

Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet

Mars 2025

Gjellelokkforkortelse hos laksefisk – En kunnskapssammenstilling

Sluttrapport for FHF-prosjekt 901872



Norges miljø- og
biovitenskapelige
universitet



MQWI



FHF
FISKERI- OG HAVBRUKSNÆRINGEN
FORSKNINGSFINANSIERING

Forfattere:

Liv Østevik (Norges Miljø- og biovitenskapelige universitet)
Marit Stormoen (Norges Miljø- og biovitenskapelige universitet)
Trond Kortner (Norges Miljø- og biovitenskapelige universitet)
Idun Gundersen (Norges Miljø- og biovitenskapelige universitet)
Mari Viken Kjønstad (Åkerblå AS)
Øyvind Salvesen (Åkerblå AS)
Grunde Heggland (Åkerblå AS)
Ane Grøndahl (Åkerblå AS)
Farah Manji (Mowi ASA)
Annette Boerlage (Scotland's Rural College)
Jude Eze (Scotland's Rural College)

30 mars 2025

Oppdragsgiver

Fiskeri- og havbruksnæringens forskningsfinansiering (FHF)

FHF prosjektnummer: 901872

Finansiert av:



1.	OPPSUMMERING / SUMMARY	4
	<i>Norsk</i>	4
	Hovedfunn	4
	Praktisk betydning	5
	Kunnskapshull.....	5
	<i>English</i>	6
	Main findings	6
	Practical Significance	7
	Knowledge Gaps	7
2.	PROSJEKTORGANISERING OG MÅLSETNINGER.....	8
3.	GJELLELOKKANATOMI, FYSIOLOGI OG UTVIKLING	9
4.	AP2 – SYSTEMATISK LITTERATURGJENNOMGANG.....	10
	4.1 <i>Materiale og metoder</i>	10
	4.1.1 Litteratursøk	10
	4.1.2 Screening og ekstrasjon av publikasjoner.....	11
	4.1.3 Vitenskapelige publikasjoner fra andre arter	12
	4.2 <i>Resultater</i>	13
	4.2.1 Studier	13
	4.2.2 Definisjoner og terminologi	13
	4.2.3 Årsaker og risikofaktorer for forandringer i gjellelokk.....	14
	4.2.4 Utvikling av gjellelokkforandringer over tid.....	27
	4.2.5 Avheling av gjellelokkforandringer	28
	4.2.6 Gradering og scoring av forandringer i gjellelokk	30
	4.2.7 Betydning og konsekvens av forandringer i gjellelokk.....	31
	4.2.8 Forbyggende og avbøtende tiltak ved gjellelokkforandringer	34
	4.3 <i>Oppsummering og hovedfunn AP2</i>	34
5.	AP3 – INNHEITING AV ERFARINGSBASERT KUNNSKAP	35
	5.1 <i>Materiale og metoder</i>	35
	5.1.1 Intervjuobjekter	35
	5.1.2 Semistrukturert intervju	36
	5.2 <i>Resultater</i>	36
	5.2.1 Risikofaktorer og årsaker	36
	5.2.2 Utvikling av gjellelokkforandringer over tid.....	39
	5.2.3 Avheling av gjellelokkforandringer	39
	5.2.4 Rutiner for oppfølging av forkortet gjellelokk	40
	5.2.5 Forekomst og alvorlighetsgrad	41
	5.2.6 Betydning og konsekvens av forandringer i gjellelokk.....	41
	5.2.7 Tiltak	43
	5.2.8 Artsvariasjoner mellom laks og regnbueørret	43
	5.4 <i>Oppsummering og hovedfunn AP3</i>	44
6.	AP 4 - DATAGJENNOMGANG.....	45
	6.1 <i>Materiale</i>	45
	6.1.1 Datasett 1	46
	6.1.2 Datasett 2	48
	6.1.3 Datasett 3	49
	6.1.4 Datasett 4	50
	6.1.5 Datasett 5	53
	6.1.6 Datasett 6	53
	6.2 <i>Pilot -oppfølging av dødfisk i forbindelse med NFR-prosjekt</i>	59
	6.3 <i>Oppsummering og hovedfunn AP4</i>	59
7.	OPPSUMMERING OG DISKUSJON	61
	7.1 <i>Risikofaktorer og årsaker</i>	61
	7.2 <i>Utvikling av gjellelokkforandringer over tid</i>	64
	7.3 <i>Utseende og typer av gjellelokkforandringer</i>	65
	7.4 <i>Registrering, gradering og oppfølging av gjellelokkforandringer</i>	66
	7.5 <i>Heling av gjellelokkforandringer</i>	67
	7.6 <i>Forekomsten av gjellelokkforkortelse hos oppdrettet laksefisk</i>	68

7.7	Betydning og konsekvens av forandringer i gjellelokk.....	68
7.8	Forbyggende og avbøtende tiltak ved gjellelokkforandringer.....	71
7.8	Begrensninger i det eksisterende kunnskapsgrunnlaget	72
8.	LEVERANSER	73
8.1	Presentasjoner og postere	73
8.2	Vitenskapelige publikasjoner	73
8.3	Andre publikasjoner.....	73
9.	VEDLEGG	73
10.	REFERANSER	74

1. Oppsummering / Summary

Norsk

Hovedfunn

- Gjellelokkforkortelse og andre gjellelokkforandringer kan ha flere ulike årsaker og risikofaktorer.
- Gjellelokkforandringer forbundet med ernæringsbetingede, hormonelle, toksiske eller infeksjøs sykdommer vil oftest være en del av en sykdomsprosess som også angår andre deler av skjelettet og/eller andre organsystemer.
- Fra næringen beskrives det at gjellelokkforandringer vanligvis observeres tidlig i startfôringen, og at aggresjon mellom fisk er en viktig og sannsynlig årsak til problemet. Flere ulike årsaker til gjellelokkforandringer er foreslått i forskningslitteraturen, blant annet aggresjon mellom fisk, men relativt få studier har hatt som mål å avdekke en eller flere biologiske årsaksmekanismer. Det finnes foreløpig ingen vitenskapelige studier som bekrefter at aggresjon fører til gjellelokkforkortelse.
- Erfaringene fra næringa tilsier at drifts- og produksjonsrutiner, særlig knyttet til fôrtildeling i startfôringsperioden, men også knyttet karutforming, vannmiljø, strøm, fisketetthet og vanntemperatur er viktige risikofaktorer for utvikling av gjellelokkforkortelse hos både laks og ørret.
- En rekke ulike risikofaktorer relatert til drifts- og produksjonsforhold er undersøkt, men få studier per risikofaktor gjør det vanskelig å trekke sikre konklusjoner.
- Både vitenskapelige studier og erfaringer fra næringa tilsier at gjellelokkforandringer kan avheles over tid, men det er lite kjennskap til hvilke faktorer som påvirker avheling.
- Erfaringer fra næringa, litteraturen og tilgjengelige data viser at gjellelokkforkortelse og -deformiteter kan være forbundet med gjellesykdom/gjelleskade, lavere vekt og lengde og økt dødelighet hos affisert fisk. Dette tilsier at gjellelokkforkortelse medfører økonomiske tap og redusert fiskevelferd.
- Det er mange ulike systemer for å gradere og score gjellelokkforkortelse og deformiteter. Et godt scoresystem er lett å bruke med gode illustrasjoner og en tydelig forklaring av hvordan de ulike scorekategoriene ser ut slik variasjonen mellom ulike brukere blir minst mulig.
- Analyse av datasett fra felt viser at enkelte fiskegrupper kan ha en høy (over 50 %) prevalens av gjellelokkforkortelse, men at den gjennomsnittlige prevalensen trolig er nærmere 7-10 %, hvor flertallet har mild alvorlighetsgrad.
- Forebyggende og avbøtende tiltak som brukes per i dag er basert på erfaringer fra de ulike næringsaktørene. Det er ikke identifisert vitenskapelige studier der man undersøker ulike avbøtende og forebyggende tiltak.

Praktisk betydning

- Gjellelokkforkortelse er trolig forbundet med både økonomiske tap og redusert fiskevelferd, tiltak bør settes i verk for å redusere forekomsten til et minimum.
- Viktige forebyggende tiltak er å sikre tilstrekkelig fôrtildeling under startfôringen og et stabilt og godt karmiljø, samt utsortering av taperfisk.
- Avbøtende tiltak er utsortering av fisk med moderat til alvorlig gjellelokkforkortelse.
- Settefiskanlegg som har utfordringer med gjellelokkforkortelse bør score gjellelokk (tosidig) fra tidlig i startfôringen og videre gjennom produksjonen for å prøve å identifisere når problemet oppstår og sette inn forebyggende tiltak på rett tidspunkt.
- For å legge til rette for videre forskning burde næringa enes om ett felles scoresystem. Vi mener bruk av Laksvel, men med registrering av gjellelokkstatus på høyre og venstre side vil være godt egnet til dette.

Kunnskapshull

1. Det trengs mer kunnskap om betydningen og konsekvensene av gjellelokkforkortelse og -deformiteter i kommersielt oppdrett av laks og regnbueørret. Vi må få økt forståelse av hvordan gjellelokkforandringer påvirker dødelighet, tilvekst, helse og velferd, samt hvilken kostnad problemet medfører med hensyn til tap av utsortert settefisk og potensielt økt dødelighet, redusert tilvekst og økt sykdomsbyrde i både settefisk og sjøfasen.
2. Det trengs flere vitenskapelige studier for å fastsette årsaker og risikofaktorer for gjellelokkforkortelse og -deformiteter hos oppdrettet laksefisk slik at man kan forstå hvilke tiltak som er effektive for å redusere forekomsten. Disse må fokusere på tidlig settefiskfase når problemene først oppstår.
3. Ytterligere studier på sammenhengen mellom gjellelokkforandringer og gjellehelse vil kunne belyse forekomsten, utviklingen, omfanget og betydningen av eventuelle forandringer i gjellene hos fisk med forkortede og deformerte gjellelokk. I tillegg vil det være interessant å nærmere karakterisere vevsskadene som oppstår og en eventuell sammenheng med infeksjose agens.
4. Det bør utvikles en beste praksis for utredning av gjellelokkforkortelse og -forandringer i settefiskfasen, slik at fiskehelsepersonell systematisk kan utrede problemet og komme med anbefalinger for tiltak for å forebygge og redusere forekomsten.

English

Main findings

- Opercular shortening and other gill cover lesions can have various causes and risk factors.
- Opercular lesions associated with nutritional, hormonal, toxic, or infectious diseases are often part of a disease process that also affects other parts of the skeleton and/or other organ systems.
- The industry reports that opercular lesions are usually observed early in the start feeding period, and aggression between fish is an important and likely cause of the problem. Various causes of opercular lesions have been suggested in the research literature, including fish aggression, but relatively few studies have aimed to uncover one or more biological mechanisms. There are currently no scientific studies confirming that aggression leads to opercular shortening.
- Experiences from the industry indicate that operational and production routines, particularly related to feed allocation during the start feeding period, as well as tank design, water environment, flow, fish density, and water temperature, are important risk factors for the development of opercular shortening in both salmon and trout.
- Several different risk factors related to operational and production conditions have been investigated, but few studies per risk factor make it difficult to draw firm conclusions.
- Both scientific studies and industry experiences suggest that opercular lesions can heal over time, but there is little knowledge about the factors that influence healing.
- Experiences from the industry, literature, and available data show that opercular shortening and deformities can be associated with gill disease/gill damage, lower weight and length, and increased mortality in affected fish. This indicates that opercular shortening leads to both economic losses and reduced fish welfare.
- There are many different systems for grading and scoring opercular shortening and deformities. A good scoring system is easy to use with good illustrations and a clear explanation of how the different score categories look to minimize variation between different users.
- Analysis of field data shows that some fish groups can have a high (over 50 %) prevalence of opercular shortening, but the average prevalence is likely closer to 7-10 %, with the majority having mild shortening.
- Preventive and mitigating measures currently used are based on experiences from various industry players. No scientific studies have been identified that investigate different mitigating and preventive measures.

Practical Significance

- **Economic and Welfare Impact:** Opercular shortening is likely associated with both economic losses and reduced fish welfare, so measures should be implemented to minimize its occurrence.
- **Preventive Measures:** Key preventive measures include ensuring adequate feed allocation during the start feeding period and maintaining a stable and good tank environment, as well as sorting out weaker fish.
- **Mitigating Measures:** Mitigating measures involve sorting out fish with moderate to severe opercular shortening.
- **Scoring and Monitoring:** Hatcheries facing challenges with opercular shortening should score opercula (bilaterally) from early in the start feeding period and throughout production to identify when the problem arises and implement preventive measures at the right time.
- **Unified Scoring System:** To facilitate further research, the industry should agree on a common scoring system. The use of Laksvel, with the registration of gill cover status on both the right and left sides, is considered well-suited for this purpose.

Knowledge Gaps

1. **Understanding Impact and Consequences:** More knowledge is needed about the significance and consequences of opercular shortening and deformities in commercial farming of salmon and rainbow trout. We need to better understand how opercular lesions affect mortality, growth, health, and welfare, as well as the associated costs, including losses from discarded fry and potentially increased mortality, reduced growth, and increased disease burden in both hatchery and sea phases.
2. **Identifying Causes and Risk Factors:** More scientific studies are needed to establish the causes and risk factors for opercular shortening and deformities in farmed salmonids, so that effective measures to reduce the occurrence can be identified. These studies should focus on the early fry phase when the problems first arise.
3. **Correlation with Gill Health:** Further studies on the relationship between opercular changes and gill health could shed light on the prevalence, development, extent, and significance of any changes in the gills of fish with shortened and deformed opercula. Additionally, it would be interesting to further characterize the tissue damage that occurs and any potential connection with infectious agents.
4. **Best Practices Development:** A best practice for investigating opercular shortening and deformities in the fry phase should be developed, so that fish health personnel can systematically investigate the problem and provide recommendations for measures to prevent and reduce its occurrence.

2. Prosjektorganisering og målsetninger

Organisering

Prosjektet er et svar på FHF-utlysningen: «Kunnskapsammenstilling på gjellelokkforkortelse», der formålet var en kunnskaps- og erfaringsammenstilling relatert til gjellelokkforkortelse hos laksefisk i Norge og globalt. Prosjektet er et samarbeid mellom Åkerblå AS, Mowi AS, Scotland's Rural College (SRUC) og Norges miljø- og biovitenskapelige universitet (NMBU). Prosjektet ble ledet av NMBU, med Liv Østevik som prosjektleder og leder for arbeidspakke 1 - Formidling og administrasjon og arbeidspakke 2 - Systematisk litteraturgjennomgang. Mari Viken Kjørstad (Åkerblå) og Marit Stormoen (NMBU) ledet henholdsvis arbeidspakke 3 - Innhenting av erfaringsbasert kunnskap og arbeidspakke 4 - Innhenting av feltdata. Øvrige prosjektdeltagere var Trond Kortner, Idun Gundersen, Øyvind Salvesen, Grunde Heggland, Ane Grøndahl, Annette Boerlage, Farah Manji og Jude Eze. Referansegruppen bestod av Ivar Bastian Kramer (STIM), Bjørnar Paulsen (Lerøy Midt), Marta Kambestad (Bremnes Seashore), og Monica Kalberg (Svanøy Havbruk). Morten Lund har deltatt i referansegruppemøter og fulgt opp prosjektet fra FHF. Prosjektgruppa ønsker også å takke Grieg Seafood for innspill og bidrag til prosjektet.

Målsetninger

- Identifisere, kvantifisere og evaluere vitenskapelig publisert kunnskap om årsaker, omfang og betydningen av gjellelokkforkortelse (AP2).
- Samle inn erfaringsbasert kunnskap om årsaker, systematiske verktøy for oppfølging, betydning og tiltak i settefiskfasen og i sjø (AP3).
- Sammenstilling av litteratur og feltdata samt belyse kunnskapshull (AP3 og AP4).
- Formidle funn av både kunnskap og kunnskapshull (Alle arbeidspakker).

I felleskap formulerte prosjektgruppa en liste med hovedspørsmål som vi ønsket å undersøke om forskningslitteraturen, informantene fra næringa og/eller de tilgjengelige datasettene hadde svar på:

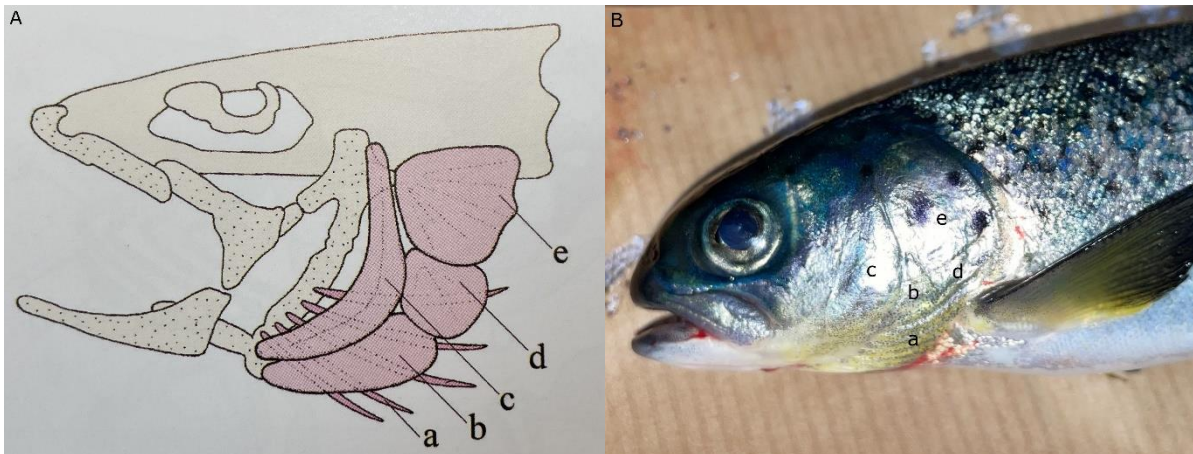
1. Hva er årsaken til og risikofaktorer for gjellelokkforkortelse og andre forandringer i gjellelokket hos laksefisk?
2. Hva er de viktigste årsakene og risikofaktorene for gjellelokkforkortelse og andre forandringer i gjellelokket hos oppdrettet atlantisk laks og ørret?
3. Når oppstår gjellelokkforkortelse og hvordan er utviklingen over tid?
4. Kan gjellelokkskader og forandringer heles over tid?
5. Hvordan registreres og eventuelt graderes (scores) forandringer i gjellelokket?
6. Hva er forekomsten gjellelokkforkortelse og eventuelt andre gjellelokkforandringer hos oppdrettet laksefisk?
7. Hva er konsekvensene av gjellelokkforkortelse og andre gjellelokkforandringer for fiskens helse, funksjon og produktivitet?

8. Hvilke forebyggende og avbøtende tiltak kan benyttes for å redusere forekomst og hindre tiltagende gjellelokkskader og andre negative helseutfall hos oppdrettet laksefisk?

3. Gjellelokkanatomi, fysiologi og utvikling

Gjellelokkene består av fire leddede beinplater (preoperculum, operculum, suboperculum og interoperculum) med branchiostegalmembranen avstivet av beinvev (branchiostegalstråler) som utgjør bakre (kaudale) og nedre (ventrale) rand (figur 1) (Kryvi & Poppe, 2016).

Gjellelokket og branchiostegal membranen dekker gjellene og avgrenser gjellehulen hos laks og andre laksefisk. Knoklene i gjellelokket dannes ved intramembranøs ossifikasjon ved at bindevevsceller differensieres direkte til osteoblaster som produserer beinvev. Sadler (Sadler, 2000) beskrev utviklingen av gjellelokk og andre knokler i hodet hos diploid og triploid atlantisk laks. Operculumknokkelen var synlig og startet å utvikles fra 390 døgngader (d°) etter befruktning av rogn og den første branchiostegalstrålen, suboperculum og interoperculum ble observert 1 uke etter klekking (470 d°). Frem til 528 d° og videre mot 706 d° økte operculum, suboperculum, intraoperculum i størrelse og antallet branchiostegalstråler økte til tre til fire og deretter til ti. Ved 706 d° var forbeiningen av preoperculum i gang og fra 8 til 12 uker etter klekking (913 d° og 1510 d°) var alle knoklene til stede, tydelig avgrenset og fortsatte å øke i størrelse.



Figur 1. Gjellelokkanatomi - a: branchiostegalstråler, b: interoperculum, c: preoperculum, d: suboperculum, e: operculum. A) Skisse av knoklene i gjellelokket fra boka *Fiskeanatomi* av Kryvi og Poppe, gjengitt med tillatelse. B) Atlantisk laks (Foto: Liv Østevik).

Tre muskler tilheftet operculum gjør at gjellelokket kan beveges i henholdsvis utover (lateralt - *m. dilatator operculi*), utover og oppover (lateralt og dorsalt - *m. levator operculi*) eller innover (medialt - *m. adductor operculi*) og dermed øke eller redusere størrelsen på gjellehulen (Kryvi & Poppe, 2016). Det er muskelfibre mellom branchiostegalstrålene som gjør at gjellehulen kan lukkes og et ligament (*lig. interoperculomandibulare*) forbinder

interoperculum og underkjeven og bidrar til åpningen av munnen. I tillegg finnes en rekke andre muskler på hodet som bidrar til respirasjon og beveger vann over gjellene. Vann dras inn ved at munnhulegulvet senkes, gjellelokket beveger seg utover (lateralt) og branchiostegalmembranen presses innover (medialt) for å hindre inntak av vann under gjellelokket. Vannet presses ut over gjellene ved at munnåpningen stenges av to klaffer samtidig som gjellelokket beveger seg innover (medialt) og branchiostegalmembranen løftes utover (lateralt). Når fisken svømmer med høyere hastighet benyttes ram ventilering, da åpnes munn og gjellelokk og vannet strømmer over gjellene uten hjelp av pustebevegelser.

4. AP2 – Systematisk litteraturgjennomgang

4.1 Materiale og metoder

4.1.1 Litteratursøk

For å identifisere relevant litteratur til denne systematiske oversikten gjennomførte vi et strukturert og systematisk søk. Målet var å samle all tilgjengelig forskning som kunne belyse forskningsspørsmålet, samtidig som vi reduserte risikoen for skjevhet i materialet (Jamtvedt, 2013). Søkestrategien ble utviklet basert på en systematisk tilnærming, inspirert av rammeverk som PICO (Population, Intervention, Comparison, Outcome).

Vi startet med å definere forskningsspørsmålet og identifisere relevante søkeord, inkludert synonymer og relaterte termer. Disse ble kombinert ved hjelp av boolske operatører (AND, OR) for å sikre både bredde og presisjon i søket. Søkeordene ble testet og justert underveis for å optimalisere søkestrategien og finne en balanse mellom relevans og omfang. Blant annet ble det testet å kun søke på «gjellelokkforkortelse» og tilhørende synonymer, samt å kombinere «gjellelokkforkortelse» med mulige årsaker som for eksempel ernæring, genetik og miljø. Referanseartiklene som lå til grunn fra prosjektgruppen omfattet flere ulike fiskearter, og det ble derfor gjennomført forskjellige testsøk for å utforske nytten av et overordnet søk på selve fenomenet «gjellelokkforkortelse».

Gruppen satte imidlertid som inklusjonskriterium at populasjonen skulle være laksefisk og det ville være hensiktsmessig for relevansen og utvelgelsen av artikler å avgrense til laksefisk og da spesifikt laks og ørret (genus *Salmo* og *Oncorhynchus*). Fordi forskningsspørsmålet ikke var begrenset til en spesifikk eksponering eller behandling, ble det konkludert at det mest dekkende søket var å kombinere «gjellelokkforkortelse» med «laksefisk». Søkene ble deretter gjennomført i flere relevante databaser publisert før 19.03.2024, inkludert Web of Science, Scopus, Cab abstract og flere. For fullstendig metodetekst og søkelogg se Vedlegg 1. Alle referansene som ble identifisert i søkene, ble importert til referansehåndteringsprogrammet

EndNote for å fjerne duplikater, det ble også gjort en manuell duplikatsjekk i screeningprogrammet Covidence.

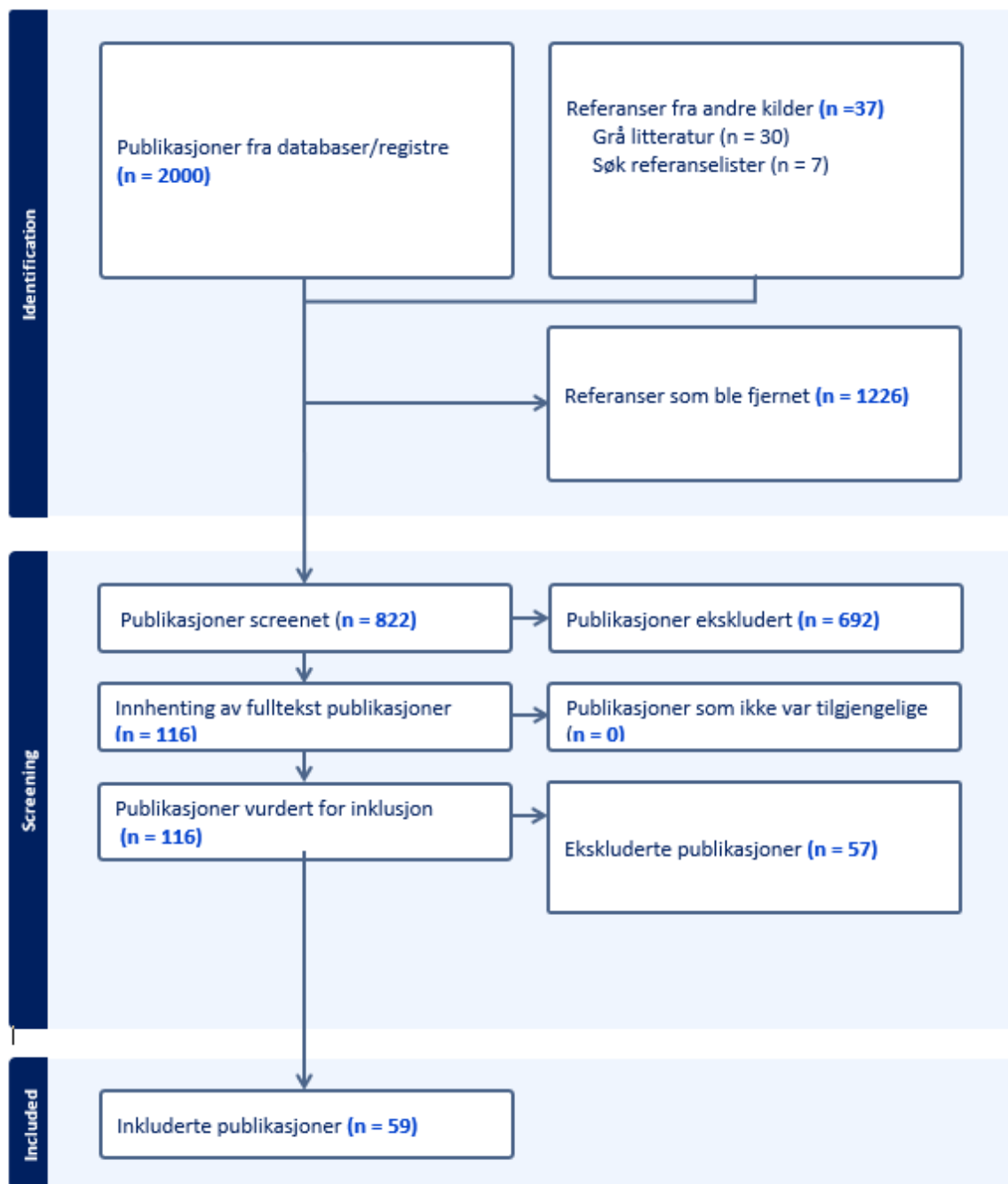
4.1.2 Screening og ekstrasjon av publikasjoner

Programmet Covidence (Covidence systematic review software, Veritas Health Innovation, Melbourne, Australia. Tilgjengelig på www.covidence.org.) ble brukt til screening av artikler og andre publikasjoner i to trinn av to ulike personer. Først ble tittel og abstrakt vurdert, deretter ble resterende fulltekst artikler vurdert. Eventuelle uenigheter ble avgjort ved diskusjon mellom de to personene. Artikler ble inkludert i studien dersom de omhandlet forandringer i gjellelokk hos laksefisk (ørret og laks). Artikler som beskrev påførte skader på gjellelokket i forbindelse med merking av laksefisk ble inkludert dersom disse omhandlet avheling og registrerte gjellelokkstatus på ett eller flere tidspunkter etter at skaden ble påført. Artikler på andre språk enn norsk eller engelsk ble ekskludert fra studien. Ved gjennomlesning av de inkluderte artiklene ble ytterligere studier som ble omtalt og sitert identifisert. Fulltekst versjon av disse artiklene ble vurdert og eventuelt inkludert dersom de omhandlet gjellelokkforandringer hos laksefisk. Søk og screening prosessen vises i PRISMA flytdiagrammet (figur 2).

Fra alle inkluderte fulltekst artikler ble følgende informasjon registrert fra hver studie:

- Forfatter, år publisert, hvilket land studien ble gjennomført
- Fiskearten(e) brukt
- Opprinnelsen til fiskene brukt
- Studiedesign
- Antall fisk evaluert for gjellelokkstatus
- Antall grupper fisk
- Hvilke livsstadier som ble studert
- Varighet av studien
- Eksponeringen fisken ble utsatt for
- Hvilket utfall som ble undersøkt med tanke på gjellelokkstatus
- Beskrivelse og scoringssystem brukt for å gradere forandringer i gjellelokk
- Hvilke sammenligninger som er gjennomført
- Hvilket eller hvilke spørsmål studien adresserer
- Studieoppsett og gjennomføring
- Resultater (som omhandler gjellelokkforandringer)
- Anlegg eller anleggstype der studien ble gjennomført

Denne informasjonen ble registrert i tabellform i en excel database og brukt til å skape forenklede tabeller og for å sammenfatte resultatene fra studiene.



Figur 2. Prisma flytdiagrammet viser prosessen for søk, screening, innhenting, vurdering og inklusjon av publikasjoner i litteraturstudien.

