er sensorene kun rettet oppover og nedover. Dette gjør at den kun registrerer lys som treffer flaten som peker i disse retningene. For å kunne si mer optimalt om den opplevde belysningen i merd burde det vært brukt en lyssensor som hadde en overflate på 360°. På denne måten hadde man kunne registrert alt opplevd lys, slik som en torsk gjør. I tillegg er det mye skyggeeffekter i merdbildet. Når lyssensoren ble senket ned tiltrakk den seg nysgjerrige individer som er med på å lage skygge for sensorene, som kan ha påvirket det registrerte lux nivået negativt. Skygger fra lettbåten som ble benyttet kan ha påvirket resultatet på samme måte. Det kunne blitt tatt prøver i en merd uten fisk med samme mengde lys som referanse, men dette lot seg dessverre ikke gjøre.

Målingene gjort ved dagslys ble gjort før fôring. Når det hadde blitt mørkt hadde fisken blitt fôret, dette kan ha påvirket bevegelsesmønsteret til torsken. Noe som igjen kan påvirke skyggene torsken påfører måleinstrumentet. Her kunne det vært aktuelt med en referanse i merd med lys uten fisk. Slik får man sammenlignet forskjellene før og etter fôring og før og etter mørkets frembrudd.

En annen feilkilde tilknyttet lysprøvene er at prøvene på kveldstid ble ikke tatt av samme personell som prøvene på dagtid. Dette kan ha medført at prøvene ble gjennomført på ulik måte, som igjen kan ha påvirkning på resultatene presentert i kapittel 4.1. I tillegg til at det kun ble gjennomført lysprøver på ett av punktene på kveldstid. Optimalt burde de samme punktene blitt tatt prøver på før og etter mørket for å sikre best mulig sammenligningsgrunnlag.

5.8.2 Prøvetaking på lokaliteten

Gjennom produksjonsperioden ble det tatt prøver for å følge gonadeutviklingen på lokaliteten. Prøvene som tas av levende torsk skjer gjennom et kast som settes ut i merd i forsøk av å få tak i fisk som beskrevet i kapittel 3.3. Når dette gjøres er det vanskelig å være sikker på at det er et representativt utvalg fra merden som fanges og tas prøver av. Dette på grunn av at kastet kun når de øverste vannlagene og noen individer kan svømme ut av kastet om det ikke tas opp raskt nok. Det er derfor vanskelig å si noe om det er individer som gjenspeiler resten av merden.

Hvis det er vanskelig å få tak i fisk i notkastet blir det håndfôret for å tiltrekke seg fisk. På denne måten vil man kunne få et utvalg av individer som jakter fôret mest og de mest dominante individene. Dette vil igjen ikke være representativt for hele merden ettersom man da vil få et skjevt utvalg det tas prøver av. Det er vanskelig å gjøre fysiske tiltak for å sikre et representativt utvalg fra hver merd. Ettersom fisken må avlives for å få gjennomført gonadekontrollene er det vanskelig å finne andre fysiske måter å gjøre uttak av fisk på som sikrer representativt utvalg.

5.8.3 Prøvetakning slakteri og makroskopisk vurdering

I forbindelse med sortering og prøveslakt i oktober 2023 ble Vesterålen Havbruk sitt slakteri i Bø benyttet. Når utslakt startet i slutten av februar 2024 ble slakteriet Kråkøy i Roan disponert. Ettersom det ble anvendt to forskjellige slakterier, kan sjansen for potensielle feilkilder øke. For det første var det to ulike prøvetakere av fisken på slakteriene. Dette gir rom for ulike tolkninger av hvordan prøvetakingen gjennomføres. Andre faktorer som kan spille inn på resultatene er upresise eller mangel av kalibrerte måleinstrumenter. Rutinene på slakteriene kan være ulik med tanke på vedlikehold av utstyr. Små avvik kan påvirke sluttresultatene i noen grad. For å forhindre eller minimere feilkilder på slakteriet er det viktig at man har gode prøvetakingsprosedyrer. Slik sikrer man konsistente og pålitelige resultater.