4.1.3 Vitenskapelige publikasjoner fra andre arter

I løpet av det systematiske søket ble det identifisert artikler som omhandlet andre arter enn laksefisk. Disse ble som nevnt ikke inkludert i litteraturgjennomgangen og litteratursøket ble heller ikke designet for å identifisere slike artikler. Artikler som omhandler andre arter ble likevel oppsøkt for å få bakgrunnsinformasjon og forståelse og oversikt over gjellelokkforandringer hos fisk generelt. Ettersom søket og registreringen av informasjon fra disse artiklene ikke var like systematisk som for laksefisk kan det tenkes at vi har gått glipp av

relevante studier og informasjon. Studier fra andre arter er kort omtalt i egne avsnitt der det ansees som hensiktsmessig og resultatene kan tenkes ha overføringsverdi til oppdrettet laksefisk.

4.2 Resultater

4.2.1 Studier

Totalt ble det identifisert 60 studier og 59 publikasjoner som omhandlet gjellelokkforandringer hos laksefisk. Enkelte studier er beskrevet i flere ulike publikasjoner, for eksempel i flere artikler eller i én artikkel og én avhandling. Tilsvarende beskriver enkelte artikler flere ulike studier for eksempel flere fôringsforsøk der fiskegruppene har ulik alder ved studiestart. I det følgende er det studiene som er enheten vi beskriver og henter informasjon fra. Unntaket fra dette studier fra andre arter enn laksefisk, for disse forholder vi oss til publikasjonen (artikkel, rapport osv.) som enhet. Vi har også valgt å systematisere resultatene basert på tema, som risikofaktorer, avheling og så videre, slik at flere studier og publikasjoner vil bli omtalt gjentatte ganger i teksten.

4.2.2 Definisjoner og terminologi

En rekke ulike begreper ble brukt om forandringene observert i gjellelokkene hos laksefisk i de ulike studiene. Disse reflekterer antageligvis delvis forfatterens ulike forståelse av årsakene til forandringene i gjellelokk og delvis ulike årsaker til gjellelokkforandringer i de ulike studiene. Begrepene som brukes omfatter forkortelse, deformitet, abnormalitet, malformasjon, hypoplasi, dysplasi, skade, erosjon, abrasjon, degenerasjon og skjelettlidelser eller skjelettdeformiteter. Vi oppfatter begrep som gjellelokkforkortelse og deformitet eller abnormalitet som nøytrale begrep i den forstand at de uttrykker at gjellelokket er henholdsvis forkortet eller unormalt uten at årsaken til dette angis. Malformasjon eller misdannelse brukes fortrinnsvis om en deformitet, et avvik i struktur eller funksjon, som oppstår i løpet av utviklingen til dyret. Hos pattedyr er misdannelser oftest til stede ved fødsel (medfødte misdannelser), og hos mennesker brukes begrepene malformasjon, forstyrrelser, deformitet og sekvenser om misdannelser med ulike årsakssammenhenger (Kumar et al., 2015). Hypoplasi betyr underutvikling eller manglende utvikling av et organ eller vev (Blood et al., 1998), mens dysplasi referer til unormal organisering av cellene i et vev eller organ og oppstår også i løpet av utviklingen av organet. Bruken av begrepene malformasjon, misdannelse eller hypoplasi indikerer dermed at gjellelokkforandringene er en utviklingslidelse, og ikke direkte forårsaket av en mekanisk skade eller infeksjon som ødelegger et i utgangspunktet normalt vev. Degenerative sykdommer er ikke-infeksiøse sykdommer som karakteriseres av nedbrytning og tap av celler og/eller vev. Abrasjon eller erosjon brukes om skader på overflaten av et vev eller organ på grunn av irritasjon, slitasje, gnissing eller en betennelsesprosess. Ingen forfattere har brukt begrep som tydelig indikerer at gjellelokkforandringer har oppstått som følge av bittskader, som for eksempel bittskader

eller avulsjon (avrivning av en del av vev eller organ), selv om flere nevner at bittskader (napping) og aggresjon er en mulig eller sannsynlig forklaring på gjellelokkforandringene. I teksten under er forfatterens (AP2) eller informantens (AP3) egen terminologi brukt når resultatene gjengis og begrepet gjellelokkforandringer er brukt som et samlebegrep for alle mulige tilstander og morfologiske avvik i gjellelokkene.

4.2.3 Årsaker og risikofaktorer for forandringer i gjellelokk

I denne sammenheng brukes begrepet årsak om en eller flere nødvendige årsaker («necessary causes») til gjellelokksykdom der det finnes en kjent eller logisk biologisk årsaksmekanisme. Begrepet risikofaktor brukes om enhver faktor som kan øke sannsynligheten for gjellelokksykdom eller skade (Shader, 2019). Et eksempel på en årsak kan dermed være en genetisk mutasjon som fører til dannelse av deformerte gjellelokk eller aggresjon mellom fisk med bittskader som fører til forkortet gjellelokk. Faktorer som øker sannsynligheten for aggresjon som for eksempel utilstrekkelig førtildeling eller suboptimal karutforming er dermed risikofaktorer, men ikke årsaker, til forkortet gjellelokk.

<i>Risikofaktor/årsak</i>	<i>Antall studier</i>	<i>Eksempel</i>
<i>Drifts- og produksjonsrutiner</i>	16	Fisketetthet, vanntemperatur
<i>Ernæring</i>	8	Ulike nivåer av fosfor i fôret
<i>Hormoner</i>	7	T3, kortisol, somatotropin
<i>Genetikk</i>	9	Triploid, ulikt genetisk opphav
<i>Infeksiøse agens</i>	4	<i>Myxobolus cerebralis</i>
<i>Forgiftninger eller andre skadelig påvirkninger</i>	9	Stråling, eksponering for polysykliske aromatiske hydrokarboner

Tabell 1. Vitenskapelige studier som omhandler mulige årsaker eller risikofaktorer for gjellelokkforandringer hos laksefisk.

Det ble totalt identifisert 44 studier som beskriver mulige risikofaktorer eller årsaker til gjellelokkforandringer (tabell 1) hos laksefisk. Disse ble delt i seks hovedområder: Genetikk, hormoner, infeksiøse agens, drifts- og produksjonsrutiner, ernæring og til sist forgiftninger eller andre skadelige påvirkninger. Noen studier beskriver undersøkelse av faktorer fra flere hovedområder. En rekke ulike faktorer kan påvirke forekomsten av forandringer i gjellelokkene, men for laksefisk oppdrettet under norske forhold er drifts- og produksjonsrutiner, samt ernæring mest relevant, og vil derfor vektlegges mest i den påfølgende oppsummeringen.

Drifts og produksjonsrutiner

Totalt 16 studier beskriver sammenhenger mellom drifts- og produksjonsrutiner og gjellelokkforkortelse.

Anleggsutforming og anleggstype

I én studie ble forekomsten av gjellelokkforkortelse hos atlantisk laks holdt i kar med resirkulering (RAS) og gjennomstrømming (GS) undersøkt (Kolarevic et al., 2014). Lakseparr på 7 gram oppdrettet i GS ble plassert i 8 kar (4 RAS og 4 GS) ved samme forskningsanlegg og ble fulgt gjennom settefiskfasen og i 167 dager etter sjøsetting. Gjellelokkstatus ble undersøkt totalt 9 ganger i løpet av studien, og forekomsten av forkortet gjellelokk var høyere hos fisk fra GS på to tidspunkt; ved sjøsetting og i starten av sjøfasen (50 dager etter sjøsetting). Det var ikke signifikant forskjell i forekomsten på øvrige tidspunkt i sjøfasen eller settefiskfasen, og fisken hadde høyest forekomst av gjellelokkforkortelse ved starten av studien (dag 0).

Tetthet og fiskestørrelse

Tre studier beskriver sammenhengen mellom tetthet og gjellelokkforandringer. Fisketetthet per kubikk ble ikke oppgitt i noen av disse studiene. Larsen et al. (2015) fulgte startfôringsyngel holdt ved høy eller lav tetthet i 6 ulike kar på 2x2 m². Høy tetthet var 30 000 (7500 fisk m²) og ble redusert til 6000 (1500 fisk m²) etter hvert som fisken ble større (omtrent 4 måneder etter klekking), mens lav tetthet var initialt 10 000 (2500 fisk per m²) og deretter 2000 (500 fisk per m²). Forekomsten av gjellelokkforandringer ble undersøkt 12 måneder etter klekking og man fant signifikant høyere forekomst og alvorlighetsgrad av gjellelokkerosjon hos fisk holdt ved høy tetthet sammenlignet med lav tetthet. Det var ingen forskjell mellom de ulike karene med samme tetthet. I én studie (Kvernes, 1990) ved et kommersielt settefiskanlegg ble effekten av tetthet, bruk av biomatter i plast og tildekking av kar på forekomsten av gjellelokkforkortelse undersøkt. Biomatter var matter av perforert plast som skulle gi yngelen mulighet til å skjule seg. Atlantisk laks ble fulgt fra rogn til 101 dager/1200 døgngrader (d°) etter klekking og forekomsten av gjellelokkforkortelse ble undersøkt på 150 fisk fra hvert kar 70 dager/780 d° og 101 dager/1200 d° etter klekking. Åtte 1 m² kar (med og uten biomatter og/eller tildekking) hadde høy tetthet (15 000 yngel) og åtte kar hadde lav tetthet (5000 yngel). Etter 77 dager/860 d° ble halvparten av fisken fjernet fra hvert kar. Etter 70 dager/780 d° var det signifikant høyere forekomst av gjellelokkforkortelse blant fisken i kar med lav tetthet, men dette var ikke tilfellet ved andre prøveuttak. Ved første prøveuttak var det også flere fisk med tydelig gjellelokkforkortelse i kar med biomatter, mens ved andre prøveuttak så man kun en effekt av tildekking av karene, med lavere forekomst av gjellelokkforkortelse blant fisk fra tildekkede kar. I dette forsøket var forekomsten av gjellelokkforkortelse betydelig høyere blant forsøksfisken enn hos tilsvarende fisk i vanlig produksjon ved samme anlegg. Stress som følge av håndtering,

prøveuttak, ekstra rengjøring, fjerning av dødfisk og trafikk rundt karene ble nevnt som en mulig årsak.

I én studie med 4 fiskegrupper (4 kar) med atlantisk laks som fokuserte på effekten vanntemperatur på vekstraten ble det ikke funnet en korrelasjon mellom tetthet og prevalensen av gjellelokkerosjon (MacLean, 1999). I samme studie ble sammenhengen mellom størrelse og gjellelokkerosjon undersøkt på to ulike prøvetidspunkt, og man fant at fisk med gjellelokkforandringer i gjennomsnitt var større enn fisk med normale gjellelokk innad i samme fiskegruppe. Det er viktig å merke seg at i denne studien ble ikke fiskegrupper med ulik tetthet sammenlignet, men tettheten i alle karene endret seg over tid ettersom fisken vokste, og det ble også foretatt utsortering av fisk for å redusere tettheten i samtlige kar gjentatte ganger i løpet av studieperioden. Skipnes (2014) delte lakseparr ved et kommersielt settefiskanlegg i grupper basert på gjennomsnittsvikt (18, 21, 23 og 25 gram) og fulgte fisk i to kar per vektkategori i 12 uker med ukentlig undersøkelse av gjellelokkstatus. Samlet analyse av data fra alle undersøkelser viste at fire kar hadde signifikant høyere forekomst og alvorlighetsgrad av gjellelokkforkortelse enn de resterende fire karene. Disse inneholdt fisk fra tre ulike vektkategorier (18, 21, 23 gram), så det var ikke noe klar effekt av utgangsvikt på gjellelokkforkortelse.

Strøm

Det ble ikke funnet noen studier som beskriver effekten av ulike regimer for strømsetting på forekomsten av gjellelokkforandringer. Men 2 studier beskriver en sammenheng mellom strømretning og hvilken side gjellelokkforandringer oftest oppstår. Larsen et al. (2018) fant signifikant høyere alvorlighetsgrad av gjellelokkerosjon på høyre side, samme side som vendte inn mot sentrum av karet da strømmen gikk mot klokka. Tilsvarende rapporterer Blaker & Ellis(2022) om høyere forekomst av gjellelokkforkortelse på venstre side som vendte inn mot karet hos fisk holdt i kar med strømretning med klokka. Amoroso et al. (2016) fant også høyere forekomst av unilateral høyresidig enn venstresidig gjellelokkforkortelse i to studier på triploide og diploide atlantiske laks. Strømretningen i disse studiene ble ikke oppgitt, og i begge studier ble bilateral gjellelokkforkortelse observert mye hyppigere enn unilaterale forandringer. I en studie på atlantisk laks beskriver også MacLean (1999) mer alvorlig gjellelokkerosjon på høyre enn på venstre side, men heller ikke her hadde man oversikt over strømretningen i karene i studieperioden.

Totalgasstrykk

To studier av Jensen (1980) og (1988) beskriver effekten av totalgasstrykk på forekomsten av gjellelokkmalformasjoner hos regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss irideus*) yngel. I en studie ble triplikater av egg og yngel holdt ved ulike kombinasjoner av totalgasstrykk (100, 105 og 110 %) og oksygenivåer (50, 75, og 100 %) fra fertilisering til 72 dager etter klekking (Jensen

1988). I den andre studien ble 18 grupper av egg og yngel holdt ved ulike kombinasjoner av totalgasstrykk (102, 106 og 110 %), temperatur (8, 10 og 12°C) og hardhet av vannet (0, 10 og 100 mg/L CaCO₃). I begge studiene beskriver forfatteren at gassbobler dannes i munnhulen hos yngel omtrent fem dager (Jensen, 1988) og «tidlig» (Jensen, 1980) etter klekking hos yngel holdt ved et totalgasstrykk på 110 % og at dette fører til malformasjon av gjellelokk. Jensen (1988) rapporterer gjellelokkmalformasjoner i gjennomsnitt hos 0,8, 1,9 og 1,2 % av yngel holdt ved ulik oksygenmetning og totalgasstrykk på 110 %.

Oksygenmetningen påvirket ikke forekomsten av gjellelokkmalformasjoner og det var ingen signifikant forskjell i dødelighet blant yngelen holdt ved ulikt totalgasstrykk og oksygenmetning. I den tidligere studien (Jensen, 1980) ble gjellelokkmalformasjon og forøket dødelighet på 13 % kun observert hos yngelen holdt ved 110 % totalgasstrykk, 12°C og 10 mg/L CaCO₃. Gjellelokkforandringene kalles alvorlige vekstdeformiteter, men beskrives ikke nærmere. Forfatteren antyder at den forøkte dødeligheten kan skyldes kvelning på grunn av redusert vannstrøm over gjellene angivelig på grunn av gjellelokkmalformasjon. Gassbobler i munnhulen ble også observert hos andre yngelgrupper holdt ved 110 % totalgasstrykk, men disse utviklet verken deformerte gjellelokk eller hadde forøket dødelighet.

Fôringsrutiner

Effekten av fôringsrutiner er undersøkt i to studier av Larsen et al. (2018). I én studie ble to ulike strategier for spredning av fôr i karet undersøkt, enten en timer-kontrollert fôringsautomat plassert i hjørnet av karet i nærheten av vanninntaket slik at fôret ble distribuert av vannstrømmen, eller en lik, men modifisert automat plassert sentralt i karet. Den modifiserte automaten roterte og spredde fôret i hele karet. Det var to kar på 2x2 m² med omkring 22,000 atlantisk lakseyngel per fôringsstrategi. Fôringsfrekvensen, fôrmengden, fôrsammensetning og pelletkvalitet var lik. Det ble ikke funnet noen signifikant effekt av fôringsstrategi på forekomsten eller alvorlighetsgraden av gjellelokkerosjon. I én annen studie ble effekten av fôringsfrekvens undersøkt, og fôr ble tildelt 12 eller 48 ganger per dag fra en automat plassert i hjørnet av fire kar på 2x2 m² (2 kar per frekvens). Det ble igjen ikke vist noen effekt av fôringsfrekvens på forekomsten eller alvorlighetsgraden av gjellelokkerosjon. Fisketetthet ble ikke angitt i disse to studiene. I én tredje studie beskrev Kolarevic et al. (2013) høyere velferdsindeks (mindre skader) hos atlantisk laks som fikk fri tilgang til fôr (20 % overfôring i henhold til vekstprognose) sammenlignet med fisk som fikk restriktiv fôring (1/3 av full utfôring +20 % i henhold til vekstprognose). Velferdsindeksen var basert på en sum av velferdsscorer (finner, hud, gjellelokk, gjeller, deformiteter etc.), men omfanget av gjellelokkforandringer hos de ulike gruppene ble ikke oppgitt. I samme studie fant man ingen effekt av ulike ammoniakknivåer (0, 1, 8-9, 14-17, 32-35 µg L⁻¹ NH₃-N/0,1–25 mg L⁻¹ TAN) i vannet på velferdsindeksen.

Smoltifiseringsrutiner

I én studie på diploid og triploid atlantisk laks ble effekten av lysregime på forekomsten av gjellelokkforkortelse undersøkt (Taylor et al., 2012). For å produsere S0 smolt ble parr (6 kar) utsatt for LD 9.5:14.5 i åtte uker, mens S1 smolt (6 kar) ble eksponert for en simulert naturlig fotoperiode. Det ble påvist en signifikant høyere forekomst av deformiteter (gjellelokkforkortelse og deformiteter i ryggøyla) hos både triploid og diploid S1 smolt, men det var ikke signifikant forskjell mellom gruppene etter tre måneder i sjø. Sadler (2000; 2001) beskrev høyere forekomst av gjellelokkforkortelse hos diploid og triploid atlantisk laks smolt holdt i ferskvann, sammenlignet med fisk holdt i sjøvann, de siste to månedene før sjøsetting. Studiepopulasjonen bestod av fire kar med laks med forskjellig ploiditet (triploid og diploid) og kjønns sammensetning (kun hunnkjønn eller begge kjønn) holdt under identiske forhold frem til en vekt på 80 gram. På det tidspunktet ble hver fiskegruppe delt i to og halvparten ble holdt i ferskvann i det opprinnelige anlegget i ytterligere to måneder før sjøsetting, mens den andre halvparten ble flyttet til et annet anlegg. I tillegg til forskjellene i salinitet, var det også forskjell karutforming og størrelse, vanntemperatur og fisketetthet mellom disse anleggene.

Vanntemperatur

Det ble identifisert 3 studier som beskriver effekten av inkubasjonstemperatur og 2 studier som beskriver effekten av vanntemperatur på yngel eller senere livsstadier. I én studie av Eriksen et al. (2007) ble rogn fra atlantisk laks holdt ved 8,0°C ($\pm 0,3^\circ\text{C}$) eller 10,0°C ($\pm 0,2^\circ\text{C}$) fra befruktning til startfôring. Vanntemperaturen var 12°C fra 810 d° til 1530 d° og 8°C fra 1530 d° og til avslutningen av eksperimentet. Forekomsten av malformasjoner ble undersøkt hos 50-60 individer per gruppe ved klekking, startfôring, 1730 d° og 2842 d° (omtrent 4 og 8,5 måneder etter klekking). Det ble ikke påvist noen signifikant forskjell i forekomsten av malformasjoner, i all hovedsak gjellelokkdeformiteter, hos fisk inkubert ved ulike temperaturer. I en annen studie ble rogn med lavt eller høyt vitamin A innhold inkubert ved enten 8°C eller 14°C fra og med 133 d° etter befruktning og frem til startfôring (Ørnsrud et al., 2004). Fra og med startfôring ble fire fiskegrupper holdt ved samme temperatur og laksen ble undersøkt for deformiteter ved 3 gram, 20 gram, før sjøsetting og ved slutten av studien (vekt omkring 1,3 kilogram). 140-190 fisk per gruppe ble undersøkt, de aller fleste ved studieslutt. Det var en signifikant høyere forekomst av gjellelokkforandringer hos fiskegrupper inkubert ved høy temperatur (~30 %) sammenlignet med fiskegrupper inkubert ved lav temperatur (<10 %). Det ble beskrevet fullstendig tap av gjellelokket eller at gjellelokket var bøyd og foldet bakover noe resulterte i en hard klump av beinvev. I begge tilfeller førte gjellelokkforandringene til eksponering av underliggende gjellevev. Jensen (1980) holdt regnbueørret rogn og deretter yngel ved ulike kombinasjoner av vanntemperatur (8, 10 og 12°C), hardhet av vannet (0, 10 og 100 mg/L CaCO₃), og totalgasstrykk (102, 106 og 110 %), og beskrev kun gjellelokkmalformasjoner og forøket dødelighet ved tidspunktet for resorpsjon av plommesekken hos yngel holdt ved 110 % totalgasstrykk, 12°C og 10 mg/L

CaCO₃. Det var altså ingen (gjennomgående) effekt av vanntemperatur på forekomsten av gjellelokkforandringer.

I én studie ble triploide og diploide atlantiske laks på omkring 8 gram og 2514 d° plassert i to ulike resirkuleringssystem (RAS) med vanntemperatur på 14 °C eller 18 °C (Amoroso, Adams, et al., 2016). Fisken ble fordelt i 12 kar (seks kar per temperatur) og undersøkt med tanke misdannelser i skjelettet hver 13ende dag fem ganger. Forekomsten av gjellelokkforkortelse (venstre, høyre og bilateral) var ikke signifikant forskjellig hos fisk holdt ved ulik vanntemperatur, og det ble heller ikke funnet noen effekt av interaksjonen mellom ploiditet og vanntemperatur på forekomsten av gjellelokkforkortelse. I en annen studie ble atlantisk laks enten holdt kontinuerlig i et kommersielt settefiskanlegg eller flyttet til et forskningsakvarie og holdt tre uker i vann med en temperatur på omkring 8,3°C (±0,02°C) og deretter flyttet tilbake igjen (MacLean, 1999). I settefiskanlegget var temperaturen i starten av perioden stabil på 12,4°C (±0,2°C), men etter hvert som man avsluttet oppvarming av inntaksvannet var gjennomsnittstemperaturen 15,5°C (±0,3°C) med minimum på 8,0°C og maksimum på 21,6°C. Fiskegruppene ble undersøkt for gjellelokkerosjon på åtte ulike tidspunkt. Det var forskjeller i forekomsten av gjellelokkerosjon mellom fiskegruppene i studien på enkelte prøveuttak, men ikke på andre og samtlige grupper hadde lignende mønster i forekomsten av gjellelokkforandringer. Det var ingen fisk med gjellelokkerosjon på de første tidspunktene (oppstart i april), deretter ble det registret en økende forekomst i løpet av våren før forekomsten falt i løpet av høsten. Analyse for forskjeller mellom fiskegruppene på tvers av prøveuttak ble ikke presentert og det fremkom ikke klart om det var en forskjell mellom fiskegruppa som ikke var utsatt for kaldere vann og gruppene som hadde vært i kaldere vann i tre uker.

Vaksinering

Det ble ikke vist noen effekt av vaksinasjonsstatus på forekomsten av gjellelokkdeformiteter etter 14 måneder i sjø i én studie der atlantisk lakseparr fikk en multivalent olje-adjulant vaksine (Norvax® Compact 6) eller forble uvaksinerte kontroller (Fjellidal et al., 2012).

Ernæring

Totalt ble det funnet 8 studier som beskriver sammenhenger mellom ernæring og forkortelse eller deformiteter av gjellelokkene. De fleste av studiene har satt søkelys på fôrets innhold av (biotilgjengelig) fosfor, som er essensielt for mineralisering og utvikling av beinvev. I tillegg til disse studiene er studier som omhandler fôringsstrategier beskrevet under avsnittet om drift og produksjonsrutiner.

Peruzzi et al. (2018) beskrev forekomst av gjellelokkdeformiteter fra startfôring til smoltifisering i en studie med diploid og triploid laks tilbudt fôr med høyt innhold av fosfor (18 g/kg), og der hovedproteinkilden var enten fiskemel eller en kombinasjon av fiskemel og

hydrolysert fiskeprotein. Deformerte gjellelokk ble observert i 5-10 % av fisken i parrstadiet, men det var ingen signifikante forskjeller i forekomst mellom fiskegruppene. Fjelldal et al. (2012) beskrev forekomst av gjellelokkdeformiteter i en studie med vaksinert eller uvaksinert laks tilbudt to ulike smoltfôr i tre måneder etter sjøutsett, med henholdsvis 0,6 og 0,8 % tilgjengelig fosfor, før begge diettgruppene fortsatte på en standard kommersiell diett i 11 måneder til. Ved forsøkslutt var forekomsten av gjellelokkdeformiteter generelt lav (1,3 %), og det ble ikke registrert signifikante effekter av hverken diett eller vaksine. I en studie med postsmolt laks ble fosformangel induisert eksperimentelt ved å redusere forfornivået i dietten med om lag 50 % (fra 0,99 til 0,47 % fosfor) (Witten et al., 2016). Laks som ble tilbudt den fosformangelholdige dietten viste kjente kliniske tegn på fosformangel, inkludert redusert vekst og myke, bøyelige gjellelokk. I en lignende studie av Bæverfjord et al. (1998) ble fosformangel induisert eksperimentelt hos laks i både fersk- og saltvann. Ekstrem mykhet i gjellelokkene ble observert hos fisk som fikk 3,5 g/kg fosfor i dietten, der gjellelokkene kunne bøyes mer enn 90° tilbake uten å brette, noe som var umulig hos fisk som fikk 9,0 g/kg fosfor i fôret. Deschamps et al. (2016) induiserte også fosformangel hos juvenile triploide regnbueørret ved å gi et fôr med 0,26 % fordøyelig fosfor og beskrev en generalisert demineralisering av beinvev, med ekstremt myke gjellelokk og blant annet deformiteter i ribbein og ryggsøyle.

Et utbrudd av alvorlige skjelettdeformiteter, såkalt «screamer disease» ble rapportert av Roberts et al. (2001). Observasjonene ble gjort i laksesmolt av utenlandsk opprinnelse i Chile i 1998 og 1999. Blant de kliniske tegnene var ekstrem mykhet i gjellelokkene. Basert på de kliniske og histopatologiske funnene, samt fôranalyser, ble det konkludert med at den mest sannsynlige årsaken til tilstanden var smoltifisering av fisken under svært høye sjøvannstemperaturer, i kombinasjon med et fôr som muligens var mangelfullt på fosfor- og vitamin C for hurtigvoksende stammer. Gjellelokkdeformiteter er et av de velkjente kliniske symptomene som ofte opptrer ved vitamin C-mangel hos fisk, som for eksempel vist i Coho laks og regnbueørret av Halver et al. (1969) allerede i 1969. I tillegg ble det blant annet observert deformiteter i ryggsøyle og gjellefilamenter, og redusert sårheling.

I en studie med regnbueørret der formålet var å fastsette øvre trygt nivå av den essensielle aminosyren leucin, rapporterte Choo et al. (1991) deformert gjellelokk i 20 % av fisken som ble tilbudt fôr med det høyeste leucinnivået (13,4 %). Forfatterne tolket dette som en toksisk effekt av leucin-overlast.

Hormoner

Syv studier beskriver effekten av hormoner på gjellelokkforkortelse og deformiteter. Fem av disse studiene omhandler effekten av eksogent thyroidhormon (triiodothyronin - T3), enten alene (Saunders et al., 1985; Sullivan, 1986), i kombinasjon med estradiol (Hegeman &

Marlatt, 2021) eller gitt til fisk transgene for veksthormon (somatotropin (GH)) (Kang & Devlin, 2003), mens en studie beskriver effekten av GH alene (Devlin et al., 1995). Disse studiene viser at fisk som får eksogent tilført T3 i fôret (≥ 20 ppm) eller tilsatt i vannet (65 $\mu\text{g/L}$) utvikler deformerte og overvokste gjellelokk. Den relative lengden gjellelokket i forhold fiskelengden øker og den bakre randen av gjellelokket krøller seg utover og forover sånn at underliggende gjellevev blir eksponert (Hegeman & Marlatt, 2021; Saunders et al., 1985). Sullivan (1986) beskriver også økt tykkelse av bruskevev på hodet og proliferasjon av bindevev. Estradiol alene hadde ingen effekt på utviklingen av gjellelokket (Hegeman & Marlatt, 2021). Coho laks (sølv laks) transgene for veksthormon utviklet deformiteter med overvekst av bruskevev og fortykket og forstørret kranie, kjeve og gjellelokk som også var forbundet med dødelighet (Devlin et al., 1995). Eksogent T3 forverret misdannelsene og bruskeoverveksten i GH-transgene laks, mens legemiddelet propylthiouracil (PTU) som hemmer aktiviteten i skjoldbruskkjertelen forhindret utviklingen av misdannelsene (Kang & Devlin, 2003).

Én studie beskriver effekten av kortisoneksponering hos hunnstamlaks på utviklingen av gjellelokkdeformiteter hos avkommet (Eriksen et al., 2007). I denne studien ble stamfisk injisert med olje (kontroll), 50 eller 100 milligram kortisol per kilo og befrukta rogn ble inkubert ved 8 eller 10°C. Forekomsten av malformasjoner ble undersøkt hos 50-60 individer per gruppe ved klekking, startfôring, 1730 d° og 2842 d° (omtrent 4 og 8,5 måneder etter klekking). Forandringer i gjellelokk ble ikke observert ved klekking eller startfôring, men ved 1730 d° hadde yngel fra stamfisk injisert med kortison signifikant høyere forekomst av deformiteter, som nesten utelukkende var anormale gjellelokk. Ved 2842 d° fant man ingen forskjell i forekomst av deformiteter mellom kortisonbehandlet og kontrollfisk.

Genetikk

Det var 9 separate studier der genetiske faktorer og gjellelokkforandringer ble undersøkt. 7 studier omhandler sammenhengen mellom ploiditet og forekomst av gjellelokkforandringer hos atlantisk laks. I 6 studier fant man ingen signifikant sammenheng mellom ploiditet og forekomsten av gjellelokkforkortelse og/eller deformerte gjellelokk (Amoroso, Adams, et al., 2016; Fraser et al., 2013; Peruzzi et al., 2018; Sutterlin et al., 1987; Taylor et al., 2012), og i en av disse studiene fant man heller ingen effekt av interaksjonen mellom vanntemperatur og ploiditet på forekomsten av gjellelokkforkortelse (Amoroso, Adams, et al., 2016). I én studie var forekomsten av gjellelokkforkortelse signifikant høyere hos triploide sammenlignet med diploide atlantiske laks (Sadler, 2000; Sadler et al., 2001). Sadler et al. (2000; 2001) undersøkte også om kjønn (kun hunnkjønn eller blanding av begge kjønn) hadde en effekt på forekomsten av gjellelokkforkortelse hos diploid og triploid atlantisk laks og fant ingen signifikant effekt av kjønnssammensetning.

I én studie ble det laget hybrider av atlantisk laks og brunørret (♀ ørret x ♂ laks og ♀ laks x ♂ ørret) (Kirczuk & Domagala, 2009). Hybridene ble sluppet fri i et avgrenset vassdrag og i løpet av vekstperioden ble fisk fra 4 til 24 måneders alder fanget og undersøkt for deformiteter. Deformiteter av gjellelokk omfattet tap eller forkortelse av knoklene som utgjør gjellelokket og/eller branchiostegal membranen eller endret form med «overvekst» og fortykkelse av branchiostegal membranen i ventral retning. Gjellelokkforandringer ble funnet i 27 % ♀ ørret x ♂ laks og 22 % av ♀ laks x ♂ ørret. Det var ikke inkludert ren atlantisk laks eller brunørret som kontrollfisk i forsøket.

I én studie fra Litauen ble forekomsten av gjellelokkforandringer hos domestisert atlantisk laks fra Polen og vill atlantisk laks fra elven Nemunas (synonym Neman og Niemen) undersøkt (Kazlauskienė et al., 2006). Fra og med øyerognstadiet ble rogn og yngelen holdt under samme forhold, men i to ulike kar. 40 fisk per kar ble undersøkt på to tidspunkt og man fant mye høyere forekomst av gjellelokkmalformasjoner hos villaksen enn den domestiserte laksen. Hos villaks var prevalensen av unilaterale og bilaterale gjellelokkforandringer 81,9 % og 86,7 % hos henholdsvis yngel og parr, mens hos domestisert laks ble det kun observert bilaterale forandringer på 1,2 % av yngelen og 2,0 % av undersøkt parr.

Infeksiøse agens

Infeksiøse årsaker til forandringer i gjellelokket hos laksefisk beskrevet i litteraturen inkluderer *Gyrodactylus* sp., *Myxobolus cerebralis*, *Arcobacter cryaerophilus* og *Candida sake* (Metin et al., 2020; Poynton & Bennett, 1985; Taylor & Haber, 1974; Yildiz & Aydin, 2006). Gjellelokkforandringer i fisk med *Arcobacter cryaerophilus* og *Candida sake* infeksjon ble i begge tilfeller karakterisert som degenerasjon av gjellelokket, uten at forandringene ble nærmere beskrevet (Metin et al., 2020; Yildiz & Aydin, 2006). Det ble rapportert om patologiske forandringer i andre organsystemer i begge studiene. *Gyrodactylus* sp. infestasjon førte til skade og irritasjon på gjellelokkene hos oppdrettet brunørret og regnbueørret fra små oppdrettsanlegg ved elva Itchen i England (Poynton & Bennett, 1985). Infeksjon med parasitten *Myxobolus cerebralis* er årsaken til dreiesyke (engelsk «whirling disease») og infiserer og bryter ned bruskvev. Taylor & Haber (1974) observerte 1-3 millimeter i diameter store cyster på innsiden (mediale flate) av gjellelokket hos strupesnittørret (angitt som *Salmo clarki henshawii*, engelsk Cutthroat trout) som var infisert med *Myxobolus cerebralis*. Forfatterne beskriver at cystene ligger i underhuden og at cysteveggen bestod av små blodkar, bindevevsceller og betennelsesceller (granulomatøs betennelse), mens det var parasitter og acellulært materiale sentralt. Forandringer i bruskvev ble også beskrevet.

Forgiftninger eller andre skadelige påvirkninger

Forgiftninger og andre skadelige påvirkninger kan føre til forkortet gjellelokk eller andre deformiteter av gjellelokket, men de fleste av påvirkningene er det lite sannsynlig at oppdrettet laksefisk skal utsettes for. Dioksin (2,3,7,8 tetraklordibenzo-p-dioksin) (Helder, 1981) og polysykliske aromatiske hydrokarboner (retene) (Billiard et al., 1999) er vist å kunne påvirke forekomsten av gjellelokkforkortelse eller gjellelokkdefekter, mens effekten av eksponering for stråling (Donaldson & Bonham, 1964; Gunstrom, 1973) er mer uklar. Traumatiske skader på gjellelokket som følge av å bli fanget i kilenot (Havn et al., 2023) eller utsatt for kraftige vannstråler (Guensch et al., 2003; Neitzel et al., 2004) er også beskrevet i to studier. Gjellelokkforandringer satt i sammenheng med gassovermetning og skader fra gassbobler er beskrevet i avsnittet om «Totalgasstrykk» over.

Risikofaktorer og årsaker til gjellelokk forandringer hos andre fiskearter

Drifts- og produksjonsrutiner

Vanntemperaturen ved inkubering og tidlige livsstadier påvirket forekomsten av deformiteter i gjellelokk (Cadiz et al., 2018) og branchiostegalstråler (Georgakopoulou et al., 2007) hos havabbor. Fisk holdt ved 15°C hadde høyere forekomst av bilaterale gjellelokkdeformiteter og deformerte branchiostegalstråler enn fisk holdt ved 20°C, mens de hadde høyere forekomst av unilaterale gjellelokkdeformiteter. I en annen studie (Abdel et al., 2004) ble det funnet signifikant høyere forekomst av malformasjoner generelt hos havabbor holdt ved 19°C i forhold til 15°C. Både unilaterale og bilaterale gjellelokkforandringer hadde høyere forekomst ved høy temperatur, men det var uklart om disse forskjellene var signifikante. I en studie der gyllen havkaruss holdt ved 16, 19 eller 22°C i ulike tidsrom i tidlige livsstadier ble det funnet høyest forekomst av gjellelokkdeformiteter hos fisk holdt ved 16°C (Georgakopoulou et al., 2010). Effekten av ulike oksygennivåer på forekomsten av gjellelokkforandringer er undersøkt i to studier på havabbor og gyllen havkaruss. Cadiz (2018) fant økt risiko for unilaterale og bilaterale gjellelokkdeformiteter blant havabbor utsatt for hypoksi (40 % luftmetning, 2,95-3,2 mg O₂/L) i larvestadiet sammenlignet med fisk holdt ved 100 % luftmetning, 7,35-8,2 mg O₂/L. Vermeulen (2023) fant ikke signifikant forskjell i prevalensen av gjellelokkdeformiteter hos gyllen havkaruss holdt 80 % eller 100 % oksygenmetning (5,6, 6,8 and 14 mg O₂/L) fra 7 til 20-55 dager etter klekking. Fisk holdt ved 200 % oksygenmetning og 14 mg O₂/L hadde derimot signifikant høyere forekomst av gjellelokkdeformiteter.

Når det gjelder oppdrettsform er det beskrevet høyere forekomst av deformerte gjellelokk hos gjørs oppdrettet i RAS-anlegg sammenlignet med fisk oppdrettet i dammer eller i en

kombinasjon av RAS og dammer (Policar et al., 2016). Av andre tiltak fant Fraser og de Nys (2011) ingen effekt av eksponering for UV-lys på forekomsten av gjellelokkdeformiteter hos barramundi, mens Chen & Chen (2001) beskriver en positiv effekt på helse og gjellelokkforandringer hos akvariefisken blodpapegøyesiklider (hybrid av *Cichlasoma citrinellum* x *C. synspilum*) ved tilsetning av *Bacillus* sp. (*Bacillus subtilis* and *B. megaterium*) i vannet. I én studie som undersøkte evnen til selvføring blant røye (*Salvelinus leucomaenis*) med eller uten regnbueørret i karene fant man ingen effekt av tilstedeværelsen av regnbueørret på forekomsten av gjellelokkerosjon hos røyene (Noble et al., 2012). I én studie på intensivt oppdrettet peledsik (*Coregonus peled*) rapporterte forfatterne om en gjennomsnittlig prevalens av gjellelokkdeformiteter på 12,9 %, men forekomsten blant fisk holdt ved mindre intensiv drift ble ikke rapportert (Stejskal et al., 2018).

Ernæring

En rekke studier for behovfastsettelse av essensielle mikronæringsstoffer er gjennomført for ulike fiskearter, der for lite eller for mye av enkelte vitaminer og mineraler i fôret kan påføre fisken mangeltilstander eller overlast/forgiftninger. Mangel på vitamin C i fôret er rapportert å gi mangelsymptomer som deformerte, manglende, (inn-) foldede eller forkorta gjellelokk, og andre sykdomstegn blant annet deformiteter i ryggstøyle, kjeve og kraniet, beinbrudd («broken back syndrome») og blødninger hos meksikansk mojarra, oscar, barramundi, karpe og grouper (Chávez de Martínez, 1990; Fracalossi et al., 1998; Fraser & De Nys, 2011; Imanpoor et al., 2017; Phromkunthong et al., 1993). Mangel på vitamin A kan føre til økt forekomst av gjellelokkdeformiteter (Guimarães et al., 2014; Tutas et al., 2013) eller forvrengte gjellelokk (Aoe et al., 1968) hos tilapia, melkefisk og karpe, men blødninger, mørk farge, letargi, redusert tilvekst, finneerosjon og andre skjelettdeformiteter er også beskrevet (Guimarães et al., 2014). For mye vitamin A er også forbundet med økt forekomst av gjellelokkdeformiteter hos gyllen havkaruss, senegalese sole (*Solea senegalensis*) og melkefisk (Fernández et al., 2008; Fernández et al., 2009; Tutas et al., 2013; Villeneuve et al., 2005), samt deformiteter i splanchnokraniet, ryggvirvler og halefinne (Fernández et al., 2008; Villeneuve et al., 2005). Forkorta gjellelokk, utstående øyne og muskeldystrofi ble beskrevet hos koreansk uer gitt fôr uten tilsatt vitamin E (Bai & Lee, 1998), mens manglende tilsetning av vitamin D3 i fôret ikke hadde noen effekt på forekomsten av gjellelokkdeformiteter hos barramundi (Fraser & De Nys, 2011). Mangel på fosfor i dietten førte til mangeltilstand med bilateralt deformerte, myke og bøyelige gjellelokk, skoliose og gapende munn hos japansk flyndre (Uyan et al., 2007).

Effekten av ulike fôrtyper, fôrformuleringer og fôrtilsetninger på gjellelokkforandringer og deformiteter er undersøkt hos melkefisk, havabbor, gyllen havkaruss, japansk flyndre, yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*), pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*) og lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*). Ulike konsentrasjoner av fosfolipider tilsatt i fôret til japansk flyndre påvirket ikke forekomsten av deformiteter i gjellelokkene, og det var ingen

interaksjon mellom fosfolipidkonsentrasjon og fosfornivå i fôret på forekomsten av gjellelokkdeformiteter (Uyan et al., 2007). Melkefisklarver gitt dietter beriket med flerumettede fettsyrer (Gapasin et al., 1998), vitamin C og flerumettede fettsyrer (Gapasin et al., 1998) eller tilsatt docosahexaensyre (DHA, en langkjedet, marin omega-3-fettsyre) (Gapasin & Duray, 2001) hadde lavere forekomst av gjellelokkdeformiteter, hovedsakelig spaltet branchiostegalmembran, sammenlignet med larver som fikk kontroldietter. Det ble derimot ikke sett en forskjell i forekomst av gjellelokkdeformiteter hos yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) som fikk ulike proporsjoner av fiskeolje, olivenolje og langkjedede flerumettede fettsyrer i dietten (Toledo et al., 2024). Tilsetning av ulike ratioer av fosfatidylkolin til fosfatidylinositol i dietten til hos gyllen havkaruss hadde ingen klar effekt på forekomsten av gjellelokkdeformiteter (Sandel et al., 2010). Det er beskrevet lavere forekomst av deformerte branchiostegalstråler og folding av gjellelokket inn mot gjellehulen hos havabborlarver gitt fôr tilsatt 12 % små peptider (Printzi et al., 2024), samt lavere forekomst av gjellelokkmalformasjoner hos havabbor yngel som fikk fôr med tilsatt levende eller varmeinaktiverede melkesyrebakterier (*Lactobacilli*) (Frouël et al., 2008). Ulike kommersielle dietter gitt til pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*) yngel påvirket ikke forekomsten av forkorta og deformerte gjellelokk (Ostrowski et al., 1996). Det var høyere forekomst av gjellelokkmalformasjon blant lake whitefish (*Coregonus clupeuformis*) yngel fôret med startfôr beregnet på ørret eller *Artemia* cyster i stedet for *Artemia* nauplii (Drouin et al., 1986). I et annet forsøk med samme art var det høyere forekomst av gjellelokkdeformiteter hos yngel gitt et kommersielt startfôr beregnet på laks. I dette tilfelle ble ujevn partikkelstørrelse og ulikt næringsinnhold og opptak av fôrpartiklene av ulik størrelse foreslått som en mulig årsak (Harris & Hulsman, 1991).

Hormoner

Storhodet ørekyte eksponert for glukokortikoidet deksametason i vannet (500 µg/L) under inkubasjon og etter klekking hadde høyere forekomst av gjellelokkdeformiteter (og andre deformiteter) sammenlignet med kontrollfisk og fisk eksponert for 50 µg/L (LaLone et al., 2012). Tilsvarende hadde tilapia eksponert for 17β-estradiol and 17α-ethinylestradiol i rogn og yngelstadiet høyere forekomst av gjellelokkmalformasjon sammenlignet med kontrollfisk (Passos Neto et al., 2022). Tilsetning av melatonin i fôret til tidlige livsstadier av gyllen havkaruss hadde derimot ingen klar effekt på forekomsten av gjellelokkkanomalier (Mhalhel et al., 2020).

Genetikk

I en studie der oppdrettet og villfanget melkefisk holdt under samme forhold ble det rapportert om høyere forekomst av gjellelokkforandringer hos oppdrettet fisk (Hilomen-Garcia, 1997). Forekomsten hos ulike grupper oppdrettet fisk varierte fra 3-26 %, og den villfangede fisk ble fanget som yngel, så rogn og tidlig yngelstadier hadde ikke identiske forhold. En rekke studier på gyllen havkaruss undersøker arvbaheten til

gjellelokkforandringer hos denne arten. Arvbarhet (synonym heritabilitet) er et mål på hvor mye av variasjonen i en egenskap i en populasjon, i dette tilfellet gjellelokkforandringer, som skyldes genetisk variasjon. Arvbarheten varierte fra lav (Castro et al., 2008; Lee-Montero et al., 2015; Negrín-Báez et al., 2015) til moderat (García-Celdrán et al., 2016; García-Celdrán et al., 2015; Negrín-Báez et al., 2015) i de ulike studiene. Lee-Montero (2015) beskriver en moderat og positiv genetisk korrelasjon mellom vekst og deformiteter hos gyllen havkaruss, noe som indikerer at avl for økt vekst kan gi økt forekomst av deformiteter. Samme forfatter fant en svak interaksjon av genetikk og miljø på forekomsten av deformiteter generelt. Quantitative trait loci (QTL'er) for manglende gjellelokk hos gyllen havkaruss er også rapportert (Negrín-Báez et al., 2016). Arvbarheten for gjellelokkforandringer også undersøkt hos barramundi (Yue et al., 2022) og yellowtail kingfish (*Seriola lalandi*) (Nguyen et al., 2016). Til sist er reduksjon av gjellelokket en del av den dødelige tilstanden caudal deformity syndrome (CDS) hos tilapia som trolig skyldes en autosomal recessiv mutasjon (Mair, 1992).

Infeksiøse agens

Infeksjon med *Streptococcus agalactiae* og deformerte gjellelokk og andre deformiteter ble observert i avkommet fra en tilapia hannfisk eksperimentelt infisert med bakterien (Pasnik et al., 2007). Denne fisken hadde også deformerte gjellelokk og ryggstøyle. Chen & Chen (2001) hevder at infeksjon med *Aeromonas hydrophila* og andre gram-negative bakterier kan føre til misdannelse av gjellelokk på grunn av svulne gjellefilamenter, men presenterer ingen engelskspråklige studier eller data som underbygger disse påstandene.

Forgiftninger eller andre skadelige påvirkninger

Forandringer i gjellelokkene alene eller i kombinasjon med andre deformiteter er rapportert blant i ville fiskebestander utsatt for forurensning og i eksponeringsforsøk med kjemikalier. Forkortet gjellelokk og kraterdannelse eller hull i gjellelokkene er rapportert hos abbor utsatt for utslipp fra tremasseproduksjon (Lindesjö et al., 1994), mens forvilledde gullfisk utsatt for utslipp fra tremasseproduksjon og bleking (organoklorider og andre biprodukter) utviklet fysiske deformiteter, i all hovedsak eroderte og malformerte gjellelokk (Sharples et al., 1994). Eksponering for forurenset vann (ikke nærmere spesifisert) ble satt i sammenheng med deformiteter hos brasme, men det var uklart om dette også gjaldt for gjellelokkforandringer eller bare skjelettdeformiteter generelt (Slooff, 1982). Avkom av storhodet ørekyte eksponert for fluoranten (et polysyklisk aromatisk hydrokarbon (PAH)) hadde høy forekomst (54 %) av misdannede gjellelokk, og lignende forandringer ble ikke rapportert hos kontrollfisk (Schlueter et al., 1997). Sebrafisk utsatt for kadmium fra 3 til 6 dager etter befruktning hadde redusert vekst av beinvevet i gjellelokkene sammenlignet med ueksponerte kontroller, og ved 20 dager etter fertilisering ble det observert en økning i skjelettdeformiteter hos eksponerte sebrafiskyngel (Tarasco et al., 2019). Sebrafisk eksponert for 0,6, 0,82 og 1,15 mg/L av insektmiddelet broflanilid i vannet i 96 timer hadde

økt forekomst av deformerte gjellelokk og deformert ryggstøyle (Wang et al., 2022). Det ble også observert vevsskade i lillehjernen, endret funksjon i hjernen og endret atferd.

4.2.4 Utvikling av gjellelokkforandringer over tid

Når gjellelokkforandringer først ble registrert i de ulike studiene varierer betydelig, og har også sammenheng med hvor gammel fisken var da studien startet og når gjellelokkene ble undersøkt for første gang. Det var relativt få studier der utviklingen av gjellelokkforandringer ble systematisk registrert helt fra klekking, men Eriksen et al. (2007) undersøkte atlantisk laks ved klekking og startfôring og fant ingen yngel med unormale gjellelokk på disse tidspunktene. Deformerte gjellelokk ble først registrert på 1730 d° etter klekking. Sadler (2000; 2001) undersøkte yngel på 14 tidspunkt gjennom ferskvannsfasen og observerte også de første tilfellene gjellelokkforkortelse etter startfôring (>1510 d° etter klekking). Tilsvarende beskriver Kazlauskienė et al. (2006) at gjellelokkforandringer først ble observert omkring åtte dager etter påbegynt startfôring (58 dager etter klekking). Kvernes (1990) beskriver gjellelokkforkortelse på 70 dager/780 d° etter klekking og Amoroso (2016) rapporterte tidligste observasjon av gjellelokkforkortelse ved 1 uke etter startfôring (932 d°). I ytterligere to andre studier ble lakseyngel undersøkt fra to uker etter klekking med første observasjon av gjellelokkerosjon 8 uker etter startfôring (MacLean, 1999) eller fra 95 dager etter klekking med første observasjon av gjellelokkforkortelse 157 dager etter klekking (Blaker & Ellis, 2022). Resterende forfattere angir funn av gjellelokkforandringer ved første undersøkelse på 3 måneder (Strand & Finstad, 2006) eller 1390 d° (Peruzzi et al., 2018) etter startfôring, eller hos yngel eller parr som veide 70 gram (Fjelldal et al., 2007), 18-25 gram (Skipnes, 2014), 12 gram (Amoroso, Cobcroft, et al., 2016), 8 gram (Amoroso, Adams, et al., 2016), 7 gram (Kolarevic et al., 2014) eller 3 gram (Ørnsrud et al., 2004).

I kontrast til disse resultatene finnes det to studier der gjellelokkforandringer er observert før startfôring. Marty et al. (1997) undersøkte 3722 pukkellaks startforingsyngel og fant at 0,67 % hadde gjellelokkhypoplasi eller dysplasi. Gunstrom (1973) undersøkte avkom fra bestrålte og ubestrålte Coho laks og fant forkortede gjellelokk og andre deformiteter hos begge grupper yngel før startfôring. I ytterligere tre studier der fisk ble eksponert for toksiske stoffer eller hormoner (transgene fisk eller eksogent tilførte hormoner) ble også forandringer i gjellelokk før startfôring beskrevet (Billiard et al., 1999; Devlin et al., 1995; Hegeman & Marlatt, 2021). Det var uklart når forandringer oppstod i gjellelokkene hos regnbueørret holdt ved høyt totalgasstrykk (Jensen, 1980, 1988).

Det var totalt 18 studier der gjellelokkstatus hos fisk med «naturlig forekommende» gjellelokkforandringer ble undersøkt mer enn 1 gang, og man dermed kunne si noe utviklingen av gjellelokkforandringer over tid. Samtlige av disse studiene er utført på atlantisk laks og følger fisken i settefiskfasen (12 studier), både settefisk og sjøfasen (4

studier) eller bare sjøfasen (2 studier). Antallet registreringer av gjellelokkstatus i hver studie varierer fra 2 til 14 tidspunkt. Av studiene som omhandlet ferskvannsfasen beskrev 9 studier en reduksjon i forekomsten av gjellelokkforandringer i løpet av studieperioden (Amoroso, Adams, et al., 2016; Amoroso, Cobcroft, et al., 2016; Eriksen et al., 2007; Kolarevic et al., 2014; MacLean, 1999; Peruzzi et al., 2018; Skipnes, 2014; Strand & Finstad, 2006; Taylor et al., 2012). Fiskegruppene i disse studiene gjennomgikk 2 til 12 undersøkelser, og tidsrommet fisken ble fulgt varierte fra uker til over ett år. To studier beskrev en økning i forekomsten av gjellelokkforandringer over tid i ferskvannsfasen. I begge studiene ble forekomsten av gjellelokkforandringer registrert 2 ganger, med siste tidspunkt for undersøkelse av gjellelokk ved 1200 d° (Kvernes, 1990) eller 7 måneder (Kazlauskienė et al., 2006) etter klekking. Fem studier beskrev en stabil forekomst av gjellelokkforkortelse (Fjellidal et al., 2007; Ørnsrud et al., 2004) eller variasjon av forekomst over tid uten en tydelig økning eller reduksjon (Amoroso, Adams, et al., 2016; Blaker & Ellis, 2022; Sadler, 2000; Sadler et al., 2001). Fiskegruppene i disse studiene gjennomgikk 4 til 14 undersøkelser for gjellelokkstatus, og tidsrommet fisken ble fulgt varierte fra 2 måneder til over ett år. To av fire studier der fisk ble fulgt fra ferskvannsfasen og hele eller deler av sjøfasen beskrev en reduksjon i forekomsten av gjellelokkforandringer over tid (Kolarevic et al., 2014; Taylor et al., 2012), mens to rapporterte om stabil forekomst (Fjellidal et al., 2007; Ørnsrud et al., 2004). Burnley et al. (Burnley et al., 2010) skrev at gjellelokkdeformiteter utviklet seg i settefiskfasen og var et vedvarende problem i løpet av produksjonen, men forekomsten på ulike tidspunkter i produksjonssyklus ble ikke rapportert. Samme forfatter beskrev også at det var høyere forekomst av gjellelokkdeformiteter ved slakt enn blant dødfisken i forbindelse med et utbrudd av BKD. Til sist beskrev Fraser et al. (2013) en reduksjon i forekomsten av gjellelokkdeformiteter fra 4 til 12 måneder etter sjøsetting.

I tre av studiene over (Blaker & Ellis, 2022; Skipnes, 2014; Strand & Finstad, 2006) ble liten og deformert fisk sortert ut i løpet av studieperioden, noe som kan ha påvirket forekomsten av gjellelokkforandringer. Resterende studier nevner ikke utsortering av fisk og flere beskriver at dødelighet i studieperioden ble registrert, men registrering av eventuelle gjellelokkforandringer blant dødfisken er ikke nevnt i noen artikler.

4.2.5 Avheling av gjellelokkforandringer

Det ble identifisert 5 studier som vurderte eller beskrev mulig avheling av gjellelokkskader. Blant studiene som beskriver avheling finnes tre studier der man i varierende grad har laget defekter i gjellelokket for å merke fisken. En studie beskriver utstansing av en 6,35 millimeter i diameter stor bit av gjellelokket med en biopsipunch på regnbueørret, mens to beskriver klipping av en kjegleformet defekt eller bortklipping av så mye som mulig av gjellelokket på chinook lakseyngel (Pulford & Woodall, 1963; Rich, 1929; Rosburg et al., 2022). I alle tre studiene grodde defektene slik det ikke lenger var mulig å skille majoriteten

av merket fra umerket fisk. Tiden fra merking til en defekt ikke lenger var synlig varierte fra omkring 90 dager til 279 dager. Selv for yngelen der man klippet bort så mye av gjellelokket som mulig var forandringene avhelet i majoriteten av yngelen ved 90 til 112 dager etter merking (Pulford & Woodall, 1963). I en studie der atlantisk laks med forkortet gjellelokk beskrevet som gjellelokkerosjon ble pit-tagget og fulgt med gjentatte undersøkelser over tid, viste også avheling av gjellelokk innen 7 måneder etter at forandringene først ble observert (MacLean, 1999). I denne studien hadde i overkant av 50 % av fisken så omfattende skader i gjellelokket at gjellene var eksponert og blant enkelte fisk manglet mellom 1/3 til 2/3-deler av gjellelokket. Til sist ble det ikke registrert normalisering av skoliose og deformerte gjellelokk hos regnbueørret med deformiteter angivelig induisert av for store mengder av aminosyren leucin i dietten (Choo et al., 1991). Etter at deformitetene oppstod ble fisken føret med kommersielt fôr i 8 uker uten bedring. Sullivan (1986) beskrev at forandringer relatert til tilskudd av thyroide hormon (T3) i dietten var reversible dersom hormonbehandlingen ble avsluttet.

Avheling av gjellelokkforandringer hos andre fiskearter

Fire studier på gyllen havkaruss beskriver avheling av gjellelokkforandringer. Beraldo & Canavese (2011) fulgte 140 dager gammel fisk med ulike grader (lav, moderat og høygradig) av naturlig forekommende gjellelokkanomali i 16 måneder. Uavhengig av alvorlighetsgrad viste alle fiskegruppene noe tegn til avheling med en reduksjon i omfanget av gjellelev som var eksponert og mer normal fasong av gjellelokket. Noen fisk med lavgradige unilaterale forandringer hadde normale gjellelokk i løpet av 6 måneder. Etter 16 og 20 måneder var det signifikant forskjell i andelen fisk med avhelede gjellelokk avhengig av opprinnelig alvorlighetsgrad. Henholdsvis 88,0 %, 60,0 % og 47,5 % av fisken var normale ved 16 måneder og 91 %, 54 % og 37,5 % var normale ved 20 måneder for fisk med lav, moderat og høygradig deformerte gjellelokk. Blant fisk med bilaterale gjellelokkforandringer hadde kun 13 % normale gjellelokk, mens 43,6 % hadde unilaterale forandringer etter 16 måneder. I en konferansepresentasjon beskriver De Wolf (2005) histologisk undersøkelse av en «serie» yngel med ulike grader av avhelet gjellelokk. Ut fra disse undersøkelser forslår forfatterne at gjellelokket avheles ved at bindevev danner en forlengelse av den kaudale randen helt til gjellene er dekket. Deretter kan det foregå en videre differensiering med dannelse av beinvev. I samme innlegg nevnes en presentasjon av De Wolf fra 2004 der man viste at gjellelokkdeformiteter hos havkarussyngel på <1 gram kunne avheles og igjen fremstå som normale. I en eksperimentell studie med ulike oksygennivåer beskriver Vermeylen et al. (2023) en redusert alvorlighetsgrad av gjellelokkdeformiteter hos havkarussyngel fra dag 48 til dag 55 etter klekking og foreslår at dette kan skyldes avheling av milde forandringer.

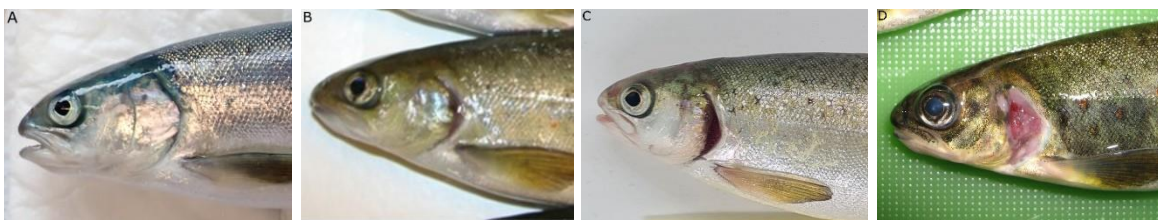
4.2.6 Gradering og scoring av forandringer i gjellelokk

Det ble identifisert totalt 11 publikasjoner og én upublisert scoringsmetode som beskriver ordinal scoring av forandringer i gjellelokket hos laksefisk (vedlegg 2). En scoringsmetode som er basert på forekomsten av gjellelokkforkortelse på populasjonsnivå er ikke publisert men brukes av legemiddelfirmaet Pharmaq AS (personlig kommunikasjon Petter Gjesdal).

Ifølge Crissman et al. (2004) bør et gradering- eller scoringsystem tilfredsstillende tre kriterier: a) Det bør være klart definert, b) det bør være reproducerbart, c) det bør gi meningsfulle resultater. De fleste scoresystemene har en beskrivelse av scorekategoriene og seks publikasjoner hadde illustrasjoner som viser hvordan de ulike scorekategoriene ser ut. De fleste systemene var dermed klart definerte og relativt lette å forstå (figur 3). En publikasjon (Strand & Finstad, 2006) omtalte ett scoringsystem med score 1-10 basert på prosent tap av gjellelokkvev, men ytterligere informasjon om scoringen var ikke tilgjengelig.

Reproduserbarhet i form av samsvar mellom ulike personer som scorer samme fisk (interrater-reliabilitet) ble kun undersøkt i én publikasjon (Blaker & Ellis, 2022), og resultatet viste svært høy grad av enighet. Øvrige scoresystemer angir ikke i hvilken grad de er reproducerbare eller om samsvar mellom ulike scorere eller mellom samme scorer over tid har blitt undersøkt. Når det gjelder kriteriet om meningsfulle resultater så var det ingen av publikasjonene som beskrev undersøkelser av om grensene mellom de ulike scorekategoriene gav biologisk mening eller hvordan disse relateres til kliniske utfall som dødelighet, redusert tilvekst eller respirasjonsfunksjon.