Også svakheter og feilkilder knyttet til de makroskopiske vurderingene av gonadene burde adresseres. Det var kun en person som utførte de makroskopiske vurderingene. Dette kan det føre til potensielle feilkilder som kan påvirke påliteligheten og nøyaktigheten til resultatene man får. For det første er vurderingen av fisken subjektiv. Noe som betyr at observatøren av fisken kan tolke og vurdere fisken ulikt enn andre. En annen feilkilde kan være at personen som vurderte fisken kan være påvirket av egne personlige forutsetninger eller tidligere erfaringer, som kan gi skjevhet i vurderingen.

På den andre siden kan det være en fordel at det kun var en person som sto for de makroskopiske vurderingene av fisken. Dette kan også gi en form for kontinuitet i vurderingen. Videre kan personen ha en spesialisert kunnskap og ekspertise innen makroskopiske vurderinger av gonader, som kan gi nøyaktighet og kvalitet til vurderingene. Det er også mer effektivt og smidig med tanke på at man ikke trenger samordning og konsensus mellom flere personer. I tillegg følger observatøren noen retningslinjer fra protokollen som Havforskningsinstituttet kommer med (Alix & Norberg, 2024). Disse sier

som nevnt i kapittel 2.9.2 hva man skal se etter og hvilken GSI gonadene burde ha i de ulike stadiene. Noe som vil minske sjansen for feilvurderinger av observatøren.

5.8.4 Mangel på kontrollmerd

En viktig svakhet ved dette prosjektet var at det ikke var gjennomførbart å ha med en kontrollmerd i forsøket. En kontrollmerd ville ha fungert som en referanse eller sammenligningsgruppe for å isolere effekten av lyssettingen. Eksempler på kontrollmerder i dette forsøket kunne vært en eller flere merder uten noen form for kunstig lyssetting. Mangelen av en slik kontroll gjør at eventuelle konklusjoner eller tolkninger som gjøres kan bli svekket. Det kan også være med på å svekke gyldigheten og tillitten til resultatene som ble oppnådd under forsøket. Eller det kan rett og slett være umulig å trekke en gyldig konklusjon.

Kvaliteten til dette forsøket ville definitivt vært mye bedre dersom det hadde vært mulig å inkludere kontrollmerder uten lyssetting. Dette ville forbedret sammenligningsgrunnlaget og gjort det mulig å gjøre en mer nøyaktig vurdering av effekten av lys på de observerte variablene. Et alternativ til å benytte kontrollmerder uten lys, kunne vært å variere mengden lys i merdene. Dette ville gjort det mulig å undersøke om det ble observert signifikante forskjeller mellom merder med ulik lysmengde. Til slutt sitter oppdretteren igjen med informasjon for hva som er den optimale lysmengden for å forhindre tidlig kjønnsmodning hos torsken.

Selv om man ikke har en merd uten lyssetting for å kontrollere hvordan lyset påvirker kjønnsmodningen, er det fortsatt mulig å styrke påliteligheten til resultatene. Et eksempel på dette er ved bruk av historiske data fra tidligere studier. Som tidligere nevnt ble det i forsøket til Korsøen et.al (2013) brukt to kontrollmerder uten lys. Disse gikk som kjent i kjønnsmodning 3 til 6 måneder tidligere sammenlignet mot merdene med lys. I tillegg oppnådde kontrollmerdene uten lys, en GSI som var 11% høyere (21,2% mot merdene med lys på 10,2%) enn merdene med lys (Korsøen et al., 2013).

Det er heller ingen revolusjonerende nyhet innenfor torskeoppdrett, at produksjon av torsk uten lyssetting er ugunstig. Etter gjentatte forsøk med svake resultater, økonomiske tap og høy forekomst av tidlig kjønnsmodning, har de fleste selskapene unngått å sette ut ny fisk uten kunstig lyssetting. Dermed kan det også tenkes at å sette ut fisk som man vet vil gå i kjønnsmodning før den er slakteklar, vil være ubeleilig. Både økonomisk for oppdretteren, men også velferdsmessig for fisken. I forsøket «LuxCod» ble det heller ikke benyttet

kontrollmerder. Likevel viste resultatene og dokumentasjonen fra forsøket at ved tilstrekkelig lysstyring, er det mulig å oppnå slakteklar fisk med lav grad av kjønnsmodning (Bjørkevoll & Dahl, 2023).

6 Veien videre

Det gjenstår enda videre forskning for å få til optimal belysning i torskeoppdrett.

Lysmålingene som ble gjort i masteroppgaven beviste at spredningen av lyset ikke er tilstrekkelig nok i deler av merdvolumet. Her kan det være nyttig å sette ut lys i en merd uten fisk for å finne ut hvordan man skal plassere lys for å få dekket lysbehovet i merden. Det vil også være nyttig å ta målinger etter fisk er satt ut for å se hvordan skyggeeffektene påvirker målingene. Slik som beskrevet i kapittel 5.8.1, ble det foreslått å benytte et lysmåleinstrument som tar opp lys med en radius på 360° . Dette anbefales for å få en mer korrekt måling.

Resultatene presentert i kapittel 4 viser at store deler av individene har hatt god effekt av lysstyringen i merd. Derimot er det rom for forbedring. Det ble gjort forsøk på lokalitet ved å sette ut teiner i merd for å fange fisk til prøvetakning. Flere slike metoder for å prøve å få et representativt utvalg er vesentlig for å ha god kontroll på kjønnsmodningen i produksjonsfasen. Utviklingen av nye prøvetakningsmetoder for å se på utviklingen av gonadene vil kunne bidra til at man slipper å ta livet av en vesentlig mengde fisk i løpet av produksjonssyklusen. Ved for eksempel å benytte blodprøver for å se på hormonutviklingen, eller ultralyd vil man kunne se gonadeutviklingen til individene uten at de må bli kuttet åpen. Et annet tiltak vil kunne være å bidra til utvikling av kunstig intelligens som ser på atferden til torsk i merd kan også være med på å hjelpe oppdretter med god kontroll på kjønnsmodningen i anlegget. Ved å finne atferdsmessige endringer hos torsken når den initierer kjønnsmodning kan man med hjelp av kunstig intelligens i fôringskameraet analysere en større mengde fisk uten å måtte ta fysiske uttak i merden.

Et annet tiltak som kan være relevant i veien videre for beste praksis rundt kjønnsmodning av oppdrettstorsk er flere sorteringer. Ved å sortere får man bedre kontroll på at det er like individer i merden slik at man slipper så stor variasjon i størrelse på fisken. Basert på observasjoner som er gjort underveis i masteroppgaven og hva oppdretterne forteller er de største fiskene dominante i merdbildet. Det er derfor rimelig å anta at de minste individene hverken får tilgang på nok fôr eller er i nærhet av lyskildene. Disse individene vil derfor bidra til et merdbilde som ikke nødvendigvis er korrekt i form av for høy GSI og lav vekt. Et eksempel er fra slakt på merd 7 (24) hvor snittvekt på 50 individer var 3532,25 gram og snitt GSI på 2,97%. En hannfisk hadde en rund vekt på 1305 gram med GSI på 5,36%. Til sammenligning var det største individet i uttaket på 5690 gram med en GSI på 2,9%. Med bakgrunn i dette kan det være gunstig for oppdretter å sortere ut de største individene mer

regelmessig enn i for eksempel lakseoppdrett. Dette for å sikre en mer homogen gruppe som har mer like levevilkår i merden.

En annen ting som kunne blitt testet ut er å sette ut kun hunnfisk. I kapittelet om reproduksjon i boken «Fiskefysiologi» fra 2024, blir det presentert at hunnfisk ofte vokser bedre og går inn i kjønnsmodning senere. Dette er noe som er attraktivt fra et oppdretter perspektiv og som videre forskning kan bidra til å få resultater fra (Kjørsvik et al., 2024).

Ny teknologi i form av produksjonsmetoder som nedsenkbar drift og lukket merdteknologi vil være relevant for torskeoppdrettsnæringen og videre forsøk med tanke på kjønnsmodning. I forsøket som ble gjort av Korsøen et al (2013) med nedsenkbare merder viste vesentlig effekt i motsetning til ingen belysning. Forsøket ble publisert i 2013, det er derfor rimelig å anta at med nyere forskning og teknologi at praksisen kan gjøres enda bedre (Korsøen et al., 2013). Å samarbeide med utstyrsprodusenter for å finne løsninger på belysning og fôring som er tilpasset oppdrettstorsk vil være vesentlig for å sikre beste praksis. Lukket merdteknologi som diskutert i kapittel fem kan være positivt med tanke på kontroll på kjønnsmodning og eventuell rømming. Det vil derimot kunne være kostbart for oppdretterne, reguleringer og insentiver fra staten vil kunne bidra for økt investeringsvillighet fra torskeoppdrettere til ny produksjonsteknologi.