Det var varierende grad av tap eller manglende gjellelokk som scores i de fleste scoresystemene som beskrives. I én studie (Hegeman & Marlatt, 2021) beskrives og scores en unormal form der bakre rand av gjellelokk var bøyd utover og fremover slik at gjellevevet ble eksponert. Denne studien ble ikke inkludert i oversikten da det ikke oppgis hvilke kriterier som ligger til grunn for graderingen av forandringene. I fire scoresystem scores høyre og venstre gjellelokk hver for seg, i fire scoresystem inngår forandringer på begge sider i scoren, men det registreres ikke nødvendigvis hvilken side som har hvilket omfang av forandringer. For to scoresystemer scores det verste gjellelokket, mens informasjon om det andre gjellelokket ikke registreres.



Figur 3. Scoring av gjellelokkforkortelse. Figuren viser fisk med ulike gradering av gjellelokkforkortelse i henhold til Laksvel (Nilsson et al., 2022). A: 0, B: 1, C: 2, D: 3. Foto: Trond Kortner og Åkerblå.

4.2.7 Betydning og konsekvens av forandringer i gjellelokk

Det ble identifisert totalt 11 studier beskrev eller undersøkte en mulig betydning av gjellelokkforandringer hos laksefisk på utfall som vekt, lengde, overlevelse, dødelighet og skader på gjellelev.

Jørgensen og Rød (2019) fant signifikant økt forekomst av makroskopisk synlige blødninger og nekrose (definert som gråhvite områder på tuppen av lamellene), og mikroskopiske subakutte aneurismer i gjellene etter termisk avlusning av atlantisk laks med forkortede gjellelokk, men ikke hos fisk med normale gjellelokk. De beskriver også funn av makroskopisk gjellenekrose hos enkelte fisk med gjellelokkforkortelse før avlusning. Blaker & Ellis (2022) fulgte en gruppe med atlantisk laks med gjentatte registreringer av gjellelokkstatus i løpet av ferskvannsfasen. I løpet av denne studien observerte de at fisk med gjellelokkforkortelse ofte hadde gjelleskade, men forekomst eller graden av gjelleskade, eller når denne først oppstod ble ikke registrert. Forandringene i gjellelev omfattet tap av filamenter og fortykkede filamenter («clubbing»). I én studie der hybrider av atlantisk laks og brunørret (♀ ørret x ♂ laks og ♀ laks x ♂ ørret) ble undersøkt for gjellelokkdeformiteter ble det også beskrevet sammenfall mellom deformiteter i gjellelev og gjellelokk, men igjen var ikke forekomst registrert og det ble ikke undersøkt om sammenhengen var statistisk signifikant (Kirczuk & Domagała, 2009). Tchernavin (1939) gjorde detaljerte undersøkelser av to atlantiske villaks med deformerte gjellelokk som hadde returnert for å gyte og fant kortere gjellebuer og svært forkortede, bøyd og uregelmessige filamenter i samsidige gjellelev. I disse to fiskene var deformerte gjellelokk også forbundet med deformiteter av kraniet og andre knokler i hodet, der knoklene fremstod som underutviklet og mindre eller kortere enn på siden med normalt gjellelokk. Til sist gjorde Osburn (1911) makroskopiske og mikroskopiske undersøkelser av gjellene til coho laks med anormale gjellelokk. Det ble funnet tap av (sekundære) lamella som angikk opptil halvparten av filamentene, fortykkede filamenttupper, fusjon av lamella og epitelial hyperplasi.

Sammenhengen mellom dødelighet og gjellelokkforkortelse ble undersøkt i fire studier. I chinook lakseyngel som ble merket med bortklipping av gjellelokket før og etter startfôring fant man ingen signifikant forskjell i dødelighet mellom umerket eller merket yngel for den minste yngelen i perioden fra merking til 112 dager senere. Tilsvarende var det ingen forskjell mellom merket eller umerket større yngel i perioden fra merking og de påfølgende 29 dagene (Pulford & Woodall, 1963). I et forsøk der atlantisk laks yngel ble plassert i identiske kar med ulik tetthet og med eller uten biomatter og tildekking med svart plast, ble det beskrevet høyere akkumulert dødelighet i karene med høyere forekomst av gjellelokkforkortelse som førte til eksponering av gjellelev i perioden fra klekking til 70 dager og 780 d° etter klekking. En slik forskjell i akkumulert dødelighet ble ikke funnet etter 101 dager og 1200 d° (Kvernes, 1990). Burnley et al. (2012; 2010) undersøkte sammenhengen

mellom deformerte gjellelokk og dødelighet i sjøfasen i to studier. I en studie følges atlantisk laks i én merd gjennom sjøfasen i forbindelse med utprøving av ulike vaksiner mot bakteriell nyresyke (BKD) (Burnley et al., 2010). Gjellelokkstatus ble undersøkt ved slakt og i forbindelse med et BKD-utbrudd. Fisk med deformerte gjellelokk hadde signifikant lavere sannsynlighet for å dø i forbindelse med sykdomsutbruddet enn fisk med normale gjellelokk. Blant fiskene som døde under BKD-utbruddet og blant fisk undersøkt ved slakt var det ingen signifikant forskjell i prevalensen av *Renibacterium salmoninarum* deteksjon mellom fisk med normale eller deformerte gjellelokk. I en påfølgende studie (Burnley et al., 2012) ble åtte fiskegrupper med pit-taggede atlantiske laks fulgt gjennom sjøfasen og faktorer som påvirket dødeligheten de første 14 dagene etter håndtering av fisken ble undersøkt. Det var 13 runder med håndtering som innebar trenging, håving, bedøvelse og ytre undersøkelse av fisken med avlesning av tag, registrering av vekt, lengde og makroskopisk scoring. Fisk med deformiteter i gjellelokk (fra 0,09 til 3,58 % prevalens) hadde signifikant høyere odds for å dø etter håndtering sammenlignet med normal fisk. Fisk med deformerte gjellelokk hadde også høyere total dødelighet enn fisk med normale gjellelokk (2,10 % vs. 1,07 %).

Sammenhengen mellom gjellelokkforandringer lengde, vekt og/eller overlevelse ble undersøkt i fem studier. I vaksine-studien til Burnley et al. (2010) der en merd med atlantisk laks ble fulgt gjennom sjøfasen hadde fisk med deformerte gjellelokk lavere gjennomsnittlig slaktevekt enn fisk med normale gjellelokk. I studien med atlantisk lakseyngel av Kvernes (Kvernes, 1990) beskrevet over fant man en sammenheng mellom lavere vekt og høyere forekomst av gjellelokkforkortelse. Tilsvarende beskriver Eriksen et al. (2007) at atlantisk laks med anormale gjellelokk var signifikant lettere og kortere enn fisk med normale gjellelokk ved 1730 d° og 2842 d° (omtrent 4 og 8,5 måneder) etter klekking og forskjellene økte fra det første til det siste tidspunktet.

I kontrast til disse funnene er to studier fra Nord-Amerika der man ikke fant en sammenheng mellom forandringer i gjellelokket og vekt, lengde eller overlevelse til voksen fisk etter utslipp i naturen som smolt. Slaney et al. (1990) undersøkte sammenhengen mellom slitasjeskader på kroppsoverflaten, finner og/eller gjellelokk, og klassifiserte regnbueørret *Oncorhynchus mykiss irideus* smolt i grupper lav eller moderat grad av slitasjeskader. Smolten ble så satt ut ved elvemunningen i elva stamfisken kom fra, og antall smolt som returnerte i elva ble estimert ved gjenfangst to og tre år etter utslipp. Det ble ikke påvist signifikant forskjell i overlevelse mellom fiskegrupper med lav og moderat grad av slitasjeskader, men effekten av slitasje på gjellelokket alene ble ikke undersøkt. Det var heller ikke forskjell i lengden mellom de to gruppene. I en studie der man klippet bort så mye som mulig av gjellelokket på chinook laks for merking av yngel før eller etter startføring fant man ingen signifikant forskjell i vekt eller lengde mellom merket eller umerket yngel 112 (yngel merket før startføring («fry»)) og 29 dager (yngel merket etter startføring («fingerling»)) etter merking (Pulford & Woodall, 1963).

Betydning og konsekvens av forandringer i gjellelokk hos andre fiskearter

Det ble identifisert 9 publikasjoner som studier beskrev eller undersøkte en mulig betydning av gjellelokkforandringer hos andre fiskearter enn laksefisk på utfall som vekt, lengde, overlevelse, dødelighet og mottagelighet for parasittangrep. Flere studier viser at fisk med gjellelokkdeformiteter har lavere vekt, er kortere og har dårligere kondisjon enn normal fisk på samme alder. Gyllen havkaruss yngel med gjellelokkdeformiteter undersøkt 65 dager etter klekking var i gjennomsnitt signifikant kortere enn yngel uten gjellelokkforandringer (Verhaegen et al., 2007). Ekstensivt oppdrettet melkefisk med gjellelokkdeformiteter (gjellelokket foldet inn eller utover), hadde lavere slaktevekt enn fisk uten misdannelser (Sumagaysay et al., 1999). Tilsvarende var oppdrettede karper med gjellelokkdeformiteter beskrevet som semioperculum i gjennomsnitt lettere og kortere enn normal fisk ved 8 måneders alder (Al-Harbi, 2001). Fisk med moderat til alvorlig gjellelokkdeformitet (majoriteten eller halvparten av gjellene eksponert) hadde også signifikant lavere vekt enn fisk med mildere gjellelokkforandringer (tuppen av gjellene eksponert, spaltet eller forkortet branchiostegalmembran eller utvidet gjellelokk eller branchiostegalmembran). Fisk med deformiteter (også inkludert kjeve, finner og ryggstøyle) hadde lavere spesifikk vekstrate og høyere dødelighet enn normal fisk (Sumagaysay et al., 1999). Storhodet ørekyte (Schlueter et al., 1997), melkefisk (Hilomen-Garcia, 1997), havabbor (Abdel et al., 2004) og barramundi (Yue et al., 2022) yngel og juvenil fisk med gjellelokkdeformiteter hadde signifikant lavere vekt og dårligere kondisjon enn normal fisk. Havabboren beskrevet av Abel et al. (2004) over hadde også infestasjon med ikten *Diplectanum aequans* og i hvilken grad dette påvirket vektutviklingen er uklart. I forbindelse med et sykdomsutbrudd og dødelighet på grunn av ikteinfestasjonen hadde 95 % av den døde fisken gjellelokkdeformiteter og forfatterne foreslår at gjellelokkdeformitetene gjorde fisken mer mottagelig for ikteinfestasjonen.

Havabbor med gjellelokkdeformiteter hadde lavere toleranse for hypoksemi, og det tok henholdsvis 8-30 % og 34-56 % kortere tid til tap av likevekt under hypoksemiske forhold blant fisk med unilaterale og bilaterale gjellelokkdeformiteter (Cadiz et al., 2018). Storhodet ørekyte med deformerte gjellelokk som ble eksponert for kobber (50 mg/L i 132 timer) hadde 100 % dødelighet og kortere tid fra eksponering til død sammenlignet med <50 % dødelighet og lenger tid til døden inntraff blant ikke-deformerte fisk med samme opphav (Schlueter et al., 1997). I forbindelse med to tilfeller med svikt i vannforsyningen til kar med havabbor hadde 95 og 96 % av den døde fisken anormale gjellelokk, selv om insidensen av gjellelokkforandringer i populasjonen før uhellene var lavere, på henholdsvis 65 og 62 % (Barahona-Fernandes, 1982).

4.2.8 Forbyggende og avbøtende tiltak ved gjellelokkforandringer

Det ble ikke funnet noen vitenskapelige studier der forfatterne undersøker effekten av ulike avbøtende eller forbyggende tiltak ved gjellelokkforkortelse eller andre forandringer i gjellelokkene. Studier som beskriver undersøkelser av effekten av ulike drifts- og produksjonsrutiner på forekomst og/eller alvorlighetsgrad av gjellelokkforandringer er beskrevet i avsnitt 5.2.3 Årsaker og risikofaktorer for forandringer i gjellelokk.

4.3 Oppsummering og hovedfunn AP2

Litteraturgjennomgangen viser at det er mange ulike årsaker til gjellelokkforandringer og gjellelokkforkortelse hos laksefisk. Både traumer, ernæringsbetingede, toksiske og hormonelle påvirkninger og infeksjøs agens kan føre til forandringer i gjellelokkene. Det virker rimelig å skille mellom gjellelokkforandringer som er del av en mer generell sykdomstilstand og gjellelokkforandringer som et enkeltstående problem. Flere ulike årsaker til gjellelokkforandringer alene er foreslått, blant annet aggresjon mellom fisk, men relativt få studier har hatt som mål å avdekke en eller flere biologiske årsaksmekanismer. En rekke ulike risikofaktorer relatert til drifts- og produksjonsforhold er undersøkt, men få studier per risikofaktor gjør det vanskelig å trekke sikre konklusjoner. I de fleste tilfellene av gjellelokkforkortelse eller gjellelokkdeformiteter hos laksefisk beskrevet i litteraturen oppstår etter startfôring, men tilfeller er også beskrevet før startfôring. De fleste studiene der gjellelokkstatus ble registrert gjentatte ganger hos atlantisk laks i settefiskfasen viste en reduksjon i forekomsten av gjellelokkforandringer over tid. Forskningslitteraturen tyder på at både spontant forekommende og induserte gjellelokkskader og gjellelokkdeformiteter kan avheles over tid, men hvilke faktorer som påvirker avhelingen er i liten grad undersøkt. Det ble identifisert mange ulike graderingsystem for gjellelokkforandringer hos laksefisk, men kun et system der forfatterne har undersøkt om systemet er reproduserbart og ingen der forfatterne har undersøkt om det er sammenheng mellom de ulike scorekategoriene og utfall som dødelighet, tilvekst, avheling eller gjellehelse. Den tilgjengelige litteraturen tyder på at det er en sammenheng mellom gjellelokkforandringer og sykdomsforandringer i underliggende gjellevev, redusert vekt og lengde og økt dødelighet, selv om det mangler studier av god kvalitet på sammenhengen mellom gjellehelse og gjellelokkforandringer. Det er også noe motstridende resultater og relativt få studier som undersøker sammenhengen mellom gjellelokkforkortelse og -deformiteter og dødelighet. Det ble ikke funnet noen vitenskapelige studier der forfatterne undersøker effekten av ulike avbøtende eller forbyggende tiltak ved gjellelokkforkortelse eller andre forandringer i gjellelokkene.

5. AP3 – Innhenting av erfaringsbasert kunnskap

5.1 Materiale og metoder

5.1.1 Intervjuobjekter

Totalt ble det gjennomført 29 intervju i perioden 22.04.24 til 10.12.24. I utvalgsprosessen ble det lagt vekt på å inkludere personell fra både store og små oppdrettsselskap, samt med geografisk spredning fra tilnærmet alle produksjonsområder i Norge. Det ble gjennomført 22 intervjuer med fiskehelsepersonell og anleggspersonell som har erfaring med settefiskproduksjon hvorav 17 representerte Norge og 5 andre land som har kommersiell produksjon av laks og ørret (Tabell 2). Nærmere beskrivelse av produksjonsrutiner for de inkluderte settefiskanleggene finnes i vedlegg 3.

Nasjonalitet	Antall	Rolle		Produksjonsform			Arter	
		Fiskehelse	Produksjon	RAS	GS	RAS og GS	Laks	Ørret
Norge	17	8	9	2	6	9	15	2
Island, Canada, Skottland, Chile og Færøyene.	5	5	0	1	0	4	5	1

Tabell 2. Fordeling av intervjuobjekter fra settefiskfasen basert på stillingstype, produksjonsform og art. For arter er hovedproduksjon på nåværende tidspunkt angitt.

Nasjonalitet	Antall	Rolle		Produksjonsform*				Arter	
		Fiskehelse	Produksjon	Åpen	Semi-lukket	Lukket	Nedsenket	Laks	Ørret
Norge	5	5	0	5	3	1	1	5	1
Storbritannia og Canada	2	2	0	2	0	0	0	2	0

Tabell 3. Fordeling av intervjuobjekter fra sjøfasen basert på stillingstype, produksjonsform og art. *En person kan ha erfaring fra flere produksjonsformer.

Det ble gjennomført 7 intervjuer knyttet til oppfølging av forkortet gjellelokk i sjøfasen, inkludert 5 personer fra Norge, 1 fra Storbritannia og 1 fra Canada (Tabell 3). For å få så bredt kunnskapsgrunnlag som mulig, ble fiskehelsepersonell som har overordnet ansvar for flere sjøanlegg valgt ut til å delta. Det ble innhentet kunnskap fra personer som har erfaring fra både åpne merder, semi-lukket, lukket og nedsenkede systemer. Erfaringene som ble innhentet stammer i hovedsak fra produksjon i vanlige åpne ringer (120-200 meter i diameter).

5.1.2 Semistrukturert intervju

Intervjuene ble gjennomført digitalt og ble ledet av to representanter fra prosjektgruppen, hvorav en fungerte som referent. Intervjuene knyttet til oppfølging i settefiskfasen varte i omtrent 60-90 minutter, mens intervjuer knyttet til erfaringer fra sjøfasen varte i omtrent 30-60 minutter. Intervjuene ble ikke direkte transkribert, men det ble skrevet et omfattende referat som ble sendt over til informantene for godkjenning. På denne måten hadde intervjuobjektene mulighet til å legge til informasjon eller gjøre korreksjoner i etterkant. Intervjuene ble gjennomført som semistrukturerte intervjuer med en forhåndsdefinert liste over spørsmål som var delt inn i følgende tema:

- Produksjonsrutiner og anleggsutforming
- Rutiner for oppfølging av forkortet gjellelokk
- Risikofaktorer og årsaker
- Forebyggede og skadebegrensende tiltak mot gjellelokkforkortelse
- Føringrutiner, vannkvalitet og rutiner under håndtering

Detaljerte lister over spørsmål som ble brukt i forbindelse med intervju om erfaringer fra settefiskfasen og sjøfasen finnes i vedlegg 4 og 5. Informasjonen fra intervjuene ble kategorisert ut fra tema og innhold, og satt sammen i en Excel-database. Deretter ble data analysert og vurdert ut fra hva som var sammenfallende og hvor det var forskjeller. Siden utvalget av respondenter ikke er randomisert, så er det viktig at erfaringer fra enkeltpersoner ikke tolkes til å være av mindre betydning enn det som flere personer har erfart.

5.2 Resultater

5.2.1 Risikofaktorer og årsaker

De aller fleste risikofaktorene ble av respondentene satt i sammenheng med påfølgende aggresjonsatferd og napping av gjellelokk som en direkte årsak til gjellelokkforkortelsen. Unntak var ett tilfelle med foldede gjellelokk hvor det var mistanke om mineralmangel og ett tilfelle hvor det var mistanke om at hurtig tilsetning av oksygenrikt vann bidro til «innbrettede» gjellelokk. I tillegg var det noen få tilfeller hvor forkortet gjellelokk ble observert allerede på plommeseekkyngel hvor årsaken er mer uklar. Alle respondentene som representerte sjøfasen av produksjonen mente at gjellelokkforkortelse primært oppstår i settefiskfasen, hvor startføringen peker seg ut som en spesielt kritisk periode. I de tilfeller det var mistanke om at forkortelsen oppstår i sjøfasen, ble mekanisk skade som følge av håndtering nevnt som en mulig årsak. Håndtering og avlusing, spesielt med metoder som innebærer spyling, så ut til å kunne gi brettet eller skadet gjellelokk. Fra Storbritannia ble det rapportert at mangelfull oppfølging og føring av leppefisk trolig kan gi aggresjonsatferd mot laksen, med påfølgende skader på gjellelokk.

Fôrtildeling i startfôringsfasen

Flere trakk frem utilstrekkelig fôrtildeling tidlig i startfôringsfasen som den viktigste risikofaktoren for gjellelokkforkortelse. Dette ble satt i sammenheng med at underfôring kan gi aggresjonsatferd og påfølgende nappeskader på gjellelokkene. De fleste produsentene opplyste at det håndføres flere ganger om dagen, både for å sikre tilstrekkelig med fôr og for å kontrollere appetitt, men det var stor variasjon mellom ulike anlegg. På spørsmål om utvikling av gjellelokkforkortelse kan settes i sammenheng med ulike fôrprodusenter, så var det ingen av respondentene som hadde mistanke om dette, men flere nevnte at den tekniske kvaliteten i seg selv var viktig for å hindre underfôring. Det ble eksempelvis trukket fram viktigheten av at fôrets flyteevne tilpasses karetets dybde, slik at yngelen får tilstrekkelig med tid til å ta til seg fôret.

Enkelte anlegg opplyste om at det var store forskjeller mellom ulike røktere eller vaktskift med hensyn på stell og fôrtildeling, noe de erfarte kunne gi større risiko for både under- og overfôring. Det ble også påpekt at et par dager med underfôring, for eksempel gjennom en helg, kunne være nok til at det utviklet seg aggresjonsatferd og nappeskader på gjellelokk. Det ble derfor poengtert viktigheten av å ha kompetent personell med relevant erfaring til stede gjennom hele produksjonen, men spesielt i startfôringsfasen. I tillegg ble det påpekt at dårlige rutiner knyttet informasjonsutveksling mellom ulike skift kan øke risikoen for underfôring og utvikling av forkortet gjellelokk.

Tetthet, karutforming og strømhastighet

Både for høy og for lav tetthet ble trukket fram av næringen som mulige risikofaktorer for utvikling av gjellelokkforkortelse. Flere påpekte imidlertid at tilstrekkelig overflateareal er viktigere enn det totale volumet av karet. I denne sammenheng ble det foreslått at antall yngel bør være maksimalt 8000-12000 per kvadratmeter overflateareal under startfôringen. En produsent erfarte at over 15000 yngel per kvadratmeter økte risikoen for utvikling av forkortet gjellelokk. Store startfôringskar (6-8 meter diameter) ble også trukket fram som en risikofaktor for gjellelokkforkortelse fordi yngelen i større grad ser ut til å klumpe seg og kan være vanskeligere å få til å trekke opp mot overflaten i tidlig fase. I tillegg ble det nevnt at yngelen fordeler seg dårligere i 8-kanta kar enn runde kar, noe som ser ut til å gjøre at yngelen sloss for å få den beste plassen i karet. Flere respondenter oppga at riktig strøm i karene var viktig, og at både for lav eller høy strømhastighet har blitt forbundet med negative konsekvenser. Ved for lav strømhastighet ble det observert rotete atferd eller at fisken snur seg i karet, noe som gir økt risiko for aggressivitet, dårlig selvrensing og hydrodynamikk. Det var også enkelte som opplyste om at for høy hastighet i karet kunne gi risiko for aggresjon. Fra et anlegg ble det også opplyst om at det var mistanke om at hurtig tilsetning av oksygenrikt vann har gitt «innbrettede» gjellelokk.

Miljøforhold og vannkvalitet

Mange av respondentene informerte om at alle faktorer som bidrar til suboptimalt karmiljø trolig kan gi risiko for atferdsrelaterte nappeskader på gjellelokk. Spesifikt ble det nevnt for høy partikkelmengde, og brå endringer i lysstyrke eller vanntemperatur. Når det gjelder vanntemperatur ble sammenhengen med appetitt trukket fram, men også høy temperatur som en stressende faktor i seg selv. Fra oppdrett av regnbueørret ble det nevnt et tilfelle hvor temperaturen ble skrudd opp til 19 grader grunnet et utbrudd med infeksjøs pankreasnekrose (IPN), men hvor temperaturøkningen så ut til å gi betydelig aggresjonsatferd og nappeskader på gjellelokk. En produsent mente også at høy temperatur i inkubasjonsfasen kunne være relatert til brettet gjellelokk. Når det gjelder andre vannparametere som pH, CO₂, salinitet, oksygen, nitratforbindelser og totalgasstrykk (TGP) så ble ikke disse trukket fram som faktorer som påvirker forekomsten av gjellelokkforandringer, men det ble nevnt et tilfelle hvor for lite kalsium i råvannet trolig ga foldede gjellelokk med eksponering av underliggende gjellevev (figur 4). Sistnevnte var et anlegg med kalsiumfattig grunnvann som råvannskilde, og utfordringen bedret seg ved tilsetning av kalsium.



Figur 4. Gjellelokkforkortelse satt i sammenheng med kalsiumfattig råvann. Bildene viser fisk med gjellelokk som er får en konkav form og bøyes innover med eksponering av underliggende gjellevev. Merk også deformitet av kraniet. Foto: Åkerblå.

Genetikk

Genetikk ble ikke trukket frem av respondentene som en betydelig risikofaktor, siden det ikke ble observert stor variasjon mellom ulike stammer. De fleste opplyste imidlertid om at de ikke hadde gjort systematiske scoringer for å undersøke dette, men en produsent opplyste om at gjellelokkforkortelse ble registrert allerede på plommeseekyngel. Det var flere som observerte mer gjellelokkforkortelse på stammer som er avlet for spesielt hurtig tilvekst, som for eksempel GEN-innOva® gain (GAIN). Dette ble begrunnet med at yngelen

har høy appetitt, og at det kan være vanskelig å sikre optimal fôring med påfølgende risiko for aggresjonsatferd.

Sulting og håndtering

Flere opplyste om at sulting av startfôringsyngel (mindre enn ca. 5 gram) i mer enn 12-24 timer representerer en risiko for aggresjonsatferd og utvikling av gjellelokkforkortelse. Større yngel/parr kan sultes noe lenger (ca. et døgn), mens de fleste beregnet 2-4 dagers sulting i forbindelse med vaksinerings. Det var flere som påpekte at sulting gir størst risiko for gjellelokkforkortelse på liten yngel, mens sulting av større fisk heller ser ut til å gi aggresjonsrelaterte skader på ryggfinner. Perioden når fisken tilbys fôr etter sulting ble trukket fram som spesielt kritisk, siden det da blir kamp om fôret. Fra sjøfasen ble det også informert om at håndtering og avlusing, spesielt med metoder som innebærer spyling, så ut til å kunne gi mekaniske skader i form av brettet eller skadet gjellelokk.

5.2.2 Utvikling av gjellelokkforandringer over tid

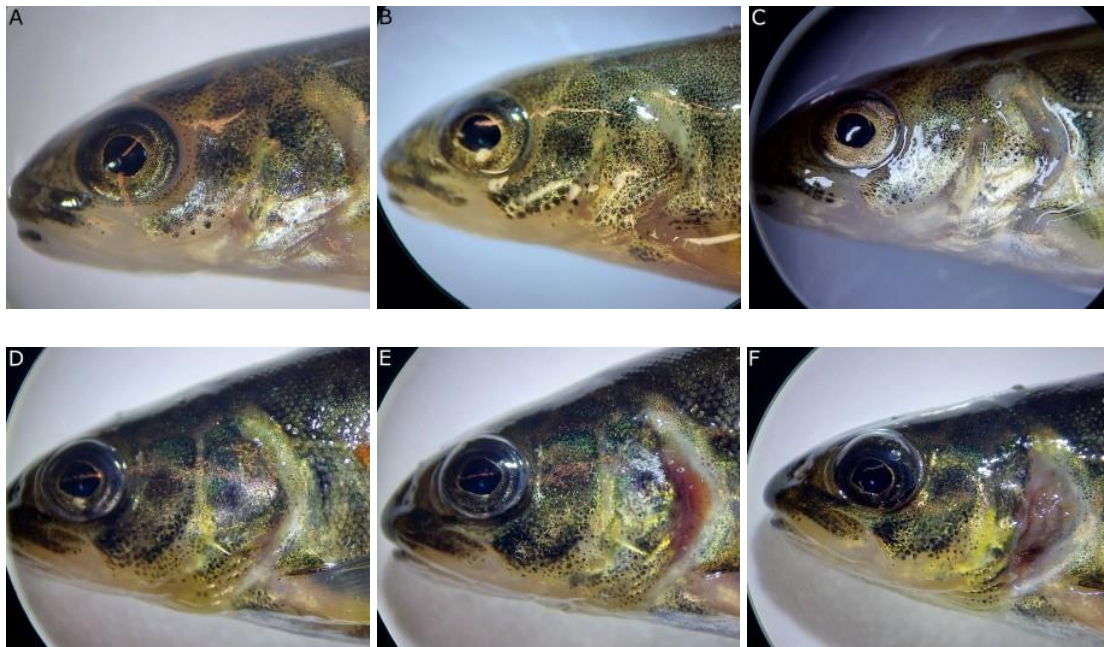
Samtlige respondenter opplyste at gjellelokkforkortelse vanligvis ser ut til å oppstå i startfôringsfasen. Anlegg som benyttet stereolupe eller broderilupe hadde også i noen tilfeller observert forkortet gjellelokk allerede fra yngel som var ca. 0,5 gram, og det ble trukket fram et tilfelle hvor deformiteten var til stede på plommeseekyngel. Flertallet opplever allikevel at perioden fra ca. 2 til 5 gram størrelse er den mest kritiske. Typisk utseende i denne perioden ble beskrevet som «aktive» skader med rufsete eller ujevn forkortelse, både ensidig og dobbeltsidig. På større fisk kan forkortelsen gjerne være formet mer som en rett linje, og det nevnes også andre morfologiske varianter som «krøllete gjellelokk», bul på gjellelokket, eller tilfeller hvor kun tuppen av gjellelokket er brettet inn.

5.2.3 Avheling av gjellelokkforandringer

Når det gjelder heling av skadede gjellelokk, så mente de fleste informantene fra settefiskfasen at score 1, og i noen tilfeller score 2, ser ut til å kunne regenerere, men ikke score 3 når man benytter Laksvel sin skala (Nilsson et al., 2022). Dette ble basert på at det i enkelte tilfeller observeres en reduksjon i prevalens av gjellelokkforandringer uten at det har blitt satt inn spesielle tiltak som for eksempel utsortering, for å redusere prevalensen. Det ble beskrevet at den ytterste delen av gjellelokket ser ut til å vokse ut igjen og danne en tynn membran i området for forkortelsen. Det ble også påpekt at temperatur kan se ut til å ha en innvirkning på helingsprosessen. Enkelte informanter fra sjøfasen opplyste også om at milde gjellelokkforkortelse trolig kan regenerere, men på enkelte fiskegrupper sees det allikevel et stabilt innslag gjennom hele produksjonen i sjø.