Avlsarbeid er et annet område som vil bidra til en bedre praksis i fremtiden. På uttaket gjort 24.10.2023 var gjennomsnittsvekten 3620,44 gram, etter 17 måneder i sjø. Ved å ha en mer homogen gruppe og med økt vekst gjennom avl vil produksjonstiden kunne kortes ned ytterligere. I tillegg til avl på de individene som ikke utvikler gonader og eventuelt forsøk med triploid/steril torsk kan dette bidra til å sikre oppdretterne mot kjønnsmodning i merd.

7 Konklusjon

Gjennom resultatene og diskusjonen kan man se at effekten av lysstyring har vært god på majoriteten av individene i uttakene. Dette viser at det er mulig å oppdrette torsk til slaktevekt med lav grad av kjønnsmodning. Kunstig belysning på forsinkelse av kjønnsmodning hos oppdrettstorsk har en effekt.

Ved å oppnå forsinkelse av kjønnsmodning hos oppdrettstorsk vil det være mulig å forhindre gyting i merd og dermed redusere risikoen for genetisk innblanding på villtorsk.

Dagens lysregime har god effekt på deler av populasjonen, men er per dags dato ikke optimalt med tanke på dekning i hele merdvolumet og ønsket effekt på hele populasjonen.

Det kommer klart frem fra resultatene til KIME Akva at det er en synkende leverindeks i sammenheng med økende gonadevekt.

Blant bransjen og forskningen beskrives lysstyring for å unngå kjønnsmodning som essensielt for å lykkes med torskeoppdrett. Resultatene viser at det er mulig å oppdrette torsk over to vintre med begrenset kjønnsmodning i merd. Gjennom god lysstyring vil man kunne få lav til ingen påvirkning på ville bestander, bedre fiskevelferd og høyere lønnsomhet. Det trengs derimot enda mer forskning for å finne optimal praksis rundt lysstyring av oppdrettstorsk. Denne studien viser at det er håp i LYS.

8 Referanseliste

- Akvakulturdriftsforskriften. (2008). *Forskrift om drift av akvakulturanlegg (akvakulturdriftsforskriften)* Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2008-06-17-822>
- Akvakulturloven. (2005). *Lov om akvakultur (akvakulturloven)* (§10). Lovdata. <https://lovdata.no/dokument/NL/lov/2005-06-17-79>
- Akvaplan-niva. (2022). *FORCOD (2022-2026)*. Akvaplan niva. Hentet 29.04 fra <https://akvaplan-niva.no/en/project/forcod>
- Alix, M. & Norberg, B. (2024). Protokoll for prøvetaking av modningsgrad hos oppdrettstorsk. *Rapport fra havforskningen*.
- Altintzoglou, T. & Heide, M. (2016). Fish quality and consumers: how do consumers' knowledge about and involvement in fish quality define factors that influence fish buying behavior? *Journal of Aquatic Food Product Technology*, 25(6), 885-894.
- Andersen, L. B., Grøsvik, B. E., Karlsen, Ø., Kvamme, B. O., Hansen, P. K., Husa, V., Sandlund, N., Stien, L. H. & Solberg, M. F. (2023). Risikoreport norsk fiskeoppdrett 2023—Produksjonsdødelighet hos oppdrettsfisk og miljøeffekter av norsk fiskeoppdrett. *Rapport fra havforskningen*.
- Andersen, Ø. (1992). Reproduksjon. I *Fiskens Fysiologi*. John Grieg Forlag.
- Árnason, T. & Björnsson, B. (2012). Spawning-related mortality in captive Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Aquaculture research*, 43(2), 292-296.
- Arntzen, J. & Nedrejord, R. (2023, 11/12/2023). *17 selskaper vil ha torsketillatelse - ett selskap dominerer listen*. <https://www.intrafish.no/okonomi/17-selskaper-vil-ha-torsketillatelse-ett-selskap-dominerer-listen/2-1-1568340>
- Aronsen, T., Karlsson, S. O., Ugedal, O., Diserud, O. H., Ulvan, E. M., Saksgård, L. & Næsje, T. F. (2017). Undersøkelser av genetisk innkrysning av rømt oppdrettslaks i villaksbestanden i Altaelva.
- Bekkevold, D., Hansen, M. M. & Nielsen, E. E. (2006). Genetic impact of gadoid culture on wild fish populations: predictions, lessons from salmonids, and possibilities for minimizing adverse effects. *ICES Journal of Marine Science*, 63(2), 198-208.
- Bergheim, A. (u.å-a). *Effektiv lyssetting i torskemerder*. Biomarine. Hentet 11.03 fra <https://www.biomarine.no/effektiv-lyssetting-i-torskemerder/>

- Bergheim, A. (u.å-b). Lysbehov hos laks og belysning av laksemerder. Hentet 14.03.2024 fra <https://www.biomarine.no/lysbehov-hos-laks-og-belysning-av-laksemerder/>
- Bjørkevoll, I. & Dahl, T. H. (2023). *Lysstyrt kjønnsmodning hos oppdrettstorsk*. Møreforskning. Møreforskning.
- Bjørn, P., Glover, K., Grefsrud, E., Espeland, S., Karlsbakk, E., Karlsen, Ø. & van der Meeren, T. (2021). Kunnskapsgrunnlag for mulig påvirkning fra oppdrettstorsk og levendelagret torsk på villtorsk. Rapport fra havforskningen, 2021-21. I.
- Croissant, Y. & Millo, G. (2008). Panel Data Econometrics in R: The plm Package. *Journal of Statistical Software*, 27(2), 1 - 43. <https://doi.org/10.18637/jss.v027.i02>
- Dahle, G., Quintela, M., Johansen, T., Westgaard, J.-I., Besnier, F., Aglen, A., Jørstad, K. E. & Glover, K. A. (2018). Analysis of coastal cod (*Gadus morhua* L.) sampled on spawning sites reveals a genetic gradient throughout Norway's coastline. *BMC genetics*, 19(1), 1-17.
- Dahle, R., Taranger, G. L., Karlsen, Ø., Kjesbu, O. S. & Norberg, B. (2003). Gonadal development and associated changes in liver size and sexual steroids during the reproductive cycle of captive male and female Atlantic cod (*Gadus morhua* L.). *Comparative Biochemistry and Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology*, 136(3), 641-653.
- Enoksen, K. H. (2018). Å temme torsken—fremveksten av norsk torskeoppdrettsnæring. En beretning om kollektivt entreprenørskap.
- Eriksen, M. S., Poppe, T. T., McCormick, M., Damsgård, B., Salte, R., Braastad, B. O. & Bakken, M. (2015). Simulated maternal pre-spawning stress affects offspring's attributes in farmed Atlantic salmon *Salmo salar* (Linnaeus, 1758). *Aquaculture research*, 46(6), 1480-1489.
- Ervik, A., Kiessling, A., Skilbrei, O. & van der Meeren, T. (2003). Havbruksrapport 2003. Fisheries, M. o. (2023). Protokoll for den 53. sesjon i Den blandede norsk-russiske fiskerikommisjon. I. the Ministry of Fisheries (Norway) Oslo. <https://www.jointfish.com/content/download/512/6950/file/53-norsk.pdf>
- Fiskeridirektoratet. (2023). *Akvakulturregisteret*. <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Registre-og-skjema/akvakulturregisteret>
- Fiskeridirektoratet. (2024a). *Biomassestatistikk for torsk*. Hentet 17.04.2024 fra <https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Biomassestatistikk/biomassestatistikk-for-torsk>

Fiskeridirektoratet. (2024b). *Rømmingsstatistikk*. Hentet 29.04 fra

<https://www.fiskeridir.no/Akvakultur/Tall-og-analyse/Roemningsstatistikk>

Folden, Ø. (2022). Alt for dårleg kunnskapsinnhenting også i Rauma. *Naturvernforbundet*.