5.2.4 Rutiner for oppfølging av forkortet gjellelokk

De aller fleste respondentene opplyste om at gjellelokk scores i løpet av settefiskfasen, men det var store variasjoner i tidspunkt for scoring, hyppighet og utvalg fisk per kar eller fiskegruppe. Ved enkelte settefiskanlegg scoret personale gjellelokk systematisk helt fra yngelen kommer inn i startfôringsavdelingen og gjennom hele produksjonen (figur 5). Dette var anlegg som har hatt utfordringer med gjellelokkforandringer og hvor fiskehelsepersonell deltar i utvidet helseoppfølging av gjellelokk. Anlegg som opplevde mindre utfordringer med gjellelokkforkortelse, scoret gjerne kun under den siste smoltkontrollen før utsett. I Norge oppga samtlige at gjellelokk scores fra 0-3 med henvisning til ulike varianter av Laksvel (Nilsson et al., 2022) eller Fishwell (Noble et al., 2018). Fra Island, Canada, Skottland, Færøyene og Chile ble det rapportert om ulike system for scoring inkludert ja/nei, 0-2 og 0-3. Pharmaq har også utviklet en score som beskriver prevalensen av gjellelokkforkortelse på gruppenivå (score 0-4), hvor score 4 er mer enn 50 % innslag. Det var store variasjoner i om man scorer en- eller tosidig, og utvalget fisk per kar eller fiskegruppe varierte typisk fra 20 til 100 fisk per scoring. Enkelte anlegg scoret også utseende av underliggende gjellelev samtidig. Det var kun noen få anlegg som systematisk sammenstilte dataene fra scoringene slik at fiskegrupper kunne følges over tid. Det ble allikevel opplyst om at data fra smolt- eller utsettskontroller som inneholder informasjon om gjellelokkforkortelse i de fleste tilfeller ble delt med kjøper av smolten.



Figur 5. Systematisk scoring av gjellelokk over tid. Bildene viser samme fiskegruppe scoret ved bruk av lupe fra ca. 0,5 til 8 gram størrelse. A: 0,5 gram – score 1, B: 1 gram – score 1, C: 1 gram – score 2, D: 5-8 gram – score 1, E: 5-8 gram – score 2, F: 5-8 gram – score 3. Foto: Mowi.

De fleste av respondentene fortalte at det ikke ble gjennomført systematisk scoring av forkortet gjellelokk i sjøfasen foruten utsettskontroll. Det ble allikevel gjort en vurdering av gjellelokk i forbindelse med rutinemessig lusetelling og gjellescoring, og ved unormalt høy prevalens så ble dette meldt tilbake til settefiskanleggene. En produsent opplyste at de scorer systematisk 20 fisk per uke på alle lokaliteter gjennom hele sjøfasen. Ved scoring av forkortet gjellelokk i sjøfasen så brukte de fleste varianter av Laksvel (score 0-3) (Nilsson et al., 2022), men også en todelt score (0-1) benyttes.

5.2.5 Forekomst og alvorlighetsgrad

Det var stor variasjon mellom ulike settefiskanlegg med hensyn på hvor store utfordringer med forkortet gjellelokk anleggene opplever at de har. I Norge ble det rapportert en prevalens ned mot 0 % i enkelte anlegg, men andre anlegg hadde registrert opptil 70 % prevalens i enkelte kar (score 1-2 iht. Laksvel). Tilsvarende ble det beskrevet en prevalens opp mot 30-40 % (score 1) på enkelte fiskegrupper i utlandet. Det ble beskrevet flere ulike varianter av gjellelokkforandringer, men det var vanligst med ensidig eller dobbeltsidig forkortelse med lav til moderat score (score 1-2 iht. Laksvel). Ofte var hele gjellelokket forkortet, men med en litt uregelmessig randsone ytterst på membranen. Respondentene ble også spurt om hva de vurderer som lav, moderat og høy prevalens av forkortet gjellelokk. I startfôringsfasen var det flere som vurderte en prevalens (score 1-2) på 0-10 % som lavt innslag, 10-20 % som moderat og over 20-30 % som høy prevalens, men de eksakte grensene varierte mye mellom ulike anlegg. Anlegg som opplyste at de har store utfordringer knyttet til forkortet gjellelokk oppga gjerne høyere grenser enn anlegg med lite utfordringer. Ved en sluttkontroll før utsett ble over 2-5 % prevalens vurdert til å være for høyt av mange.

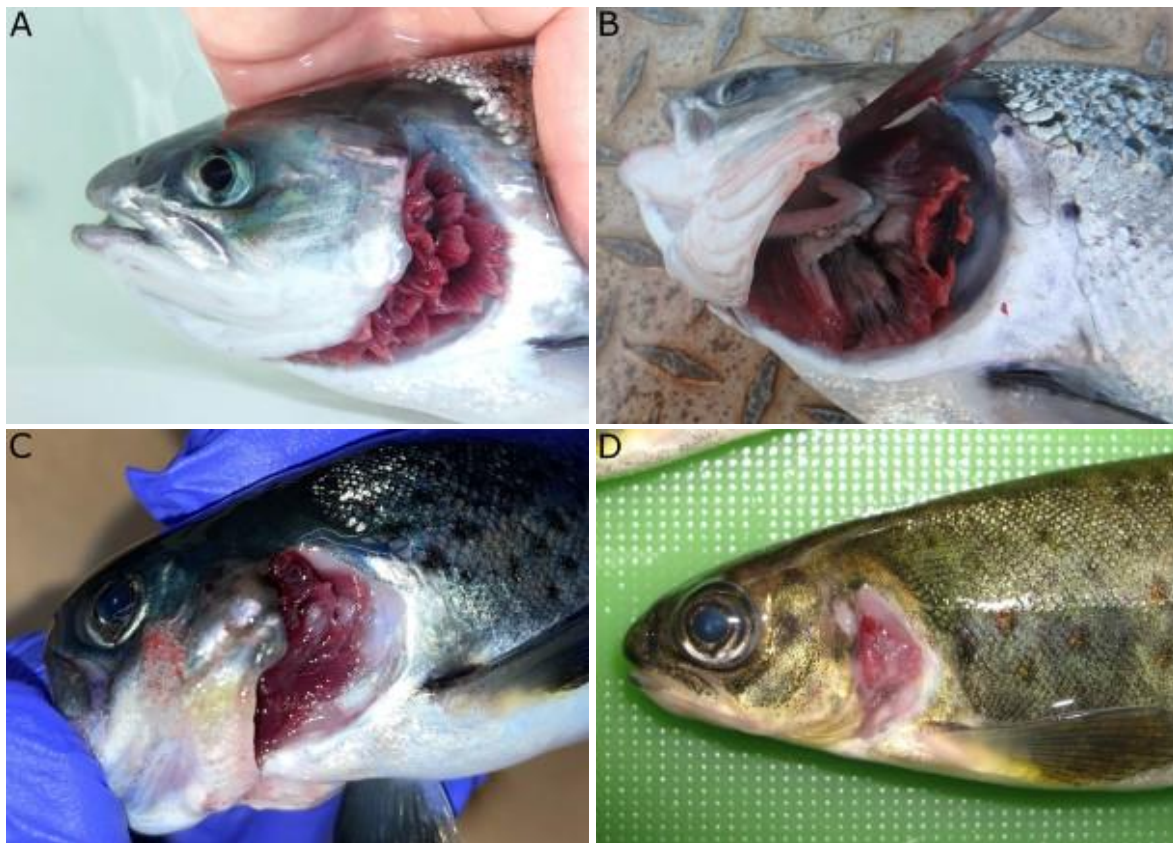
På grunn av manglende systematikk i scoringen mente de fleste at det kan være vanskelig å si noe sikkert om prevalens og utvikling av forkortet gjellelokk i sjøfasen. Flertallet mente at dersom prevalensen var over omtrent 10-20 % med score 2 (iht. Laksvel) så er dette et høyt innslag, men det varierte mellom respondentene.

5.2.6 Betydning og konsekvens av forandringer i gjellelokk

I settefiskanleggene som scoret gjeller samtidig med gjellelokk, fortalte informantene at det ofte kunne observeres skader på underliggende gjellevev i området for forkortelsen. Dette ble beskrevet som rufsete og nedslitt gjellevev, ofte med hvit eller gul farge på tuppen av gjellefilamentene (figur 6). Enkelte oppdrettere rapporterte også om høyere dødelighet og dårligere tilvekst på fisk med stygge gjellelokk. Fra sjøfasen hadde enkelte mistanke om at fisk med forkortet gjellelokk var overrepresentert blant dødfisken den første tiden etter sjøsetting, og deretter forsvant i løpet av produksjonen. Tilsvarende som på land ble det beskrevet at fisken med forkortet gjellelokk kan få rufsete gjellevev med nekroser (grå parti) og det var mistanke om bakterieinfeksjoner i gjellevevet. Det ble også informert om at

affisert fisk kunne se ut til være mer utsatt for dødelighet i forbindelse med håndtering og avlusing, men at det er vanskelig å vurdere grunnet lavt innslag og mangel på tallmateriale.

Flertallet opplyste om at informasjon knyttet til prevalens og alvorlighetsgrad av gjellelokkforkortelse ble delt med sjølokaliteten i de tilfeller det var relevant. Siden produksjonsplaner blir planlagt tidlig vurderes det som vanskelig å ta spesifikke hensyn ved valg av sjølokalitet for fiskegrupper med innslag av gjellelokkforkortelse. Det ble også påpekt at scoringsdata fra settefiskfasen ofte ikke er systematiske nok til å at de kan legges til grunn for denne type vurderinger. Flere opplyste imidlertid at det etterstrebtes å sette ut spesielt robuste fiskegrupper på lokaliteter som historisk sett har hatt gjelleutfordringer. Et eksempel som ble nevnt var at saktevoksende fisk fra gjennomstrømningsanlegg med god gjellehelse ble satt ut på typiske «problemlokaliteter». Ingen av intervjuobjektene opplyste om at de har valgt bort innkjøp fiskegrupper basert på utfordringer med forkortet gjellelokk alene.



Figur 6. Gjellelokkforkortelse og skader på underliggende gjellevev. A) Laks, matfisk. Uttalt gjellelokkforkortelse med "rufsete" og uregelmessig gjellevev. B) Laks, matfisk. Uttalt gjellelokkforkortelse med svært forkortede, fortykkede og gråhvite filamenter på første gjellebue. Filamentene på øvrige gjellebuer har unormal fasong og/eller er forkortede, fortykkede og gråhvite. C) Laks, smolt. Forkortede filamenter eller nær fullstendig tap av filamenter på flere gjellebuer. D) Laks, parr. Uttalt gjellelokkforkortelse og forkortede og hvite, fortykkede gjellefilamenter. Foto: Åkerblå og Liv Østevik.

5.2.7 Tiltak

Forebyggende tiltak

Stabil utfôring i startfôringsperioden hvor man sikrer at all yngelen blir tilbudt fôr ble trukket fram som det viktigste forebyggende tiltaket. I denne sammenheng ble det nevnt tilstrekkelig antall utfôringspunkter, rikelig med håndfôring basert på appetitt, tilstrekkelig overflateareal i karene, unngå høy tetthet, samt å velge fôr som har flyteevne tilpasset karets dybde. Enkelte produsenter informerte også om at de gjør utregninger for å sikre at fôrets tetthet (antall pellets per kg fôr) er tilpasset antall yngel. Det ble også foreslått at liten taperfisk ser ut til å være mer disponert for å utvikle forkortet gjellelokk, og at utsortering av taperyngel kan virke forebyggende. Optimalisering av miljøforhold inkludert strømsetting, vanntemperatur og oksygen, samt regelmessig renhold av karene har trolig også betydning.

Skadebegrensende tiltak

Utsortering og destruksjon av fisk med forkortet gjellelokk ble oppgitt å være det viktigste skadebegrensende tiltaket. Dette ble enten gjort i forbindelse med vaksinerings, eller i noen tilfeller under sortering tidligere i produksjonen. Utsorteringen kan være manuell (for hånd) eller automatisk ved hjelp av vaksinemaskin som for eksempel Maskon (foreløpig ensidig deteksjon). De fleste opplyste om at automatisk utsortering i hovedsak fungerer bra, men at det kan være vanskelig å justere hvor «streng» utsorteringen skal være. Alvorlighetsgrad score 2-3 (iht. Laksvel (Nilsson et al., 2022)) ble vurdert til å være fisk som bør utsorteres. Det ble informert om at det i stor grad ikke har vært nødvendig å sette inn spesielle tiltak på grupper med forkortet gjellelokk i sjøfasen, men fisk med alvorlig grad (score 3 iht. Laksvel (Nilsson et al., 2022)) utsorteres av mange under lusetelling. Enkelte sa også at tidligere utslakt for å unngå to høster i sjø kunne være aktuelt.

5.2.8 Artsvariasjoner mellom laks og regnbueørret

Totalt ble det intervjuet 3 personer med regnbueørret som hovedproduksjon, og ytterligere 3 personer som hadde erfaring med både laks og regnbueørret. For de fleste temaene var tilbakemeldingene sammenfallende mellom produksjon av regnbueørret og laks, og tidligere avsnitt dekker erfaringer fra begge arter. Når det gjelder forekomsten av forkortet gjellelokk på regnbueørret spesifikt, så var det stor variasjon i prevalens mellom ulike produsenter, fra ned mot 0 % til opp mot 50 % på enkelte fiskegrupper. Det ble også opplyst om at grupper som hadde gått på lav temperatur i tidlig fase så ut til å være mer utsatt. En produsent nevnte at ørreten er mer «glupsk» enn laksen, og at den oppleves som mye mer aggressiv enn laksen dersom utfôring reduseres. Oppdretteren opplevde allikevel ikke dette som en utfordring siden regnbueørreten i større grad enn laksen stod høyt i karet og man kunne ha tilstrekkelig utfôring sammen med god vannutskifting. På denne måten ble godt karmiljø ivarettatt uten risiko for at yngel havnet på sila. Dette var i motsetning til hos laksen som ofte

gikk dypere i karet med risiko for å havne på sila dersom vannutskiftingen ble økt for mye i forbindelse med høy utfôring.

5.4 Oppsummering og hovedfunn AP3

Erfaringsbasert kunnskap ble samlet inn gjennom intervjuer med fiskehelsepersonell og anleggspersonell, både nasjonalt og internasjonalt. De aller fleste respondentene opplyste om at gjellelokk scores i løpet av settefiskfasen, men det var store variasjoner i tidspunkt for scoring, hyppighet og utvalg fisk per kar eller fiskegruppe. I Norge benyttes det hovedsakelig scoring fra 0-3, mens det fra utlandet også rapporteres om andre system for scoring. Samtlige respondenter beskrev at gjellelokkforkortelse ser ut til å oppstå i startfôringsfasen. Typisk utseende i denne perioden var aktive skader med rufsete eller ujevn forkortelse, både ensidig og dobbeltsidig. Fra Norge ble det rapportert om en prevalens mellom 0 og 70 %, med stor variasjon mellom ulike fiskegrupper og produsenter. Konsekvenser som ble nevnt var redusert tilvekst, skader på underliggende gjellevev og i enkelte tilfeller økt dødelighet.

Mangelfull fôrtildeling i startfôringen ble trukket fram som en viktig risikofaktor, for eksempel på grunn av for få utfôringspunkt, suboptimal karutforming, manglende håndfôring, eller menneskelige faktorer knyttet til hvor tett yngelen følges opp. Tilstrekkelig overflateareal på karene ble rapportert til å være viktigere enn det totale volumet, hvor over ca. 8000-12000 yngel per kvadratmeter så ut til å øke risikoen. Dårlig karmiljø ble også trukket fram som en risikofaktor, hvor eksempelvis høy partikkelmengde, eller brå endringer i lysstyrke eller vanntemperatur ser ut til å kunne disponere. Felles for nevnte risikofaktorer er at de kan gi aggresjonsatferd og påfølgende nappeskader som årsak til skadene på gjellelokk. Kalsiummangel i råvannet ble nevnt som en direkte årsak til foldede gjellelokk i et enkelttilfelle. De samme risikofaktorene ble trukket fram for både laks- og ørretproduksjon, men enkelte hevdet at ørreten kan være enda mer aggressiv enn laksen ved underfôring.

Stabil utfôring i startfôringsperioden hvor man sikrer at all yngelen blir tilbudt fôr ble fremhevet av mange som det viktigste forebyggende tiltaket. Det ble også foreslått at liten taperfisk ser ut til å være mer disponert for å utvikle forkortet gjellelokk, og at utsortering av taperyngel kan virke forebyggende. Optimalisering av miljøforhold inkludert strømsetting, vanntemperatur og oksygen, samt regelmessig renhold av karene har trolig også betydning. Utsortering og destruksjon av fisk med forkortet gjellelokk ble opplyst til å være det viktigste skadebegrensende tiltaket. Dette gjøres enten manuelt eller automatisk i forbindelse med vaksinerings, eller i noen tilfeller under sortering tidligere i produksjonen.

6. Ap 4 - Datagjennomgang

6.1 Materiale

Prosjektet fikk tilgang til mange ulike datasett som inneholdt scoring av forkortede gjellelokk, se tabell 4 for en oversikt. Det var stor variasjon i innsamlingen av datamaterialet, noe er samlet inn av anleggspersonell i forbindelse med ordinær drift, noe av fiskehelsepersonell i forbindelse med ordinær drift og noe er samlet inn i forbindelse med forskningsprosjekter. Det er også brukt ulike metoder for scoring av gjellelokkforkortelse i de ulike datasettene, noen har brukt Fishwell metoden (Noble et al., 2018) hvor gjellelokk scores på begge sider (score 1 – gjellelokkene dekker bare delvis gjellene, score 2 – fraværende gjellelokk/eksponerte gjeller på en side, score 3 – fraværende gjellelokk/eksponerte gjeller på begge sider), mens andre har brukt Laksvel scoringen (Nilsson et al., 2022) hvor man scorer det korteste gjellelokket uavhengig av side (score 1 – litt forkortet gjellelokk, gjeller kan skimtes, score 2 – tydelig forkortet gjellelokk, gjellevev godt synlig, score 3 – kraftig forkortet gjellelokk, mye av gjellevevet er synlig). Det er også brukt avarter som en tosidig Laksvel-scoring med registrering av høyre/venstre side og en enkel ja/nei vurdering på fiskenivå hvor det ikke diskrimineres på alvorlighetsgrad eller side. Det er også stor variasjon i hvor mange fisk som blir undersøkt per gruppe per undersøkelsestidspunkt. Enkelte av datasettene følger fiskegrupper fra ferskvann til sjø slik at man kan undersøke den temporale utviklingen, vi har ikke tilgjengelig dødelighetsdata eller data over årsakene til avlaving av fisk så vi kan ikke vurdere om en endring i forekomst skyldes avheling av skadede gjellelokk eller om fiskene med gjellelokkforkortelse dør eller avlives. Vi har informasjon om geografisk plassering i enkelte av datasettene, men ikke i alle, og i enkelte vet vi at dataene er samlet inn i mange ulike land, men vi vet ikke opprinnelseslandet til de enkelte observasjonene. Det viste seg i tillegg vanskelig å finne eksisterende datamateriale for regnbueørret (heretter kalt RBØ), datasett 2 ble derfor samlet inn dedikert for dette prosjektet av en velvillig oppdretter.

Det er mange iboende utfordringer med å analysere disse dataene under ett, men de kan gi informasjon om omfang og i noen tilfeller temporale trender. Vi vil her først gi en deskriptiv analyse av omfanget av gjellelokkforkortelse i hvert enkelt datasett, samt eventuell annen viktig informasjon, før vi forsøker å trekke noen slutninger på tvers av alle datasettene.

Datasett	Produksjonsmiljø	Art	Antall lokaliteter	Geografisk plassering	Antall observasjoner	Scoring-metode	Tidsperiode	Prevalens i data (Score >0)
Datasett 1	Sjø	Laks	292	Norge, Skottland, Chile, Irland og Canada	72 651	Fishwell	2020-2024	7,3 %
Datasett 2	Ferskvann	RBØ	1	Norge	1 585	Fishwell	2024	20,2 %
Datasett 3	Ferskvann og sjø	Laks	2	Norge	2 203	To-sidig Laksvel	2022-2023	54,0 %
Datasett 4	Ferskvann og sjø	Laks	27	Norge	3152	Laksvel	2023-2024	10,4 %
Datasett 5	Eksperimentelt	Laks	1	Norge	202	To-sidig Laksvel	2024	15,8 %
Datasett 6	Ferskvann og sjø	Laks	8	Skottland	3230	Ja/Nei	2018-2020	7 %

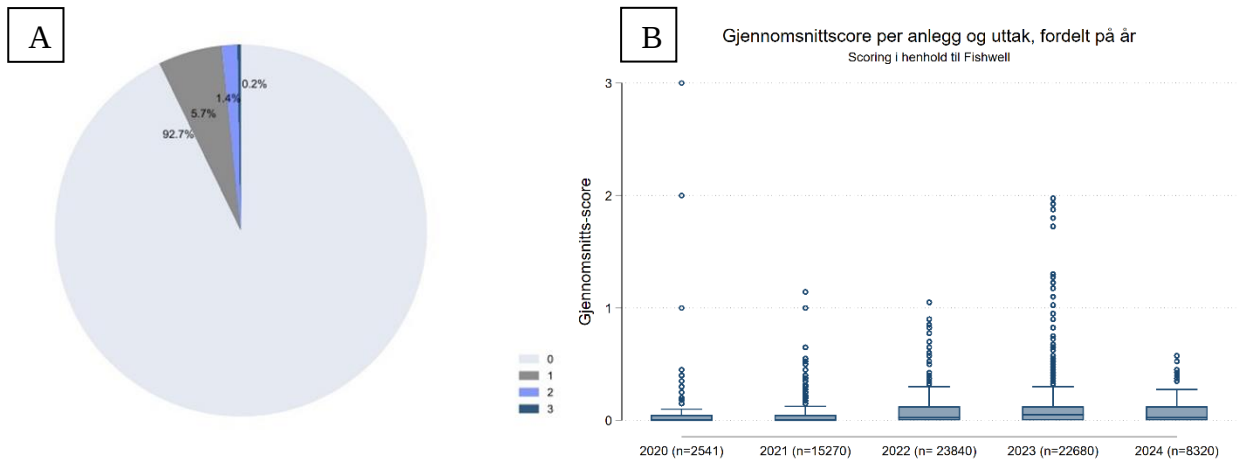
Tabell 4. Oversikt over datakildene som er benyttet i arbeidspakke 4. RBØ står for regnbueørret

6.1.1 Datasett 1

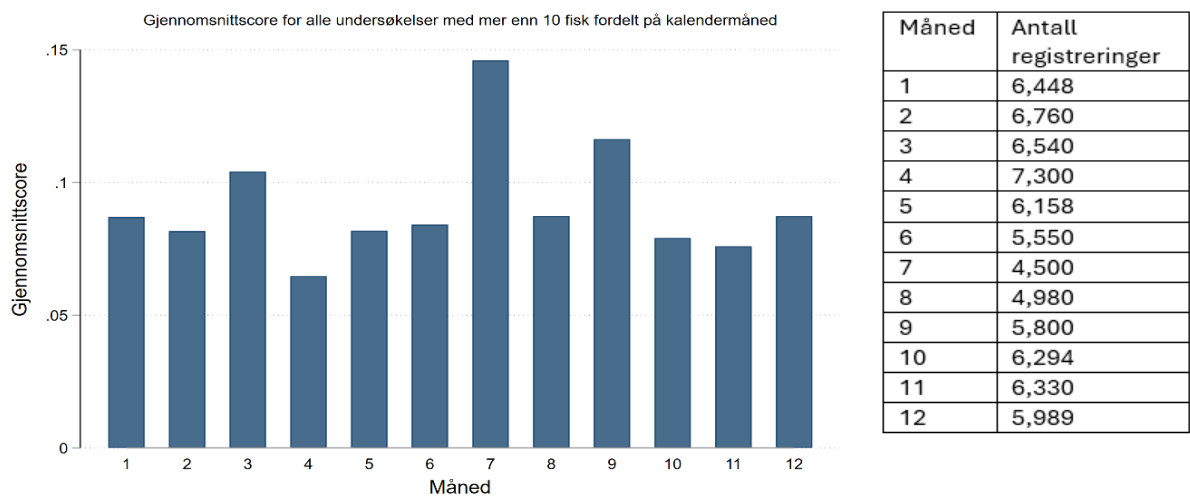
Dette datasettet er samlet inn ved at lokalitetspersonell gjennomfører mer eller mindre regelmessige velferdsscoringer i henhold til Fishwell-systemet. Det inneholder data på anleggsnivå fra 292 unike, men anonymiserte, lokaliteter i sjø. Lokalitetene befinner seg i Norge, Skottland, Irland, Canada og Chile, men datasettet inneholder ikke informasjon om hvor de enkelte lokalitetene befinner seg. Det er altså ikke mulig å gjennomføre en analyse av forekomst fordelt på land. Vi har heller ikke informasjon om utsettene, det er derfor ikke mulig å skille mellom ulike generasjoner på samme anlegg eller si noe om opphavet til smolten på de ulike anleggene.

Det er gjennomført scoring på 2 til 1020 fisk fra hvert anlegg, til sammen gir det 72651 gjellelokk-scoringer, i tidsrommet mars 2020 til mai 2024. Det var en stor overvekt av score 0 i dataene hvor hele 92,7 % av fisken hadde lytefrie gjellelokk, 5,7 % hadde score 1, 1,4 % hadde score 2 mens bare 0,2 % hadde score 3 (figur 7A). Figur 7B viser en tendens til økende gjennomsnittlig gjellelokkscore fra 2021 til 2023, 2020 og 2024 har ikke data fra fulle år så de er ikke direkte sammenlignbare. Juli så ut til å ha en tendens til høyere gjellelokkscore enn øvrige måneder (figur 8) på tross av noe lavere antall registreringer.

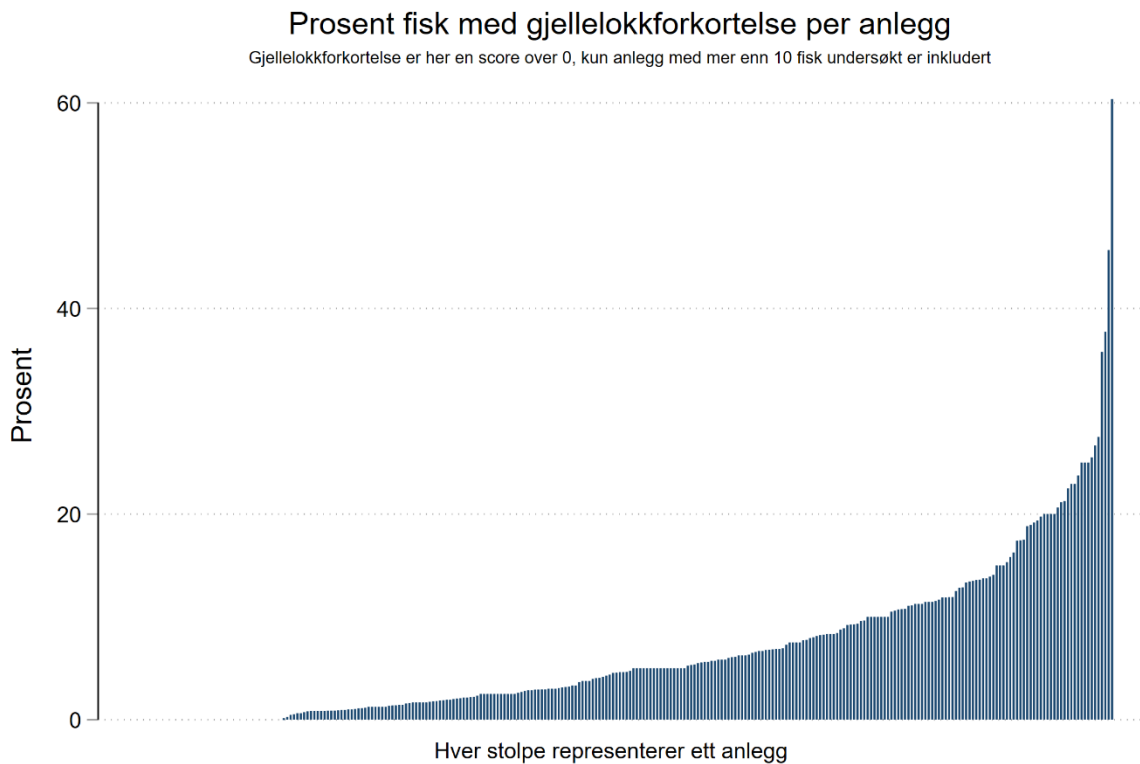
Det var stor variasjon mellom anleggene med tanke på andelen fisk med gjellelokkforkortelser, med en spredning fra 0 til 60 % av fiskene innad i anlegg med en score over 0, se figur 9. Gjennomsnittsanlegget hadde 7,3 % fisk med gjellelokkforkortelse, mens medianen var 4,6 %.



Figur 7A. Fordelingen av score fra 0 til 3 i hele datasettet. 7B. Gjennomsnittscore fordelt på år.



Figur 8. Gjennomsnittscore per kalendermåned og oversikt over antall registreringer per kalendermåned.



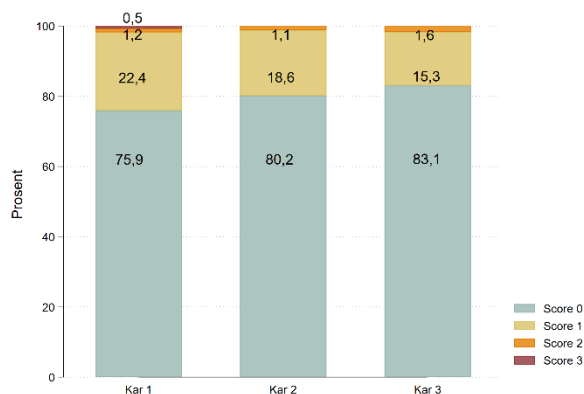
Figur 9. Oversikt over variasjonen i andelen fisk med gjellelokkforkortelse per anlegg i hele datamaterialet

6.1.2 Datasett 2

Datasett 2 består av data fra ett settefiskanlegg med regnbueørret (RBØ) samlet inn på en dag fra tre kar. Fisken veide i gjennomsnitt mellom 30,5 gram og 33,4 gram, og det ble brukt Fishwell scoring. Resultatene er oppsummert i figur 10.