<https://naturvernforbundet.no/moreogromsdal/alt-for-darleg-kunnskapsinnhenting-ogsa-i-rauma/>

Fuglebakk, E. & Thorsen, A. (2023). Skreitokt 2023—Kartlegging av gytebestanden av skrei i 2023. *Toktrapport*.

Grefsrud, E. S., Bjørn, P. A., Grøsvik, B. E., Hansen, P. K., Husa, V., Karlsen, Ø., Kvamme, B. O., Samuelsen, O. B., Sandlund, N. & Solberg, M. F. (2022). Risikoreport norsk fiskeoppdrett 2022-kunnskapsstatus-Effekter på miljø og dyrevelferd i norsk fiskeoppdrett. *Rapport fra havforskningen*.

Guderley, H., Dutil, J.-D. & Pelletier, D. (1996). The physiological status of Atlantic cod, *Gadus morhua*, in the wild and the laboratory: estimates of growth rates under field conditions. *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, 53(3), 550-557.

Hagen, Ø. & Johnsen, C. A. (2016). Flesh quality and biochemistry of light-manipulated Atlantic cod (*Gadus morhua*) and the significance of collagen cross-links on fillet firmness and gaping. *Food chemistry*, 190, 786-792.

Hansen, T. J., Fjelldal, P. G., Folkedal, O., Vågseth, T. & Oppedal, F. (2017). Effects of light source and intensity on sexual maturation, growth and swimming behaviour of Atlantic salmon in sea cages. *Aquaculture Environment Interactions*, 9, 193-204.

Hardeland, R., Pandi-Perumal, S. R. & Cardinali, D. P. (2006). Melatonin. *The international journal of biochemistry & cell biology*, 38(3), 313-316.

Havforskningsinstituttet. (2021, 24/03/2023). *Tema: Torskeoppdrett*. Havforskningsinstituttet.

<https://www.hi.no/hi/temasider/akvakultur/torskeoppdrett>

Havforskningsinstituttet. (2024). *Kvoteråd*. Hentet 07.03.2024 fra

<https://www.hi.no/hi/radgivning/kvoterad?y=2017>

Hemre, G. I., Karlsen, Ø., Eckhoff, K., Tveit, K., Mangor-Jensen, A. & Rosenlund, G. (2004). Effect of season, light regime and diet on muscle composition and selected quality parameters in farmed Atlantic cod, *Gadus morhua* L. *Aquaculture research*, 35(7), 683-697.

Hemre, G. I., Nortvedt, R., Lie, Ø. & Sandnes, K. (2001). Hvordan føre opp oppdrettstorsk slik at den skal vokse hurtig og ikke bygge opp for stor lever?

Henriksen, E., Heide, M., Hansen, Ø. J. & Mortensen, A. (2018). Kunnskaps-og erfaringsgrunnlag for torskeoppdrett. *Nofima rapportserie*.

- IMR/PINRO. (2023). Advice on fishing opportunities for Northeast Arctic cod in 2024 in ICES subareas 1 and 2. *IMR/PINRO Joint Report Series*.
- Johansen, T., Besnier, F., Quintela, M., Jorde, P. E., Glover, K. A., Westgaard, J. I., Dahle, G., Lien, S. & Kent, M. P. (2020). Genomic analysis reveals neutral and adaptive patterns that challenge the current management regime for East Atlantic cod *Gadus morhua* L. *Evolutionary Applications*, 13(10), 2673-2688.
- Johansen, T. J., Martinussen, I. & kompetansesenter Holt, N. (2007). Nordnorsk mat på øverste hylle.
- Jørstad, K. E., Van Der Meeren, T., Paulsen, O. I., Thomsen, T., Thorsen, A. & Svåsand, T. (2008). "Escapes" of eggs from farmed cod spawning in net pens: recruitment to wild stocks. *Reviews in Fisheries Science*, 16(1-3), 285-295.
- Karlsen, Ø. & Holm, J. (1994). Ultrasonography, a non-invasive method for sex determination in cod (*Gadus morhua*). *Journal of Fish Biology*, 44(6), 965-971.
- Karlsen, Ø., Kristoffersen, C., Kleppe, L., Kristiansen, T. & Taranger, G. L. (2008). *Lystorsk*. Havforskningsinstituttet.
- Kjesbu, O. (1989). The spawning activity of cod, *Gadus morhua* L. *Journal of Fish Biology*, 34(2), 195-206.
- Kjørsvik, E., Mommens, M., Næve, I. & Norberg, B. (2024). Reproduksjon. I *Fiskefysiologi* (s. 429-461). Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
<https://hdl.handle.net/11250/3113208>
- Knudsen, C. (2023). Avslår torskeoppdrett etter protester:- Utrolig lettet. *E24*.
<https://e24.no/hav-og-sjoemat/i/Xba8Oo/avslaar-torskeoppdrett-etter-protester-utrolig-lettet>
- Korsøen, Ø. J., Dempster, T., Fosseidengen, J. E., Karlsen, Ø., Oppedal, F., Stien, L. H. & Kristiansen, T. S. (2013). Towards cod without spawning: artificial continuous light in submerged sea-cages maintains growth and delays sexual maturation for farmed Atlantic cod *Gadus morhua*. *Aquaculture Environment Interactions*, 3(3), 245-255.
- Lynum, L. & Rustad, T. (2005). *Fisk som råstoff: holdbarhet og kvalitetssikring* (2. utg., 2. oppl. utg.). Tapir.
- Mattilsynet. (u.å). *Lever, torsk, rå*. Mattilsynet. Hentet 01.05 fra
<https://www.matvaretabellen.no/lever-torsk-ra/#321a>
- McGinnity, P., Stone, C., Taggart, J., Cooke, D., Cotter, D., Hynes, R., McCamley, C., Cross, T. & Ferguson, A. (1997). Genetic impact of escaped farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) on native populations: use of DNA profiling to assess freshwater

- performance of wild, farmed, and hybrid progeny in a natural river environment. *ICES Journal of Marine Science*, 54(6), 998-1008.
- Njåstad, M. & Vatlestad, J. (2023, 12/04/2023). *Søknads-bonanza i torskoppdrett*. Intrafish. <https://www.intrafish.no/nyheter/soknads-bonanza-i-torskoppdrett/2-1-1374292>
- Njåstad, M. V., Joar. (2023, 12/04/2023). *Søknads-bonanza i torskoppdrett*. Intrafish. <https://www.intrafish.no/nyheter/soknads-bonanza-i-torskoppdrett/2-1-1374292>
- Nofima. (2023, 18.01.2024). *Bedret resistens mot francisellose hos atlantisk oppdrettstorsk*. Nofima. Hentet 27.04 fra <https://nofima.no/prosjekt/bedret-resistens-mot-francisellose-hos-atlantisk-oppdrettstorsk/>
- Nofima. (2024). *Torskeavlsprogrammet*. Nofima. Hentet 27.02 fra <https://nofima.no/prosjekt/torskeavlsprogrammet/>
- Norges forskningsråd. (2009). Plan for koordinert satsing på torsk. Oppdrett og fangsbasert akvakultur 2010-2020. <https://www.forskningsradet.no/siteassets/publikasjoner/1244734203754.pdf>
- Norges Sjømatråd. (2023, 04/10/2023). *Nytt sterkt kvartal for norsk sjømateksport, men verdinedgang målt i euro*. Norges Sjømatråd. <https://seafood.no/aktuelt/nyheter/nytt-sterkt-kvartal-for-norsk-sjomateksport-men-verdinedgang-malt-i-euro/>
- Norges Sjømatråd. (2024, 05.03.2024). *Three consecutive years of value growth for Norwegian seafood exports*. Norges Sjømatråd. Hentet 13.03.2024 fra <https://en.seafood.no/news-and-media/news-archive/three-consecutive-years-of-value-growth-for-norwegian-seafood-exports/>
- Næve, I., Mommens, M., Arukwe, A. & Kjørsvik, E. (2018). Ultrasound as a noninvasive tool for monitoring reproductive physiology in female Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Physiological reports*, 6(9), e13640.
- Olsson, H., Sörensen, S. & Bureid, G. (2003). *Forskningsprosessen : kvalitative og kvantitative perspektiver*. Gyldendal akademisk.
- Otterå, H., Agnalt, A., Thorsen, A., Kjesbu, O., Dahle, G. & Jørstad, K. (2012). Is spawning time of marine fish imprinted in the genes? A two-generation experiment on local Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) populations from different geographical regions. *ICES Journal of Marine Science*, 69(10), 1722-1728.
- Petersen, B. H. (2023a). *Fiskeridirektoratets prosedyre for oppfølging av modningsstatus hos oppdrettstorsk i sjøanlegg vintersesongen 2023-2024. Vedlegg til vedtak*. Fiskeridirektoratet.
- Petersen, B. H. (2023b). *Kime Akva AS 925155748 - Pålegg om oppfølging av*

modningsstatus hos oppdrettstorsk i sjøanlegg. Fiskeridirektoratet.