Det er et stort antall fisk som er scoret samtidig slik at funnene er robuste for denne populasjonen, men ettersom all fisken kom fra samme settefiskanlegg og samme klekkegruppe er materialet ikke egnet til å si noe om RBØ generelt. Men det var en relativt høy prevalens av gjellelokkforkortelse i denne gruppen da 20 prosent av fisken scoret 1 eller høyere.

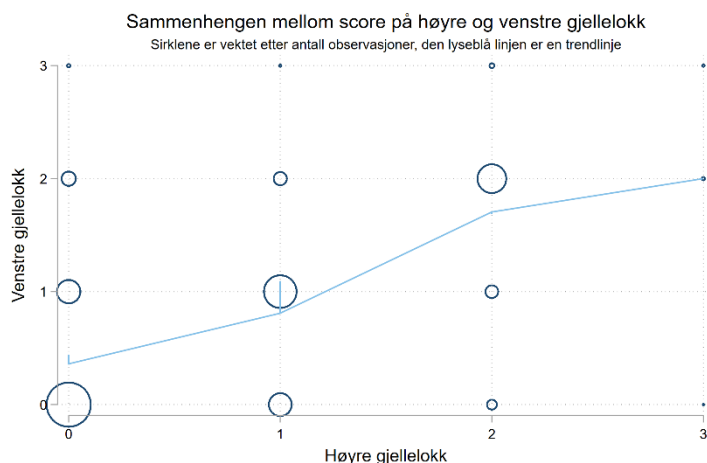
	Kar 1	Kar 2	Kar 4	Totalt
Antall fisk undersøkt	510	526	549	1585
Gjennomsnittsvekt	32,7g	30,5g	33,4g	32,2g
Prosent score >0	24,1	19,8	16,9	20,2
Prosent score = 0	75,9	80,2	83,1	79,8
Prosent score = 1	22,4	18,6	15,3	18,7
Prosent score = 2	1,2	1,1	1,6	1,3
Prosent score = 3	0,6	0	0	0,2



Figur 10. Fordeling av score per kar i tabell og grafisk.

6.1.3 Datasett 3

Datasett 3 inneholder informasjon om atlantisk laks fra ett oppdrettsselskap hvor det er gjennomført en større scoring på to datoer på ett settefiskanlegg og to datoer på en slakteline, altså fire tidspunkt totalt. Totalt er det scoret gjeller på 2203 fisk hvor 1968 var slaktefisk og 235 settefisk. Det er ikke samme fiskegruppe som er undersøkt på settefiskanlegget og slakteriet, dataene er derfor ikke egnet til å se på utvikling fram til slakt. I dette datamaterialet er det benyttet et eget scoringsskjema, hvor score 1 er forkortet, men ikke synlig gjellelev, score 2 er synlig gjellelev med opptil 50 prosent av gjellelokket borte, og score 3 er fra 50 prosent fraværende gjellelokk. Begge gruppene har en svært høy andel fisk med en gjellelokk-score over 1 på ett eller begge gjellelokk, med henholdsvis 54 % av fiskene på settefiskanlegget og 66 % av fiskene på slaktelinja. Denne scoringen er mulig noe strengere enn Fishwell eller Laksvel slik at flere fisk får score 1. Videre kan man anta at disse gruppene er selektert på grunn av høy forekomst og dermed representerer problem-populasjoner. Datamaterialet er egnet til å se på sammenhengen mellom ensidig og tosidige gjellelokkforkortelser i populasjoner med høy forekomst, se tabell 5 for oppsummering.



Figur 11. Sammenhengen mellom høyre og venstre side.

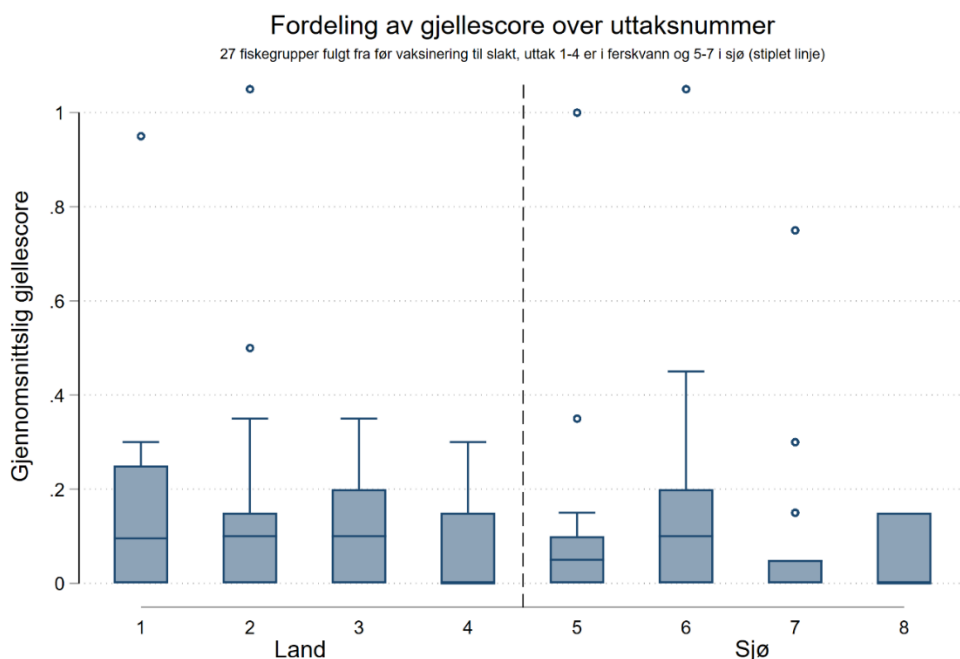
Tabell 5. Oversikt over antall observasjoner for høyre og venstre side.

		Høyre gjellelokk			
Venstre gjellelokk		0	1	2	3
0		771	205	37	1
1		215	419	63	0
2		79	68	324	4
3		4	2	9	2

En korrelasjonsanalyse viser at det er litt over 60 % korrelasjon mellom score på høyre og venstre side i dette datamaterialet, dette kan ansees som en moderat korrelasjon. Trendlinjen i figur 11 viser en tilnærmet lineær økning til og med score 2, og en ordinal logistisk regresjon viser at det er en signifikant sammenheng mellom score på høyre og venstre side. Det var ikke en høyere forekomst på høyre side i dette datamaterialet.

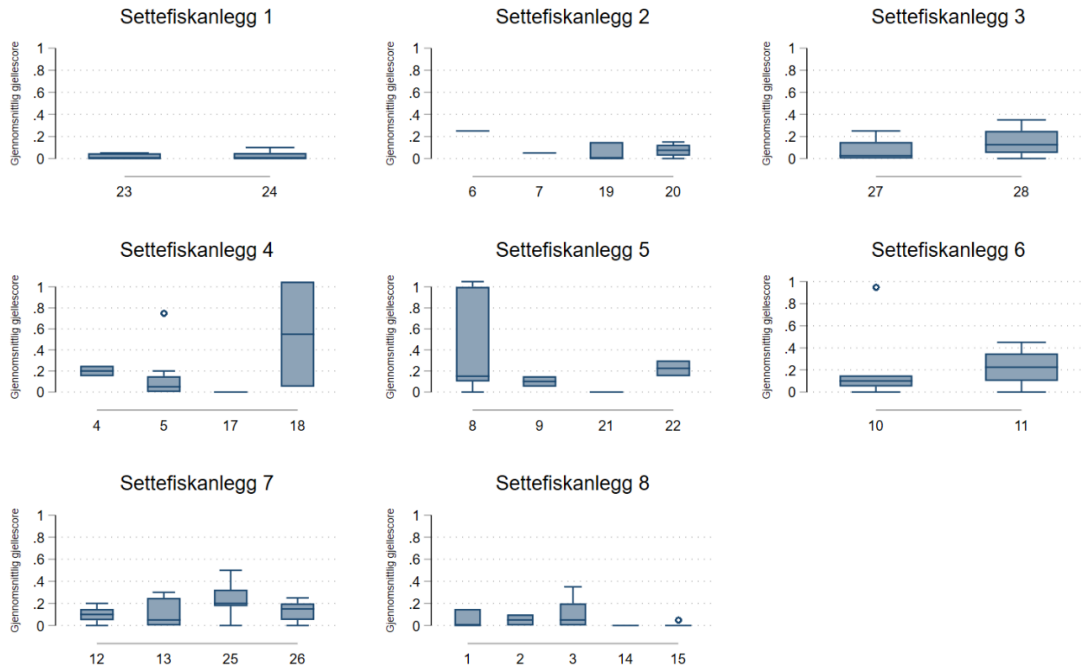
6.1.4 Datasett 4

Dette datasettet er samlet inn i forbindelse med prosjektet Optismolt (FHF 901793). Her er 27 fiskegrupper fulgt fra settefisk til sjø, de 27 gruppene stammet fra 8 settefiskanlegg. Fiskegruppene ble undersøkt åtte ganger, fire i settefiskfasen og fire i sjøfasen, scoringene ble gjennomført av fiskehelsepersonell og var i henhold til Laksvel. Optismolt-prosjektet er ikke avsluttet så det er ikke et komplett materiale som ligger til grunn for disse analysene, i tillegg har noen fiskegrupper gått ut tidligere enn planlagt. Totalt var det 3152 scoringer av gjellelokk, hvor 1722 var utført i settefiskfasen og 1430 i sjøfasen. I hele datasettet hadde 10,4 % av fisken en gjellelokkforkortelse (all score over 0), i settefiskfasen var det 10,6 % mens det på sjø var 10,3 %. Det var altså ingen forskjell i det totale datamaterialet mellom sjø- og settefiskfasen, eller mellom uttakstidspunktene (figur 12). De 27 fiskegruppene kom fra totalt 8 settefiskanlegg (figur 13), en logistisk regresjonsanalyse, hvor alle med en score over 0 ble klassifisert som forkortet gjellelokk, fant ingen signifikant forskjell mellom settefiskanleggene i denne studien. Det var heller ingen signifikant forskjell mellom sjøanleggene, men enkelte anlegg hadde uttak hvor 100 % av fisken hadde en score 1 eller høyere (figur 14). Det var heller ingen signifikante forskjeller mellom uttakstidspunktene generelt i disse populasjonene (figur 15), kun to populasjoner endret seg vesentlig over tid.

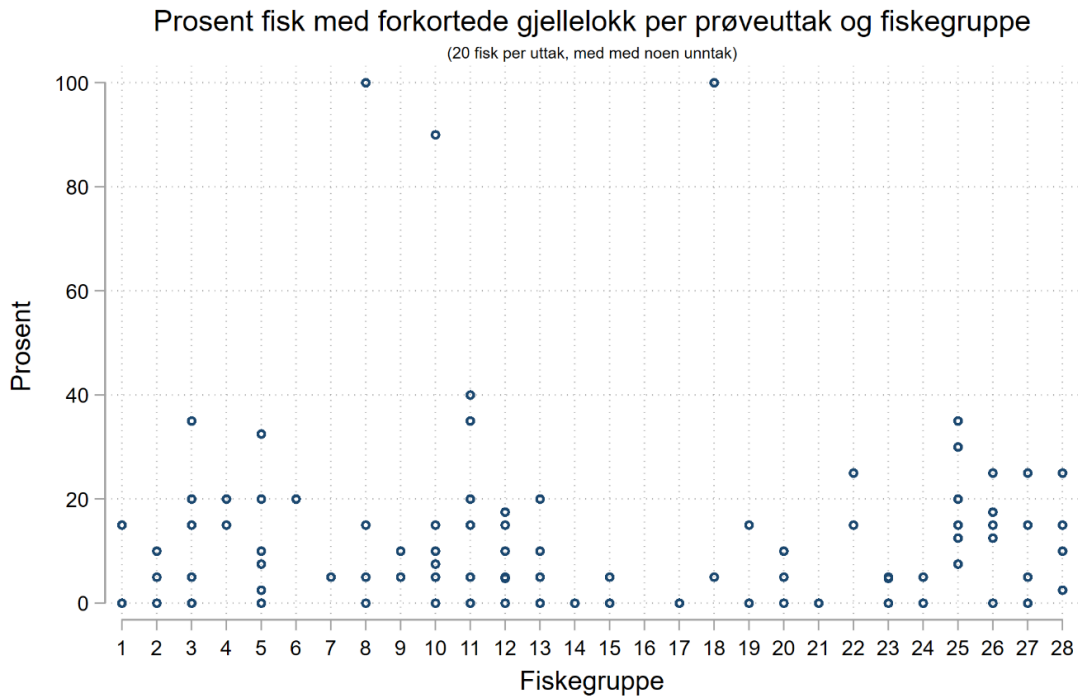


Figur 12. Fordeling av gjennomsnittlig gjellelokkforkortelse-score gjennom livsfasene til laksen, for alle dataene.

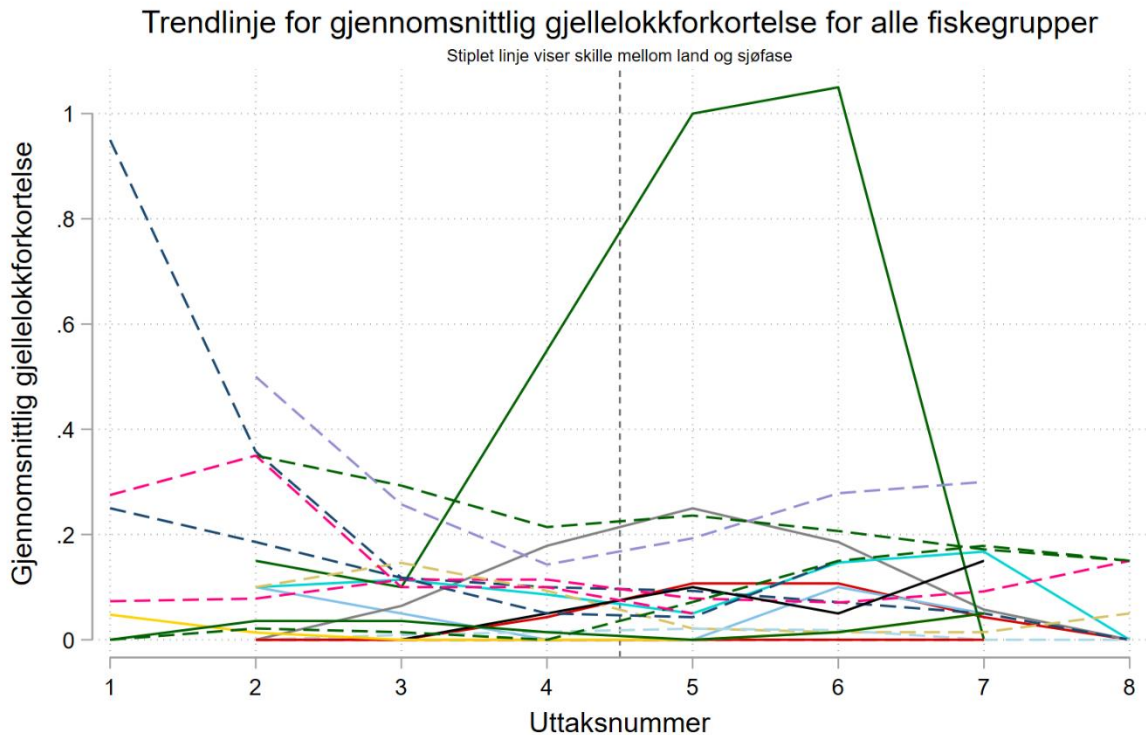
Gjennomsnittlig gjelleslokkcore per fiskegruppe, fordelt på settefiskanlegg



Figur 13. Box plot av gjelleslokkcore hos alle fiskegrupper fordelt på settefiskanlegg.



Figur 14. Fordelingen av andelen fisk med forkortede gjellelokk (score over 0) per gruppe og prøveuttak.



Figur 15. Utvikling over tid per fiskegruppe.

Det finnes ingen vitenskapelige studier som har undersøkt om det er forskjell i forekomst av gjellelokkforkortelse hos kommersielt oppdrettet laks i RAS sammenlignet gjennomstrømningsanlegg. Dette datasettet inneholdt 9 fiskegrupper fra 3 gjennomstrømningsanlegg og 18 fiskegrupper fra 5 RAS-anlegg. Men siden det var flere av gruppene som stammet fra RAS som gikk ut tidlig eller hvor datainnsamlingen ikke er ferdig enda så er det 1342 fisk som stammet fra gjennomstrømming og 1971 som stammet fra RAS med i analysen. Her ble det gjennomført en multilevel logistisk regresjonsanalyse, hvor alle med en score over 0 ble klassifisert som forkortet gjellelokk, og hvor fiskegruppe ble lagt inn som nivå i analysen for å justere for clustering på fiskegruppe. Analysen fant at fisk fra RAS-anlegg hadde en odds på 3,7 for å ha gjellelokkforkortelse ($p=0,006$) sammenlignet med fisk fra gjennomstrømningsanlegg.

Vi ønsket også å se om det var en samvariasjon mellom gjellelokkforkortelse og finneslitasje på fiskenivå, men det var ikke et tegn til samvariasjon i dette materialet.

6.1.5 Datasett 5

Dette datasettet stammer fra et eksperimentelt forsøk hvor man også registrerte gjellelokkforkortelse på en skala fra 0 til 3 på både høyre og venstre side. Totalt ble 202 fisk undersøkt i forsøket og 32 av disse hadde en score på 1 eller mer, noe som tilsvarer 15,8 % av fisken, se detaljer i tabell 6. Det var ingen sammenheng mellom gjellelokkscore på høyre og venstre side i dette datasettet. I tillegg til gjellelokkscore så ble det scoret forkortede gjellefilamenter og blødninger i gjellevev, begge scoret fra 0-3. Det ble ikke funnet noen sammenheng mellom forkortede gjellefilamenter og forkortede gjellelokk, eller blødninger i gjellevevet og forkortede gjellelokk, i dette materialet.

Tabell 6. Fordelingen av score på høyre og venstre side.

Venstre gjellelokk	Høyre gjellelokk	
	0	1
0	170	11
1	15	3
2	3	0

6.1.6 Datasett 6

Datasettet stammer fra en longitudinell prospektiv studie som undersøkte gjellesykdom hos atlantisk laks mellom september 2018 og juni 2020 ved åtte oppdrettsanlegg i Skottland. Data fra ett anlegg ble ekskludert etter ønske fra oppdretter, så 7 anlegg med 14 fiskegrupper var grunnlaget for videre analyse. To merder per anlegg og åtte fisk per merd ble prøvetatt annenhver uke fra omtrent 1 måned før sjøsetting fram til slakt. Det var to prøveuttak per gruppe i settefiskfasen. Prøvetaking ble utført av opplært personell på anleggene eller fiskehelsepersonell fra hvert av de forskjellige selskapene involvert i prosjektet, opplært og kvalitetskontrollert av medlemmer av prosjektet for å sikre standardisering. Ulike typer data ble samlet inn, blant annet blodprøver til klinisk kjemi, gjellevev til histopatologi, atferdsavvik og miljødata. Gjellelokkstatus ble vurdert ved hvert prøveuttak og ble registrert som normal (0) eller gjellelokkforkortelse på en eller begge sider (1). Det ble gjennomført tre ulike makroskopiske gjellescoringer. AGD- og PGD-scoring ble registrert for den verste gjellebuen uavhengig av side. Totalscore ble vurdert for hele gjellenes overflate samlet og er basert på andel av gjellevev med enhver makroskopisk forandring. Scoreresultatene ble konvertert til binære (dikotome) variabler at score >1 ble registrert som 1, mens score 1 og lavere ble registrert som 0. Ytterligere detaljer om studien og prøvetaking beskrives i Boerlage et al. (2022).

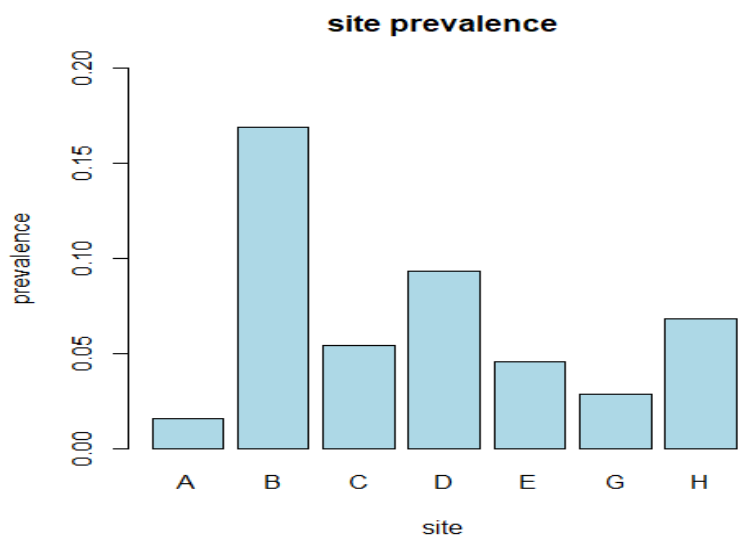
Hovedmålet med analysen var å undersøke om det finnes noen sammenhenger mellom forkortet gjellelokk, gjellehelse, fiskestørrelse og miljøforhold. Datasettet var ikke egnet til å fastslå noen årsakssammenheng. Vi tilpasset en univariat logistisk blandet effektmodell (mixed effect logistic regression) for å fastslå styrken og retningen av sammenhengen mellom forkortede gjellelokk og hver kovariat (gjellepatologi, gjellescore, produksjonsfase, fiskestørrelse, etc.) mens vi justerte for effektene av trend, sesong og tilfeldige effekter på

grunn av forskjeller mellom ulike anlegg og merder. Multivariat logistisk blandet effektmodell ble brukt til å modellere de relevante variablene som var statistisk signifikante (dvs. p-verdi < 0,05) i de univariate modellene i en og samme analyse. Se tabell 7 for en oversikt over variablene som ble inkludert i analysen.

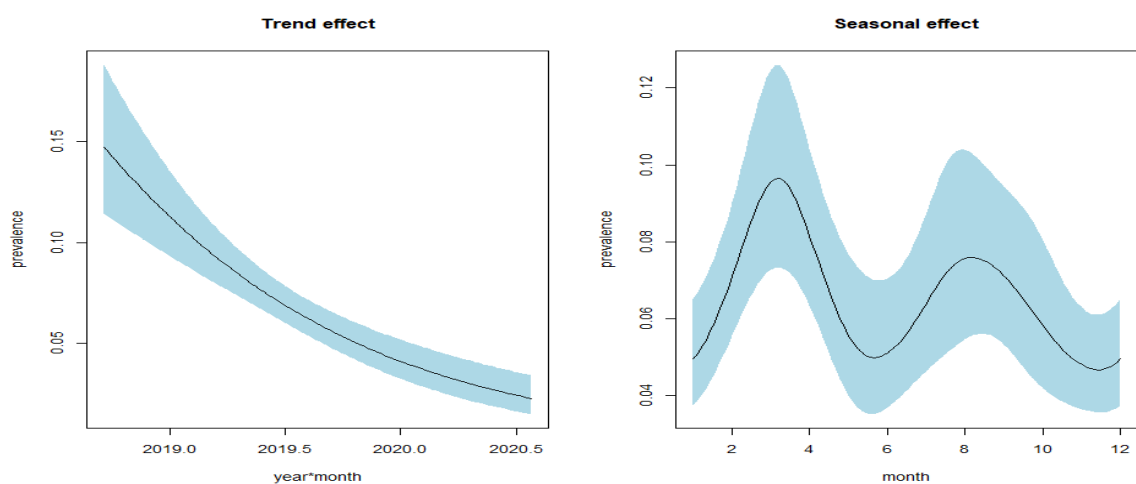
Variabel	Detaljer	Verdi	Transformasjon
Fase	Settefisk (ferskvann) Matfisk (sjøvann)		
Makroskopisk gjellescore	Total score PGD score AGD score	(0-5) (0-5) (0-5)	Score ≤ 1 = 0 Score > 1 = 1
Makroskopisk gjellepatologi	Nekrotiske filamenttupper Forkortede filamenter Pigmentering Blødning Fokal hyperemi	0-1 0-1 0-1 0-1 0-1	
Størrelse	Fiskestørrelse	Liten Gjennomsnittlig Stor	Liten = Liten Gjennomsnitt + stor = Normal
Genetikk	Genetisk stamme	A B C D	
Temperatur	Temperatur - gj. av 14 dager før prøveuttak - gj. av 2 uker tidligere (ikke inkludert uken før prøvetaking) - gj. av 3 uker tidligere (ikke inkludert 2 uker før prøvetaking)	(5.12 – 16.91) (4.77 – 17.12) (5.34 – 17.58)	

Tabell 7. Variabler inkludert i analysen. Merk: gj. = gjennomsnitt.

Gjellelokkstatus ble vurdert på totalt 3230 fisk, hvorav 223 (7 %) hadde forkortede gjellelokk. Forekomsten varierte fra 1,6 % til 17 % mellom ulike anlegg (figur 16). Det var en sesongmessig variasjon i forekomsten av gjellelokkforkortelse med to distinkte toppe. Den høyeste toppen var i mars og den mindre toppen i august. Dette mønsteret forble konsistent når alle observasjoner fra settefiskfasen ble fjernet fra modellen.

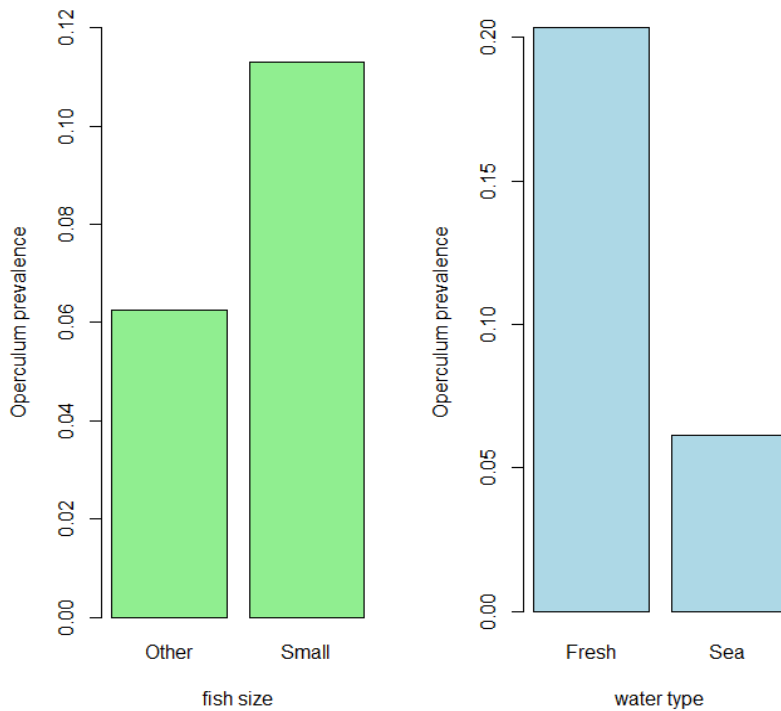


Figur 16. Prevalens av gjellelokkforkortelse ved hvert anlegg (n=7).



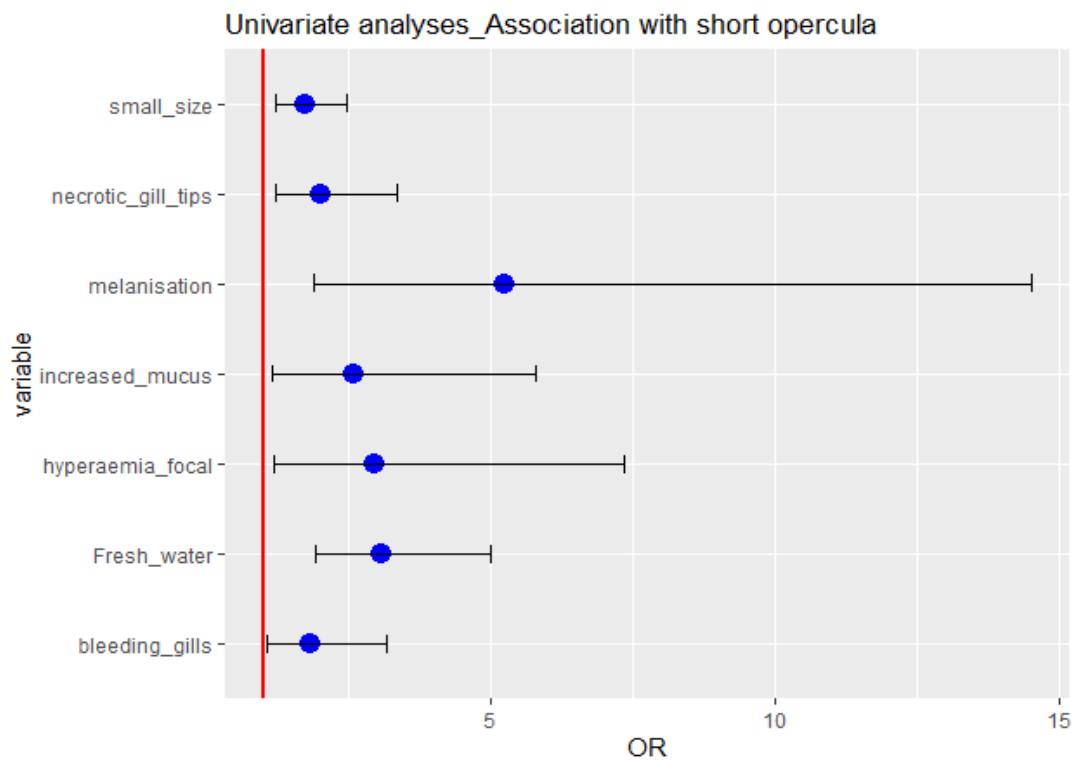
Figur 17. Effekten av tid og sesong på forekomsten av gjellelokkforkortelse.

Analysene indikerer at fisk med gjellelokkforkortelse hadde større sannsynlighet for å være små sammenlignet med fisk med normale gjellelokk (figur 18A). Forekomsten av gjellelokkforkortelse var høyere i settefiskfasen sammenlignet med sjøfasen, men det var færre observasjoner før sjøsetting enn i sjø noe som kan føre til skjevhet i estimatet av forekomst.

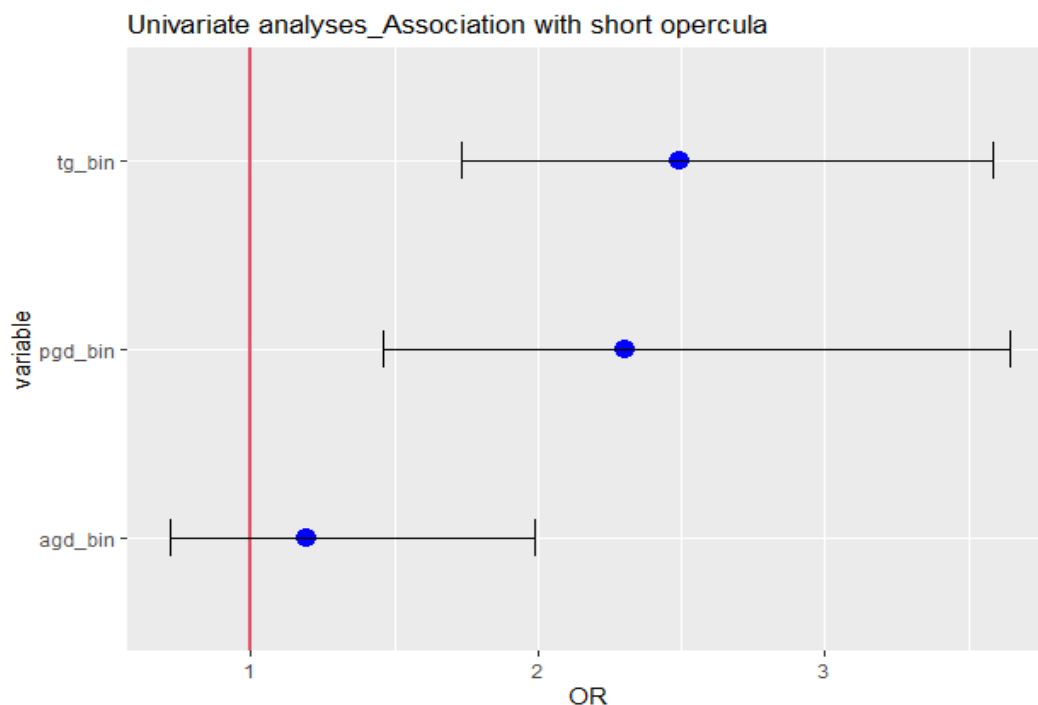


Figur 18. Prevalens av gjellelokkforkortelse hos A. Normal (Other) eller liten (Small) fisk og B. I settefisk (Fresh) eller sjøfasen (Sea).

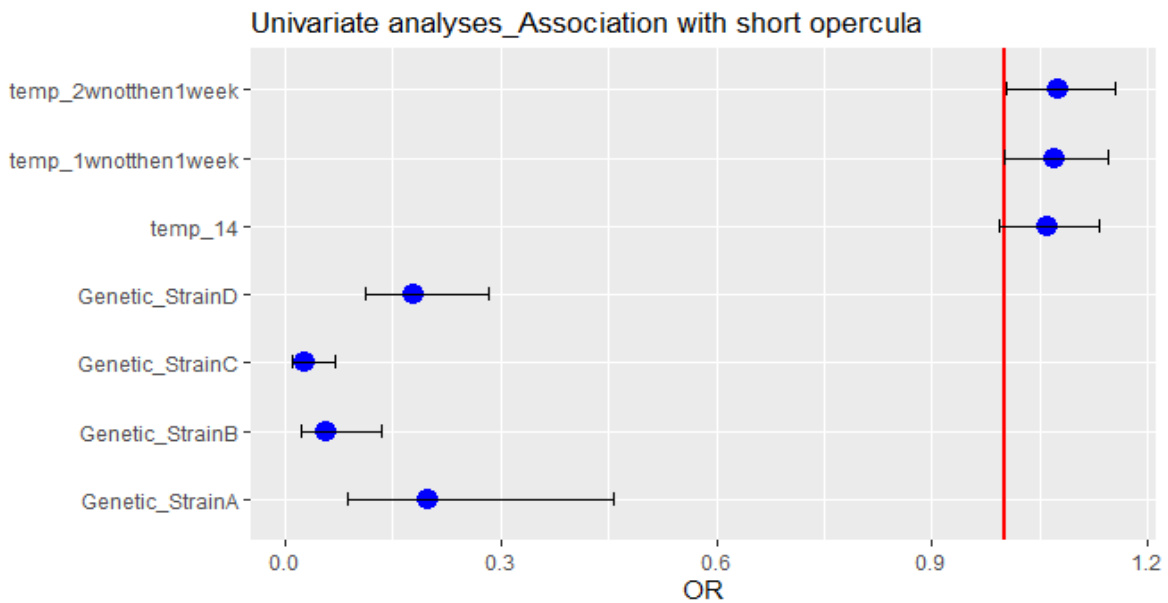
Estimatene fra de univariate modellene indikerer en positiv sammenheng mellom forkortede gjellelokk og pigmentering av gjellevevet, nekrotiske filamenttupper, økt mengde slim, hyperemi og bløding i gjellene (figur 19). Det var en sammenheng mellom makroskopisk gjellescore og forkortede gjellelokk. Figur 20 viser at forkortede gjellelokk signifikant økte sannsynligheten for at en gjelle hadde en høy total gjellescore og PGD-score. Temperatur ved forskjellige tidsperioder er positivt assosiert med forkortede gjellelokk, mens enkelte genetiske stammer hadde signifikant lavere forekomst av forkortede gjellelokk enn andre (figur 21). De ulike genetiske stammene er anonymisert etter avtale med oppdretterne som deltok i prosjektet.



Figur 19: Resultater fra univariate modeller som bruker gjellelokkforkortelse som utfallsvariabel og justerer for trend, sesong og tilfeldige effekter av merder som er nestet i anlegg.

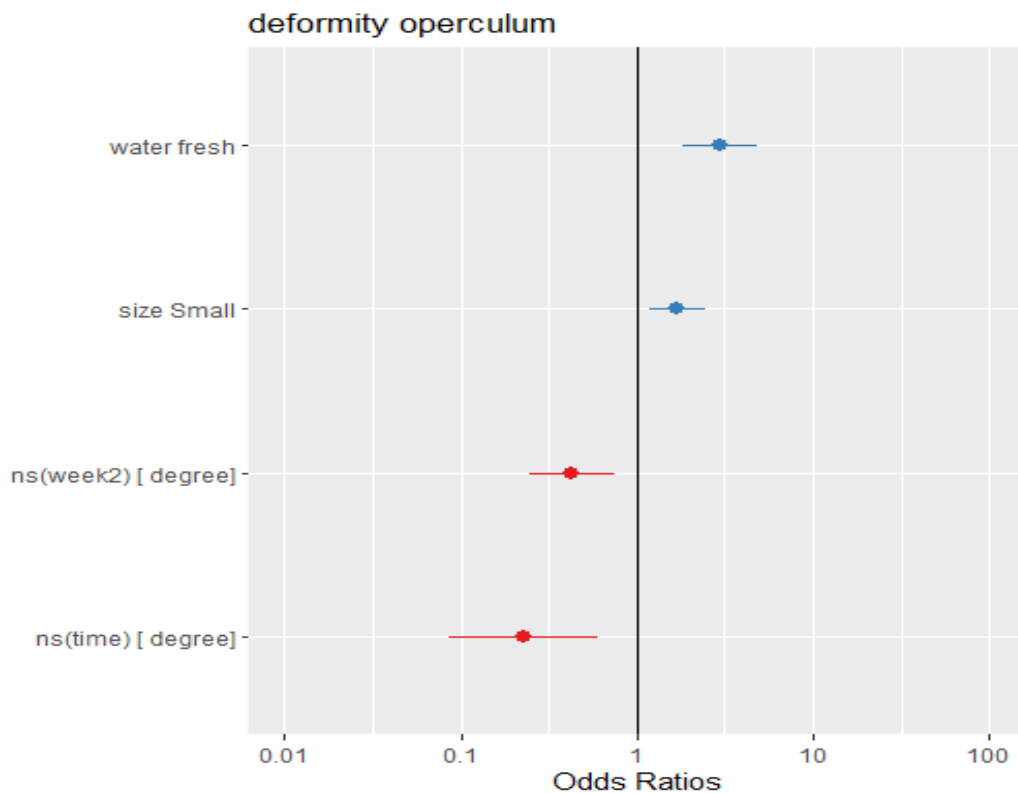


Figur 20. Resultater fra univariate modeller som bruker gjellelokkforkortelse som uavhengig variabel og justerer for trend, sesong og tilfeldige effekter av merder som er nestet i anlegg. Variablene som er undersøkt er makroskopisk gjellescore registrert som 0 eller 1 beskrevet i tabell 7. Tg_bin – makroskopisk total gjellescore, pdg_bin – PGD score, agd_bin – AGD score.



Figur 21. Resultater fra univariate modeller som bruker forkortet gjellelokk som utfallsvariabel og justerer for trend, sesongmessige og tilfeldige effekter av merder som er nestet i stedet. (Merk: temp_14 = gjennomsnittstemperatur 14 dager før prøvetaking; temp_1wnotthen1week = gjennomsnittstemperatur for 2 uker siden (ikke inkludert uken før prøvetaking); temp_2wnotthen1week = gjennomsnittstemperatur for 3 uker siden (ikke inkludert 2 uker før prøvetaking)).

Figur 22 viser resultatene fra den multivariate modellen. Når alle andre variabler i modellen holdes konstante, var sannsynligheten for at fisken hadde gjellelokkforkortelse omtrent 3 ganger (2,99; 95 % KI: 1,84-4,86) høyere når fisken var i ferskvann sammenlignet med i sjøvann. Som nevnt over bør dette resultatet tolkes med forsiktighet på grunn av få observasjoner i ferskvann. Modellestimatet indikerer at det var 1,7 (95 % KI: 1,17-2,42) ganger mer sannsynlig at fisk som var mindre enn gjennomsnittet hadde forkortede gjellelokk, sammenlignet med gjennomsnittlige eller store fisk. Når de tilfeldige effektene i den multivariate modellen ble undersøkt var det klart at effekten på grunn av forskjeller mellom anlegg er langt større enn mellom fiskegrupper innenfor samme anlegg. Forskjellen mellom ulike anlegg var altså større enn forskjellene mellom ulike merder innad i samme anlegg. Dette tyder på at anleggsspesifikke faktorer som historikken til fiskegruppene ved anlegget, lokale miljøforhold og produksjons- og driftstiltak være viktige for å forklare forskjellene i forekomsten av gjellelokkforkortelse blant de ulike anleggene.



Figur 22. Estimatenne for faste effekter fra den multivariate modellen som bruker forkortede gjellelokk som utfallsvariabel og justerer for trend, sesong og tilfeldige effekter av merd som er nestet i anlegg.

6.2 Pilot -oppfølging av dødfisk i forbindelse med NFR-prosjekt (NFR 336354)

I denne pilotstudien ble dødfisk tildelt en dødsårsak, og vanlige makroskopiske patologiske forandringer ble registrert for 594 dødfisk fra tre fiskegrupper, undersøkelsene ble foretatt henholdsvis 1 dag før avlusing, 1 dag etter, 3-4 dager etter og 11-13 dager etter avlusing (Ringstad et al.). Gjellelokkforkortelser ble registrert og gradert i henhold til Laksvel rapporten (Nilsson et al., 2022). Formålet med denne delen var å se om fisk med forkortede gjellelokk var overrepresentert blant dødfisken etter avlusing. De tre fiskegruppene inkludert i denne studien hadde veldig lav forekomst av gjellelokkforkortelse, kun 13 fisk av 594 hadde forkortede gjellelokk, så denne oppgaven kunne ikke gjennomføres som planlagt.

6.3 Oppsummering og hovedfunn AP4

Datsettene undersøkt viste en svært høy variasjon i forekomst av gjellelokkforkortelse fra 7,3 % til 54 % for laks og over 20 % på regnbueørret. I datsett 4 der gjellelokkstatus hos atlantisk laks ble undersøkt gjentatte ganger i løpet produksjonen hadde noen av gruppene opp til 100 % forekomst ved enkelte undersøkelsestidspunkt, og en av disse gikk ned til 0 % forekomst ved neste undersøkelse. Det var kun to grupper i dette datasettet hvor forekomsten endret seg så betraktelig over tid, de andre gruppene hadde en relativt stabil

forekomst fra settefiskfasen og helt fram til slutten av sjøfasen. Datasett 6 viste en tre ganger så høy forekomst i ferskvann som i sjø-

To av datasettene på atlantisk laks hadde scoringer på både høyre og venstre side. I datasett 3 fra kommersielt oppdrettet laks var det en sammenheng mellom gjellelokkforkortelse på høyre og venstre side mens det i datasett 5 fra en forskningsstasjon ikke ble funnet en sammenheng. Datasett 3 var også datasettet med en svært høy forekomst av gjellelokkforkortelse.

To datasett, datasett 5 og 6, hadde både scoring av gjellelokkforkortelse og forandringer i gjellevevet. For datasett 5 ble det ikke funnet noen sammenheng med forkortede gjellelokk og korte filamenter eller blødninger i gjellevev, men dette kan skyldes at det var få fisk med moderat til alvorlig gjellelokkforkortelse i materialet (score 2-3). En bimodal sesongvariasjon i forekomsten av gjellelokkforkortelse ble observert i datasett 6. Andelen fisk med gjellelokkforkortelse falt over tid i løpet produksjonen. Forekomsten av gjellelokkforkortelse var signifikant assosiert med makroskopisk gjellescore, ulike typer gjellepatologi, fiskestørrelse og produksjonsfase. Det var større variasjon i forekomsten av gjellelokkforkortelse mellom ulike anlegg enn mellom ulike fiskegrupper innad i samme anlegg.

7. Oppsummering og diskusjon

7.1 Risikofaktorer og årsaker

Litteraturgjennomgangen og erfaringene fra næringa viser at det mange ulike årsaker til gjellelokkforandringer og gjellelokkforkortelse hos laksefisk. Respondentene fra næringa trakk fram aggresjonsatferd og napping av gjellelokk som en direkte årsak til gjellelokkforkortelse, og risikofaktorene som ble beskrevet var i hovedsak faktorer som økte slik atferd. Ett tilfelle med mistanke om kalsiummangel og ett tilfelle der man mistenkte mekanisk skade på gjellelokkene ved tilsetning av vann ble også nevnt. I sjøfasen ble skader i forbindelse med håndtering og avlusning eller aggresjon fra leppefisk trukket frem som mulige årsaker. Felles for gjellelokkforandringer som skyldes ernæringsbetingede, hormonelle, toksiske eller infeksjøs sykdommer er at disse tilstandene oftest vil føre til flere tegn til sykdom og ofte også andre deformiteter eller morfologiske forandringer i tillegg til å føre til unormale gjellelokk. Det vil si at gjellelokkforandringene i disse tilfellene som regel er en del av en sykdomsprosess som omfatter hele skjelettsystemet eller flere organsystemer. Vi mener at disse tilstandene derfor kan skilles fra gjellelokkforandringer som forekommer alene og antageligvis har andre årsaker og risikofaktorer.

En rekke risikofaktorer i forbindelse med produksjon- og driftsforhold er undersøkt i ulike studier. I én studie foretatt ved Nofima Centre for Recirculation in Aquaculture fant man ved 2 av 9 tidspunkt høyere forekomst av gjellelokkforkortelse hos atlantisk laks holdt i kar med gjennomstrømming sammenlignet med fisk fra kar med RAS (Kolarevic et al., 2014). Resultater fra data fra kommersielt oppdrettet laks (datasett 6) viser i kontrast til dette at fisk fra RAS-anlegg hadde 3,7 ganger så høy sannsynlighet for å ha gjellelokkforkortelse ($p=0,006$) sammenlignet med fisk fra gjennomstrømningsanlegg. I én studie fant man høyere forekomst og alvorlighetsgrad av gjellelokkerosjon hos startfôringsyngel holdt ved høyere tetthet enn ved lavere tetthet (Larsen et al., 2015). I en annen studie fant man mest gjellelokkforkortelse blant yngelen holdt ved lavest tetthet på ett tidspunkt, men ikke på et senere tidspunkt (Kvernes, 1990). Respondentene fra næringa beskrev både for høy og for lav tetthet som mulige risikofaktorer for gjellelokkforkortelse. I tillegg ble for store startfôringskar og utforming av karene nevnt for faktorer som kan påvirke fordeling av yngelen i karene og øke risikoen for aggresjon. For lav eller høy strømhastighet ble også oppgitt som risikofaktorer for aggresjon og gjellelokkforkortelse. I to studier ble det funnet høyere forekomst av gjellelokkerosjon eller forkortelse på den siden av fisken som vendt inn mot midten av karet (høyre eller venstre side avhengig av strømrretning), men effekten av strømstyrke eller karutforming på forekomsten av gjellelokkforkortelse er ikke undersøkt i noen studier. I to studier er høyt totalgasstrykk (110 %) og dannelse av gassbobler i munnhulen hos nyklekket regnbueørret yngel (*O. mykiss irideus*) satt i sammenheng med påfølgende utvikling av gjellelokkmalformasjoner og dødelighet (Jensen, 1980, 1988). Det

var ingen effekt av ulike oksygenmetninger i vannet (50, 75 og 100 %) under rogn og tidlig yngelstadiet på forekomst av gjellelokkmalformasjoner hos regnbueørret (Jensen, 1988). Blant andre fiskearter er det vist at både for høyt (Vermeulen et al., 2023) og for lavt (Cadiz et al., 2018) oksygennivå i larvestadiet kan føre til økt risiko for gjellelokkdeformiteter.

Flere respondenter fra næringa mente at utilstrekkelig førtildeling i startfôringsfasen var den viktigste risikofaktoren for gjellelokkforkortelse, og at underfôring førte til napping, bittskader og tap av gjellelokk. Sulting av startfôringsyngel angis også å føre til økt risiko for aggresjon og utvikling av gjellelokkforkortelse. Det har ikke blitt vist noen effekt av ulik fôringsfrekvens eller strategi for førtildeling (plassering av fôrautomat i karet) på forekomsten av gjellelokkesjoner hos laks (Larsen et al., 2018). Men i én studie er det vist at graden av ytre skader i finner hud, gjellelokk osv. er lavere blant laks som har fri tilgang til fôr, sammenlignet med laks som får restriktiv fôring (Kolarevic et al., 2013). Det er ikke identifisert noen studier der man har undersøkt effekten av sulting eller beskrevet tilfeller med økt forekomst av gjellelokkforkortelse etter episoder med sulting.

Mange av respondentene fra oppdrettsnæringa mener at alle faktor fører til suboptimalt karmiljø kan øke risikoen for napping og bittskader på gjellelokk. Eksempelvis ble høy partikkelmengde og brå endringer i lysstyrke eller vanntemperatur nevnt. En produsent mente også at høy temperatur i inkubasjonsfasen kunne være relatert til gjellelokkdeformiteter. Det er beskrevet høyere forekomst av gjellelokkdeformiteter hos laks som stammer fra rogn inkubert ved en vanntemperatur 14°C i forhold til ved 8°C (Ørnsrud et al., 2004). I to andre studier fant man ingen forskjell i forekomst hos laks (Eriksen et al., 2007) eller regnbueørret (Jensen, 1980) som kom fra rogn inkubert ved henholdsvis 8 eller 10°C og 8, 10 eller 12°C. I næringen dag benyttes det sjelden temperatur over 8 °C til inkubasjon av lakserogn. Studier på settefisk viser ikke noen tydelig effekt av vanntemperatur på forekomsten gjellelokkforandringer hos dette livsstadiet av atlantisk laks (Amoroso, Adams, et al., 2016; MacLean, 1999). I én studie ble det funnet forskjell i forekomst av gjellelokkforkortelse hos smolt avhengig av lysregime brukt for smoltifisering (Taylor et al., 2012), og det er også beskrevet høyere forekomst hos smolt holdt i ferskvann i forhold til sjøvann de siste månedene før sjøsetting (Sadler, 2000; Sadler et al., 2001). Høyt stress hos hunnstamfisk, i én studie simulert ved å injisere laks med kortisol, er også satt i sammenheng med høyere forekomst av gjellelokkdeformiteter hos avkommet (Eriksen et al., 2007).

Traumer som følge av å bli fanget i nøter eller utsatt for sterke vannstråler kan medføre akutte skader i gjellelokkene (Guensch et al., 2003; Havn et al., 2023; Neitzel et al., 2004). Det er rimelig å anta at skader på gjellelokkene kan oppstå i forbindelse med trengning og ikke-medikamentell avlusning, men det finnes ingen studier som har undersøkt dette. Ulike

forfattere har foreslått en rekke ulike årsaker til gjellelokkforandringer inkludert bittskader, mekanisk skade fra for sterk vannstrøm i kar i settefiskfasen, gassbobler, hyperventilering, inntak for store fôrpartikler eller slitasjeskader fra kontakt med karvegg eller andre fisk (Beraldo et al., 2003; Blaker & Ellis, 2022; Jensen, 1980, 1988; Larsen et al., 2015; MacLean, 1999; Vermeulen et al., 2023). Respondenter fra næringa har satt gjellelokkforkortelse i sammenheng med mulig mekanisk skade ved hurtig tilsetning av vann i settefiskfasen, samt håndtering, avlusning og aggresjon og bittskader fra leppefisk i sjøfasen. Vi har ikke funnet noe vitenskapelige studier der man har vist eller undersøkt sammenhengen mellom aggresjon mellom fisk og forekomsten av gjellelokkforkortelse. Studier som viser en direkte årsakssammenheng mellom sterk vannstrøm, hyperventilering, inntak for store fôrpartikler, aggresjon fra leppefisk eller slitasjeskader fra kontakt med karvegg eller andre fisk og gjellelokkforkortelse eller gjellelokkdeformiteter har vi heller ikke klart å finne.

Det var ingen studier som omhandler sammenhengen mellom genetikk og gjellelokkforandringer som er direkte relevante for norsk oppdrett av laks eller ørret. Flere av respondentene fra næringa beskrev mer gjellelokkforkortelse blant stammer avlet for hurtig vekst og satt dette i sammenheng med høy appetitt og økt risiko for aggresjon ved suboptimal fôring. De fleste vitenskapelige studiene omhandler effekten av ploiditet, der flertallet av studiene viser at triploide fisk ikke har høyere forekomst av gjellelokkforandringer enn diploide fisk. En studie fra Litauen viser ulik forekomst av gjellelokkforandringer hos laks med opphav fra ville og domestiserte stammer, noe som kan indikere en genetisk effekt på forekomsten gjellelokkforandringer, men vi har ikke funnet tilsvarende studier der man undersøker forekomsten av gjellelokkforkortelse eller gjellelokkdeformiteter hos laks med ulikt genetisk opphav i Norge eller andre store lakseproduserende land.

Feilernæring, toksiske og hormonelle påvirkninger og infeksjose agens kan føre til forandringer i gjellelokkene. Mangel på fosfor (Baeverfjord et al., 1998; Deschamps et al., 2016; Uyan et al., 2007; Witten et al., 2016), vitamin C (Chávez de Martínez, 1990; Fracalossi et al., 1998; Fraser & De Nys, 2011; Halver et al., 1969; Imanpoor et al., 2017; Phromkunthong et al., 1993), vitamin E (Bai & Lee, 1998) og vitamin A (Aoe et al., 1968; Guimarães et al., 2014; Tutas et al., 2013), samt overlast av vitamin A (Fernández et al., 2008; Fernández et al., 2009; Tutas et al., 2013; Villeneuve et al., 2005) kan gi unormalt myke, forkortede og/eller deformerte gjellelokk hos laksefisk og/eller andre fiskearter. De fleste av studiene gjennomført hos laksefisk har fokusert på fôrets innhold av (biotilgjengelig) fosfor, som er essensielt for mineralisering og utvikling av beinvev. I den forbindelse bør man være klar over at fosfornivåene, og forholdet mellom fosfor og energi, i kommersielle laksefôr har vist en nedadgående trend de siste tiårene. Reduksjonen skyldes delvis en bevisst reduksjon i overskuddstilskudd av fosfor, som følge av restriksjoner på fosforutslipp fra ferskvannsoppdrett i enkelte land (Baeverfjord et al., 1998). Erstatning av

fiskemel, som tradisjonelt har vært den viktigste kilden til fosfor i laksefôr, kan føre til ytterligere reduksjon av fosforinnholdet i fôret, samt redusert biotilgjengelighet av fosforet i fôret. Økt fôrutnyttelse og raskere vekst kan samtidig føre til økt fosforbehov. Dermed er den begrensede biotilgjengeligheten av fosfor i dagens kommersielle laksefôr, samt kunnskap om behovsfastsettelse for å møte fosforbehovet under dagens intensive produksjonsbetingelser, viktige problemstillinger for næringa.

Eksogen tilførsel av thyroid- og veksthormon i fôr eller vann eller innsetting av transgener som fører til økt hormonproduksjon er også forbundet med deformerte og/eller overvokste gjellelokk hos laksefisk (Devlin et al., 1995; Hegeman & Marlatt, 2021; Kang & Devlin, 2003; Saunders et al., 1985; Sullivan, 1986). En rekke ulike toksiske substanser og utslipp er satt i sammenheng med gjellelokkforandringer hos laksefisk (Billiard et al., 1999; Helder, 1981) og andre arter (Lindesjö et al., 1994; Schlueter et al., 1997; Sharples et al., 1994; Tarasco et al., 2019; Wang et al., 2022), men de fleste er det lite sannsynlig at oppdrettet laks skal eksponeres for. Men uhell ved fôrblending eller ulykker der råvann forurenses er scenario der forgiftninger kan oppstå. Systemiske bakterieinfeksjoner kan føre forandringer i gjellelokkene (Metin et al., 2020; Pasnik et al., 2007; Yildiz & Aydin, 2006), og infestasjon med parasitter i eller på overflaten av gjellelokkene kan føre til skade (Poynton & Bennett, 1985) eller cystedannelser i gjellelokkene (Taylor & Haber, 1974). Det er også rimelig å anta at en rekke ulike agens som kan affisere fiskens overflater eller fører til systemiske infeksjoner også kan affisere gjellelokkene. Noe infeksiøst agens som typisk angriper kun gjellelokkene og fører til gjellelokkforkortelse er ikke beskrevet.

7.2 Utvikling av gjellelokkforandringer over tid

I de fleste studiene der gjellelokkstatus hos laksefisk er undersøkt fra klekking blir gjellelokkforandringer først observert etter startfôring med variasjon fra 1 til 8 uker etter påbegynt startfôring, eller 780 til 1730 d° (Amoroso, Adams, et al., 2016; Blaker & Ellis, 2022; Eriksen et al., 2007; Kazlauskienė et al., 2006; Kvernes, 1990; MacLean, 1999; Sadler, 2000; Sadler et al., 2001). Det finnes likevel også rapporter om spontant forekommende gjellelokkdeformiteter hos laksefisk før startfôring (Gunstrom, 1973; Marty et al., 1997). Tilsvarende svarte de fleste respondentene fra næringa at gjellelokkforkortelse vanligvis oppstod i startfôringsfasen, men at det også kan forekomme hos plommeseckkyngel. Dette viser at gjellelokkforandringer kan forekomme på ulike tidspunkt i produksjonen og kan tyde på at det er ulike årsaker og risikofaktorer som spiller inn ved utvikling av gjellelokkforandringer før og etter startfôring. Det var ikke informasjon om tidlig settefiskfase i de tilgjengelige datasettene i arbeidspakke 4.

De fleste vitenskapelig studiene der gjellelokkstatus ble registrert gjentatte ganger hos atlantisk laks i settefiskfasen viste en reduksjon i forekomsten av gjellelokkforandringer over

tid (Amoroso, Adams, et al., 2016; Amoroso, Cobcroft, et al., 2016; Eriksen et al., 2007; Kolarevic et al., 2014; MacLean, 1999; Peruzzi et al., 2018; Skipnes, 2014; Strand & Finstad, 2006; Taylor et al., 2012), mens færre studier viste stabil (Fjelldal et al., 2007; Ørnstrud et al., 2004) eller variabel forekomst uten noe klart mønster (Amoroso, Adams, et al., 2016; Blaker & Ellis, 2022; Sadler, 2000; Sadler et al., 2001). Et fåtall studier viste økning over tid (Kazlauskienė et al., 2006; Kvernes, 1990). I studiene der fisk ble fulgt fra settefisk til matfisk eller kun sjøfasen så man en reduksjon (Kolarevic et al., 2014; Taylor et al., 2012) eller stabil forekomst over tid (Fjelldal et al., 2007; Fraser et al., 2013; Ørnstrud et al., 2004). Informantene fra næringa beskrev at det tidvis ble observert en reduksjon i forekomsten av gjellelokkforkortelse i settefiskfasen, noe de mente indikerte regenerasjon av skadde gjellelokk.

I to datasett på atlantisk laks var det mulig å beskrive forekomsten av gjellelokkforkortelse over tid. I det totale datamateriale fra Optismolt (FHF 901793) var det ingen forskjell i forekomst av gjellelokkforkortelse i settefiskfasen sammenlignet med perioden etter sjøsetting. Det var heller ingen forskjell mellom uttakstidspunktene, med unntak av 2 av totalt 27 fiskegrupper der forekomsten endret seg over tid. Det er noe overraskende at prevalensen var omtrent lik i settefiskfasen og sjøfasen, men dette kan skyldes at det i datasettet var svært lav andel av fisk med moderat til alvorlig gjellelokkforkortelse som vanligvis utsorteres. I det andre datasettet (datasett 6) med 14 fiskegrupper fra Skottland fant man en reduksjon av forekomsten av gjellelokkforkortelse i løpet av produksjonen. En slik endring i forekomst kan enten skyldes at det er en høyere dødelighet blant fisken med gjellelokkforkortelse, at den er utsortert, eller at gjellelokkene kan heles og framstå som normale. Datamaterialet undersøkt i dette prosjektet egner seg ikke til å svare sikkert på årsaken til at prevalensen reduseres.