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.

R Core Team. (2022). <https://www.R-project.org/>

Regjeringen. (2020). *Global matsikkerhet*. Regjeringen. Hentet 28.02 fra

<https://www.regjeringen.no/no/tema/mat-fiske-og-landbruk/jordbruk/innsikt/handel-med-jordbruksprodukter/matvareutfordringen-i-verden/id2364455/>

Sierra-Flores, R., Davie, A., Grant, B., Carboni, S., Atack, T. & Migaud, H. (2016). Effects of light spectrum and tank background colour on Atlantic cod (*Gadus morhua*) and turbot (*Scophthalmus maximus*) larvae performances. *Aquaculture*, 450, 6-13.

Skjæraasen, J. E., Meager, J. J. & Færnø, A. (2007). *Hvordan vil rømt oppdrettstorsk påvirke lokale kysttorskpopulasjoner?* Havforskningsinstituttet.

Skye Instruments. (u.å.-a). *SKUW SERIES- UNDERWATER LIGHT SENSOR*. Hentet

24.10.2024 fra https://skyeinstruments.info/index_htm_files/skuwseries-dts-v1a.pdf

Skye Instruments. (u.å.-b). *SpectroSense 2 Light Meter- SKL 904*. Hentet 24.10.2024 fra

https://www.skyeinstruments.info/index_htm_files/SPECTROSENSE2.pdf

Skaala, Ø., Besnier, F., Borgstrøm, R., Barlaup, B., Sørvik, A. G., Normann, E., Østebø, B. I., Hansen, M. M. & Glover, K. A. (2019). An extensive common-garden study with domesticated and wild Atlantic salmon in the wild reveals impact on smolt production and shifts in fitness traits. *Evolutionary Applications*, 12(5), 1001-1016.

Solberg, C. & Willumsen, L. (2008). Differences in growth and chemical composition between male and female farmed cod (*Gadus morhua*) throughout a maturation cycle. *Aquaculture research*, 39(6), 619-626.

Svåsand, T., Crosetti, D., García-Vázquez, E. & Verspoor, E. (2007). Genetic impact of aquaculture activities on native populations. *Genimpact final scientific report (EU contract n. RICA-CT-2005-022802)*.

Utne-Palm, A. C., Breen, M., Løkkeborg, S. & Humborstad, O. B. (2018). Behavioural responses of krill and cod to artificial light in laboratory experiments. *PLoS one*, 13(1), e0190918.

Veterinærinstituttet. (2016). *Francisellose*. Veterinærinstituttet. Hentet 26.04 fra

<https://www.vetinst.no/sykdom-og-agens/francisellose>

- Veterinærinstituttet. (2020). *Nodavirus hos marin fisk*. Veterinærinstituttet. Hentet 26.04.2024 fra <https://www.vetinst.no/sykdom-og-agens/nodavirus-hos-marin-fisk-vnn-ver>
- von Krogh, K. (2021). An Atlantic cod (*Gadus morhua* L.) pituitary model system for reproductive and reprotoxic testing in vitro.
- Vøllestad, L. A. (2021). *torskefamilien*. Store norske leksikon. Hentet 16.02 fra <https://snl.no/torskefamilien>
- Vøllestad, L. A. (2023, 19.07.2023). *Torsk*. Store norske leksikon. Hentet 19.02 fra <https://snl.no/torsk>
- Øveraas, F. D. (2024, 26.04.2024). Hvem eier fjorden, egentlig? <https://ilaks.no/hvem-eier-fjorden-egentlig/>
- Aas, G. H. & Kjerstad, M. (2008). *Status for utnyttelse av restråvarer fra oppdrettstorsk*. Møreforskning Ålesund. Møreforskning.