7.3 Utseende og typer av gjellelokkforandringer

Når det gjelder de ulike formene for gjellelokkforandringer beskrevet i litteraturen og av informantene i AP3 kan disse veldig grovt deles inn i to hovedtyper. Gjellelokket har unormal form på grunn av manglende eller tapt vev, typisk beskrevet som gjellelokkforkortelse eller forkortet gjellelokk, eller gjellelokket har unormal form uten at det mangler vev. For eksempel kan bakre rand av gjellelokket være bøyd eller foldet innover og fremover (medial og kranial retning) eller gjellelokket kan være fortykket eller lenger enn normalt. I tillegg kan gjellelokkene være unormalt myke og bøyelige uten å ha unormal fasong ved mangeltilstander (Baeverfjord et al., 1998) eller ha unormal form på grunn av åpenbare akutte traumatiske skader (Guensch et al., 2003; Havn et al., 2023; Neitzel et al., 2004). Respondentene fra næringa beskriver gjellelokkforandringer hos startfôringsyngel som «aktive» skader med rufsete eller ujevn forkortelse, både ensidig og dobbeltsidig. På større fisk kan forkortelsen gjerne være formet mer som en rett linje, og det nevnes også andre

morfologiske varianter som «krøllete gjellelokk», bul på gjellelokket, eller tilfeller hvor kun tuppen av gjellelokket er brettet inn.

I svært få studier som omhandler laksefisk har forfatterne gjort detaljerte undersøkelser av anatomien i de unormale gjellelokkene og sett nærmere på hvilke knokler som affisert eller karakterisert eventuelle makro- og mikroskopiske forandringer i beinvevet. Forandringene er i stedet i all hovedsak kategorisert og beskrevet på grunnlag av ytre observasjon, og det er derfor ofte uklart hvilke av gjellelokkknoklene som er affisert og om disse har normal eller avvikende form. For eksempel beskriver Tchernavin (1939) deformerte og bøyde gjellelokk som vokste inn i gjellehulen, selv om det ved ytre undersøkelse umiddelbart så ut som majoriteten av gjellelokket var forkortet og manglet. Blaker & Ellis (2022) foreslår at det er tre hovedtyper gjellelokkforandringer hos fisk: reduksjon av gjellelokket (forkortet gjellelokk), folding av gjellelokket eller konkav depresjon i gjellelokk, men ytterligere forandringer i gjellelokket er beskrevet i litteraturen som nevnt over. I motsetning til hos gyllen havkaruss der det er publisert en rekke studier der man undersøker og sammenligner deformerte gjellelokk med normale (Beraldo et al., 2003; Galeotti et al., 1999, 2000; Koumoundouros et al., 1997; Morel et al., 2010; Ortiz-Delgado et al., 2014; Thuong et al., 2018; Thuong et al., 2017) har det ikke blitt gjennomført detaljerte morfologiske studier av gjellelokkforandringer hos laksefisk. Slike studier vil kunne føre til en økt forståelse av problemet og potensielt gi en pekepinn på mekanismene bak gjellelokkforandringer.

7.4 Registrering, gradering og oppfølging av gjellelokkforandringer

Informantene fra næringa opplyste at gjellelokkstatus undersøkes og scores i settefiskfasen, men med stor variasjon i hvordan dette gjennomføres avhengig av hvor store problemer anleggene hadde med gjellelokkforkortelse. I Norge brukes scoringssystemene beskrevet i Laksvel eller Fishwell, mens det fra Island, Skottland, Canada, Færøyene og Chile ble rapportert om ulike scoresystem eller kun registrering av normale eller unormale gjellelokk. Ved noen anlegg ble også underliggende gjellelev scoret for vevsskader. De fleste respondentene scoret ikke fisken i sjøfasen men vurderte gjellelokkstatus ved andre rutinemessige undersøkelser av fisken. Det er beskrevet en rekke ulike scoringssystemer for gjellelokkforandringer hos laksefisk i litteraturen, og flere tilfredsstillende det første kriteriet til Crissman et al. (2004) om å være klart definert. Det er derimot kun et scoringssystem der forfatterne har undersøkt i om scoringen er reproducerbar og vist gode resultater (Blaker & Ellis, 2022). Ingen forfattere har demonstrert at det er en sammenheng mellom utfall som dødelighet, tilvekst, avheling eller gjellehelse og de ulike scorekategoriene. Flere ulike score- og graderingssystem for gjellelokkforandringer rapportert for andre arter, men beskrives ikke her.

Dersom man ønsker å sammenstille registrering på gjellelokkstatus på tvers av ulike anlegg og produsenter vil det være en fordel at all fisk blir scoret med samme metode slik at dataene blir sammenlignbare. Vi mener registrering av gjellelokkstatus på begge sider separat vil være en fordel, spesielt i settefiskfasen, for å gi en bedre forståelse av problemet og mulige underliggende årsaker. Vi har ikke data registrert ved hjelp av kameraovervåkning inkludert i dette studiet, men trolig er det flere av kameraleverandørene som utfører dette. Kamerateamet til Optoscale (<https://optoscale.no/>) scorer fisk i henhold til Laksvel og har per nå registreringer fra mer enn 35 mill. fisk hvor omtrent 5 % har en gjellelokkforkortelse-score over null (personlig kommunikasjon, Jarred Knapp, Optoscale). En slik automatisk registrering vil sikre en kontinuerlig overvåkning og fjerne forskjellen mellom ulike personer som scorer fisken.

7.5 Heling av gjellelokkforandringer

Det har lenge vært en tilbakevendende diskusjon i næringen om skadede gjellelokk gror ut igjen. I intervjuene så mente de fleste at Laksvel score 1, og i noen tilfeller score 2, ser ut til å kunne regenerere, men ikke score 3 (Nilsson et al., 2022). Respondentene henviser da til gjellelokkerosjon som trolig skyldes aggresjonsatferd og beskriver at man i reparasjonsfasen kan se en tynn membran som ser ut til å dekke det skadede området. Regenerasjon av gjellelokk støttes opp av studier hvor deler av gjellelokket er fjernet i forbindelse med merking, men hvor defektene grodde ut igjen slik at de ikke kunne skilles fra umerket fisk (Pulford & Woodall, 1963; Rich, 1929; Rosburg et al., 2022). Dette gjaldt også en fiskegruppe med spontant forekommende gjellelokkerosjon hvor enkelte fisk manglet mellom 1/3 til 2/3 av gjellelokket, noe som betyr at relativt alvorlige skader ser ut til å kunne regenerere (MacLean, 1999). Tidsperspektivet for heling varierer fra omtrent 3 til 7 måneder (MacLean, 1999; Pulford & Woodall, 1963; Rich, 1929; Rosburg et al., 2022) og er sannsynligvis avhengig av graden av gjellelokkforkortelse, fiskens helsetilstand og miljøet den befinner seg i, selv det ikke finnes noen studier som undersøker hvilke faktorer som påvirker avheling av hos laksefisk. Det er nærliggende å anta at årsaken til gjellelokkforkortelsen også påvirker muligheten for regenerasjon. Fra næringen foreslås det at vanntemperatur kan ha en innvirkning på helingsprosessen. Avheling av gjellelokkdeformiteter er også beskrevet hos gyllen havkaruss (Beraldo & Canavese, 2011; De Wolf et al., 2005), og det ble vist det var en sammenheng mellom alvorlighetsgrad av deformatetene og andelen fisk med normale gjellelokk etter 16 måneder (Beraldo & Canavese, 2011). Jo mer alvorlig deformatet, jo færre fisk hadde normale gjellelokk ved prosjektslutt. Det var også betraktelig færre normale gjellelokk blant fiskene som hadde bilaterale deformateter sammenlignet med de som hadde unilaterale deformateter. Det var ingen av datasettene i arbeidspakke 4 som var egnet til å si noe sikkert om eventuell avheling av gjellelokkforkortelse.

7.6 Forekomsten av gjellelokkforkortelse hos oppdrettet laksefisk

Resultatene fra arbeidspakke 4 viste en prevalens mellom 7 % og 54 % i ulike datasett, og både intervjuer med næringen samt variasjonen i datasettene viste mellom 0 til 70 % innslag av gjellelokkforkortelse i populasjonene. Det er vanskelig å sammenligne resultatene da det er en svært høy variasjon i hvem som har foretatt scoringene og hvilket scoringssystem som er brukt. Noen av datasettene i arbeidspakke 4 har så høy forekomst at det trolig er populasjoner som er undersøkt fordi de har hatt utfordringer med forkortede gjellelokk, spesielt datasett 3 med 54 % forekomst. Det samme gjelder enkelte settefiskanlegg med høy prevalens som ble inkludert i arbeidspakke 3, men hvor man ønske å samle inn kunnskap fra «problemgrupper». Datasett 1, 4 og 6 gir trolig en bedre indikasjon for hva som er den reelle prevalensen på laks siden de inneholder scoringer fra anlegg og lokaliteter som ikke er selektert basert på historikk med gjellelokkforkortelse. I disse datasettene var prevalensen av all gjellelokkforkortelse (score over 0) i snitt 10,6 % i settefiskfasen og omtrent 7,3 til 10,4 % i sjøfasen, med overvekt av mild alvorlighetsgrad i de tilfeller dette var spesifisert (datasett 1 og 4). De vitenskapelige studiene blir ikke vurdert til å være egnet til å beskrive prevalensen av gjellelokkforkortelse under kommersielle forhold for laks eller ørret. Dette skyldes at forsøkene ofte er utført på små populasjoner, små kar, i forskningsfasiliteter, eller på grupper som er eksponert for en ytre faktor som skal «trigge» gjellelokkforkortelse.

Intervjuene med næringen avdekket også store forskjeller i forekomst mellom ulike settefiskanlegg, men dette var ikke tilfellet når 8 settefiskanlegg ble sammenlignet med statistisk analyse i arbeidspakke 4. Fiskegrupper med høy prevalens ble beskrevet fra settefiskanlegg både i Norge og utlandet, men resultatene fra arbeidspakke 3 og arbeidspakke 4 inneholder for lite grunnlag til å fastslå om det er regionale forskjeller innad Norge, eller forskjeller internasjonalt.

Når det gjelder regnbueørret så ble det fra næringen informert om enkelte fiskegrupper med høy prevalens (50 %), men også anlegg som nærmest ikke observerer deformiteten. I tillegg ble det samlet inn et datasett med over 1500 scoringer på et settefiskanlegg hvor over 20 % av ørreten som hadde gjellelokkforkortelse, men hovedsakelig av mild grad (score 1). Sistnevnte datasett er trolig ikke representativt for næringen som helhet, og erfaringene fra AP3 skisserer at prevalensen vanligvis er lavere enn dette.

7.7 Betydning og konsekvens av forandringer i gjellelokk

Både erfaring fra næringsrepresentanter, vitenskapelige studier og innsamlet data (datasett 6) viser at det er en sammenheng mellom gjellelokkforkortelse og gjellehelse. I arbeidspakke 3 ble det beskrevet skader og nekrose i gjellevev og mistanke om bakterieinfeksjoner i gjellen hos fisk med gjellelokkforkortelse. Fiskegrupper velges sjeldent bort på grunn av

gjellelokkforkortelse alene, men det tas hensyn til gjellelokkstatus ved valg av lokalitet i enkelte tilfeller. En sammenheng mellom gjellelokkforandringer og skader og/eller deformiteter i underliggende gjellevev er beskrevet i flere vitenskapelige studier, men vi har ikke funnet studier der man har gjort en statistisk analyse for å se om sammenhengen mellom gjellepatologi og gjellelokkforandringer er signifikant eller ikke (Blaker & Ellis, 2022; Jørgensen & Rød, 2019; Kirczuk & Domagala, 2009; Osburn, 1911). Det er heller ingen studier som har undersøkt om laksefisk med forkortede eller deformerte gjellelokk er mer utsatt for gjelleinfeksjoner, selv om en slik sammenheng er foreslått av flere forfattere. Én studie viste at laks med forkortede gjellelokk var mer utsatt for blødninger og aneurismer i gjellene under ikke-medikamentell avlusning enn fisk med normale gjellelokk (Jørgensen & Rød, 2019). Forandringer beskrevet i gjellene omfatter tap og fortykkede filamenter (Blaker & Ellis, 2022), gjellenekrose (Jørgensen & Rød, 2019), deformiteter i gjelle (Kirczuk & Domagala, 2009; Tchernavin, 1939) og tap av lamella, fortykkede filamenttupper og epitelial hyperplasi (Osburn, 1911).

Analysen av datasett 6 fra Storbritannia viser at det var en statistisk signifikant sammenheng mellom gjellelokkforkortelse og gjellepatologi som pigmentering av gjellevevet, nekrotiske filamenttupper, økt mengde slim, hyperemi og blødning i gjellene. Noen av disse forandringene er sannsynligvis et direkte resultat av at gjellevevet er mer eksponert for miljøet hos fisk med forkortede gjellelokk. Det var en sammenheng mellom makroskopisk gjellescore og forkortede gjellelokk, der fisk med gjellelokkforandringer hadde signifikant høyere sannsynlighet for å ha høy total gjellescore og PGD-score. Upubliserte data fra Universitetet i Tromsø viser også en sammenheng mellom gjellehelse, spesifikt mellom filamentlengde og forkortede gjellelokk hos settefisk og er i tråd med resultatene fra Storbritannia (personlig kommunikasjon Tore Seternes, UiT). I et mindre datasett som omfattet 202 fisk ved en forskningsstasjon ble det ikke funnet noen sammenheng med forkortede gjellelokk og korte filamenter eller blødninger i gjellevev. Det var veldig få fisk med uttalt gjellelokkforkortelse (score 2 eller 3), og anekdotisk er det antatt at jo mer gjellevev som er ikke beskyttet av gjellelokket jo flere forandringer vil man se i gjellevevet. Dette kunne ikke undersøkes i datamaterialet tilgjengelig, men kan være en mulig forklaring på de negative resultatene.

Når det gjelder sammenhengen mellom dødelighet og gjellelokkforandringer i settefiskfasen viser ulike studier motstridende resultater, fra ingen effekt av avklippede gjellelokk på dødeligheten (Pulford & Woodall, 1963) til høyere dødelighet hos yngel med gjellelokkforkortelse fra klekking til 780 d° (Kvernes, 1990). I sjøfasen ble det vist høyere dødelighet etter håndtering blant laks med gjellelokkforkortelse (Burnley et al., 2012). Dette samsvarer med oppfatningen fra informantene i næringa som beskriver høyere dødelighet hos fisk med stygge gjellelokk og mistanker om økt dødelighet av fisk med gjellelokkforkortelse etter sjøsetting og i forbindelse med håndtering og avlusning. Funnet av

reduisert sannsynlighet for å dø av BKD blant fisk med gjellelokkdeformiteter er sannsynligvis en tilfeldighet (Burnley et al., 2010). Blant andre fiskearter er det også vist at gjellelokkforandringer kan føre til økt dødelighet (Sumagaysay et al., 1999), og reduserer fiskens toleranse for og overlevelse ved negative påvirkninger som ugunstige miljøfaktorer eller infeksjose agens (Abdel et al., 2004; Cadiz et al., 2018; Schlueter et al., 1997).



Figur 23. Konsekvenser av mild gjellelokkforkortelse i sjøfasen. Bildene viser gjellelokk øverst (A-C) og gjeller nederst (D-F) fra tre ulike laks på ca. 3-4 kg med mild gjellelokkforkortelse score 1 og skader i form av gråhvite fortykkede filamenter i underliggende gjellevev i området der gjellelokket er forkortet. Foto: Åkerblå.

Majoriteten av studiene der man har undersøkt sammenhengen mellom vekt og/eller lengde viser en sammenheng gjellelokkforandringer og lavere vekt og/eller kortere lengde hos laksefisk (Burnley et al., 2010; Eriksen et al., 2007; Kvernes, 1990) og hos andre fiskearter (Abdel et al., 2004; Al-Harbi, 2001; Hilomen-Garcia, 1997; Schlueter et al., 1997; Sumagaysay et al., 1999; Verhaegen et al., 2007; Yue et al., 2022), selv om noen få studier med indusert gjellelokkforkortelse ikke viser en slik sammenheng (Pulford & Woodall, 1963). Forskjellen i vekt og/eller lengde er vist både i tidlige livsstadier og ved slakt, og tyder på at gjellelokkforandringer kan påvirke veksten negativt gjennom hele livsløpet til fisken.

Resultater fra analysen av datasett 6 indikerte at fisk med gjellelokkforkortelse hadde større sannsynlighet for å være mindre enn gjennomsnittet sammenlignet med fisk med normale gjellelokk. Dette kan bety at fisk med gjellelokkforkortelse har dårligere tilvekst, men retningen av årsakssammenhengen kan ikke sikkert identifiseres i denne studien, da enkeltfisk ikke ble fulgt over tid og gjellelokkstatus og størrelse ble registrert på samme tidspunkt. I tråd med resultatene fra litteraturen og datasett 6 fortalte enkelte oppdrettere også om dårligere tilvekst hos fisk med stygge gjellelokk.

7.8 Forbyggende og avbøtende tiltak ved gjellelokkforandringer

Det ble ikke funnet noen vitenskapelige studier der forfatterne undersøker effekten av ulike avbøtende eller forbyggende tiltak ved gjellelokkforkortelse eller andre forandringer i gjellelokkene. Intervjuene i arbeidspakke 3 viser at de forebyggende tiltakene som benyttes i næringen i dag i stor grad baserer seg på hvilke risikofaktorer de ulike anleggene anser som viktigst for utviklingen av forkortede gjellelokk. Vanligst er tiltak som skal sikre tilstrekkelig fôrtildeling under startfôringen sammen med et stabilt og godt karmiljø. Det ble spesielt nevnt viktigheten av å ha tilstrekkelig overflateareal i startfôringsskarene med maksimalt 8000-12000 yngel per kvadratmeter. Det er få vitenskapelige studier der man har undersøkt sammenhengen mellom fisketetthet og gjellelokkforandringer, men en studie viser økt forekomst og alvorlighetsgrad av gjellelokkerosjon allerede ved 7500 yngel per kvadratmeter sammenlignet med kar med lav tetthet (Larsen et al., 2015). Flere av respondentene i arbeidspakke 3 opplyste også om at utsortering av taperfisk kan virke forebyggende mot utvikling av forkortet gjellelokk, siden de anser denne fisken som mer mottagelig for aggresjonsatferd. Det kan også tenkes at enkelte av taperyngel allerede har forkortet gjellelokk og derfor har hatt redusert tilvekst (Burnley et al., 2010; Eriksen et al., 2007; Kvernes, 1990), men resultatet av utsortering vil uansett være positivt. Enkelte anlegg som hadde hatt større utfordringer med forkortet gjellelokk over flere år, påpekte at det kan være vanskelig å sette inn gode forebyggende tiltak siden det ser ut til å være flere faktorer som påvirker forekomsten. For å identifisere effekten av ulike tiltak, kan det derfor være fornuftig å kun gjøre justeringer av enkeltfaktorer per kar eller innlegg, slik at årsakssammenhenger kan identifiseres.

Fra næringen ble utsortering under vaksinerings trukket fram som et effektivt skadebegrensende tiltak. Dette vurderes også til å være et positivt velferdstiltak sett i sammenheng med mulige konsekvenser av gjellelokkforkortelse inkludert skade på gjellevev (Blaker & Ellis, 2022; Jørgensen & Rød, 2019; Osburn, 1911; Tchernavin, 1939), redusert tilvekst (Burnley et al., 2010; Eriksen et al., 2007; Kvernes, 1990) og økt dødelighet (Burnley et al., 2012). Det anbefales derfor at fisk med alvorlig gjellelokkforkortelse sorteres ut av produksjonen, selv om det per i dag ikke finnes tilstrekkelig vitenskapelig litteratur til å definere en eksakt grense for hvilken alvorlighetsgrad som bør utsorteres.

7.8 Begrensninger i det eksisterende kunnskapsgrunnlaget

Et gjennomgående funn i arbeidspakke 2 er at det finnes relativt mange vitenskapelige studier der man undersøker årsaker og risikofaktorer for gjellelokkforandringer som i liten grad er relevante for kommersielt oppdrettet laks og ørret. Det finnes studier som undersøker effekten av ulike produksjons- og driftsforhold, men ofte er det svært få studier gjennomført per risikofaktor (for eksempel regimer for førtildeling) og fisken er i enkelte tilfeller holdt under driftsforhold som er annerledes enn kommersiell produksjon (for eksempel tetthet, karutforming og lignende). Tilsvarende er det relativt få studier der man har undersøkt effekten av gjellelokkforandringer på fiskens helse, produktivitet og overlevelse. Få studier per problemstilling medfører et lite og smalt grunnlag for å trekke sikre konklusjoner. Ser man på resultatene fra laksefisk og andre arter samlet blir kunnskapsgrunnlaget bredere, men samtidig er det store artsforskjeller i ulike fiskearters optimale miljøforhold og næringsbehov. I tillegg viser studiene at gjellelokkforandringer hos for eksempel gyllen havkaruss hovedsakelig er en deformitet der kaudale rand av gjellelokkene foldes inn i gjellehulen (Beraldo et al., 2003; Koumoundouros et al., 1997), mens gjellelokkforkortelse hos laks og ørret i mange tilfeller foreslås å skyldes mekanisk skade som følge av biting (napping) eller ved at gjellelokket kommer i kontakt med karvegg, utstyr eller annen fisk (Blaker & Ellis, 2022; MacLean, 1999). Dersom mekanismene bak gjellelokkforandringene er forskjellig er det rimelig å anta at risikofaktorene og løsningene på problemet også vil være det, slik at informasjon fra andre fiskearter ikke nødvendigvis er relevante for oppdrettet laks og ørret.

I arbeidspakke 3 ble semi-strukturerte intervju valgt som metode for å kunne samle inn så bredt erfaringsgrunnlag som mulig. En ulempe med denne formen er at personen som utfører intervjuene kan være forutinntatt, for eksempel knyttet til egne teorier om gjellelokkforkortelse, og at dette påvirker oppfølgingsspørsmålene. De forhåndsdefinerte spørsmålene hadde derfor stor detaljgrad for å sikre så stor grad av objektivitet som mulig i intervjufasen. En kan heller ikke utelukke at intervjuobjektene i en viss grad er usikre i intervjusituasjonen og at dette kan bidra til at enkelte problemområder underrapporteres i noen grad. Enkelte intervjuobjekter hadde også føringer fra eget selskap om at detaljer knyttet til produksjons- og smoltifiseringsrutiner ikke kunne deles, noe som reduserte erfaringsgrunnlaget i noe grad.

Arbeidspakke 4 har i stor grad benyttet data som er samlet inn uavhengig av dette prosjektet, det er derfor varierende kvalitet og egnethet til å generalisere funnene til andre populasjoner. Noen av datasettene er så store at de likevel vil gi en viss innsikt den generelle forekomsten. Kun datasett 4 og 6 er samlet inn på en måte hvor man kan se på utvikling over tid og risikofaktorer, men datasett 4 ikke er fullstendig og klart for analyse. For å kunne svare opp flere av de sentrale kunnskapshullene må det samles inn dedikerte data.

8. Leveranser

8.1 Presentasjoner og postere

- Muntlig presentasjon av prosjektet og planer for gjennomføring «Gjellelokkforkortelse hos laksefisk - en kunnskapsgjennomgang av årsaker, konsekvenser og løsninger» på Smoltinaret 2024, Haugesund 10-11. april, Trondheim 17-18. april og Tromsø 24-25. april.
- Muntlig presentasjon av hovedfunn i prosjektet holdt på Frisk Fisk 2025, Tromsø.
- Muntlig presentasjon av viktigste resultater under «Smoltinaret 2025». Haugesund 2-3. april, Trondheim 9-10. april og Tromsø 23-24. april.
- Det vil bli avholdt et webinar for alle interesserte i 4. april 2025.
- Det vil avholdt ett webinar på norsk og ett på engelsk for Mowi-ansatte ila. april 2025.

8.2 Vitenskapelige publikasjoner

- Ett manuskript som omhandler litteraturstudien er under utarbeidelse og skal submitteres til «Reviews in Aquaculture».
- Det er planlagt å skrive en vitenskapelig artikkel om resultatene fra datasett 6 fra arbeidspakke 4 ila. 2025.

8.3 Andre publikasjoner

- En populærvitenskapelig artikkel som oppsummerer alle tre arbeidspakker og beskriver hovedfunn og konklusjoner i prosjektet er under utarbeidelse og skal sendes til Norsk Fiskeoppdrett eller lignende bransjepublikasjon.
- Deltagere fra prosjektet skal delta i Fiskepodden og fortelle om resultatene fra prosjektet. Episoden vil spilles inn i starten av april.

9. Vedlegg

- Vedlegg 1. Metodebeskrivelse for litteratursøk
- Vedlegg 2. Tabell over scoringssystemer for gjellelokkforkortelse
- Vedlegg 3. Spørreskjema settefisk AP3
- Vedlegg 4. Spørreskjema matfisk AP3
- Vedlegg 5. Overordnet beskrivelse av anlegg og produksjonsform AP3

10. Referanser

- Abdel, I., Abellan, E., Lopez-Albors, O., Valdes, P., Nortes, M. J. & Garcia-Alcazar, A. (2004). Abnormalities in the juvenile stage of sea bass (*Dicentrarchus labrax* L.) reared at different temperatures: types, prevalence and effect on growth. *Aquaculture International*, 12(6), 523-538. <https://doi.org/10.1007/s10499-004-0349-9>
- Al-Harbi, A. H. (2001). Skeletal Deformities in Cultured Common Carp *Cyprinus carpio* L. *Asian Fisheries Science*, 14(3), 247-254.
- Amoroso, G., Adams, M. B., Ventura, T., Carter, C. G. & Cobcroft, J. M. (2016). Skeletal anomaly assessment in diploid and triploid juvenile Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and the effect of temperature in freshwater. *Journal of Fish Diseases*, 39(4), 449-466. <https://doi.org/10.1111/jfd.12438>
- Amoroso, G., Cobcroft, J. M., Adams, M. B., Ventura, T. & Carter, C. G. (2016). Concurrence of lower jaw skeletal anomalies in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) and the effect on growth in freshwater. *Journal of Fish Diseases*, 39(12), 1509-1521. <https://doi.org/10.1111/jfd.12492>
- Aoe, H., Masuda, I., Mimura, T., Saito, T. & Komo, A. (1968). Requirement of Young Carp for Vitamin A. *Nippon Suisan Gakkaishi*, 34, 959-964.
- Baeverfjord, Åsgård & Shearer. (1998). Development and detection of phosphorus deficiency in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., parr and post-smolts. *Aquaculture Nutrition*, 4(1), 1-11. <https://doi.org/https://doi.org/10.1046/j.1365-2095.1998.00095.x>
- Bai, S. C. & Lee, K.-J. (1998). Different levels of dietary dl- α -tocopheryl acetate affect the vitamin E status of juvenile Korean rockfish, *Sebastes schlegeli*. *Aquaculture*, 161(1), 405-414. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)00288-3](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)00288-3)
- Barahona-Fernandes, M. H. (1982). Body deformation in hatchery reared European sea bass *Dicentrarchus labrax* (L). Types, prevalence and effect on fish survival. *Journal of Fish Biology*, 21(3), 239-249. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.1982.tb02830.x>
- Beraldo, P. & Canavese, B. (2011). Recovery of opercular anomalies in gilthead sea bream, *Sparus aurata* L.: Morphological and morphometric analysis. *Journal of Fish Diseases*, 34(1), 21-30. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2010.01206.x>
- Beraldo, P., Pinosa, M., Tibaldi, E. & Canavese, B. (2003). Abnormalities of the operculum in gilthead sea bream (*Sparus aurata*): morphological description. *Aquaculture*, 220(1-4), 89-99.
- Billiard, S. M., Querbach, K. & Hodson, P. V. (1999). Toxicity of retene to early life stages of two freshwater fish species. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 18(9), 2070-2077. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1897/1551-5028%281999%29018%3C2070:TORTEL%3E2.3.CO;2>
- Blaker, E. & Ellis, T. (2022). Assessment, causes and consequences of short opercula in laboratoryreared Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Animal Welfare*, 31(1), 79-89. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7120/09627286.31.1.007>
- Blood, D. C., Studdert, V. P. & Grandage, J. (1998). *Saunders Comprehensive Veterinary Dictionary* (2. utg., Bd. 1). Saunders Ltd.
- Boerlage, A. S., Ashby, A., Eze, J. I., Gunn, G. J. & Reeves, A. (2022). Field evaluation of diagnostic sensitivity (DSe) and specificity (DSp) of common tests for amoebic gill disease (AGD) and complex gill disease (CGD) in cultured Atlantic salmon (*Salmo salar*) in Scotland using Bayesian latent class models. *Preventive Veterinary Medicine*, 204, 105654. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.prevetmed.2022.105654>
- Burnley, T., Stryhn, H. & Hammell, K. L. (2012). Post-handling mortality during controlled field trials with marine grow-out Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Aquaculture*, 368-369, 55-60. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.09.006>

- Burnley, T. A., Stryhn, H., Burnley, H. J. & Hammell, K. L. (2010). Randomized clinical field trial of a bacterial kidney disease vaccine in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, 33(7), 545-557. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2010.01151.x>
- Cadiz, L., Ernande, B., Quazuguel, P., Servili, A., Zambonino-Infante, J. L. & Mazurais, D. (2018). Moderate hypoxia but not warming conditions at larval stage induces adverse carry-over effects on hypoxia tolerance of European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) juveniles. *Marine Environmental Research*, 138, 28-35. <https://doi.org/10.1016/j.marenvres.2018.03.011>
- Castro, J., Pino-Querido, A., Hermida, M., Chavarrías, D., Romero, R., García-Cortés, L. A., Toro, M. A. & Martínez, P. (2008). Heritability of skeleton abnormalities (lordosis, lack of operculum) in gilthead seabream (*Sparus aurata*) supported by microsatellite family data. *Aquaculture*, 279(1-4), 18-22.
- Chávez de Martínez, M. (1990). Vitamin C requirement of the Mexican native cichlid *Cichlasoma urophthalmus* (Gunther). *Aquaculture*, 86(4), 409-416. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(90\)90329-L](https://doi.org/10.1016/0044-8486(90)90329-L)
- Chen, C. C. & Chen, S. N. (2001). Water quality management with *Bacillus* spp. in the high-density culture of red-parrot fish *Cichlasoma citrinellum* × *C. Synspilum*. *North American Journal of Aquaculture*, 63(1), 66-73. [https://doi.org/10.1577/1548-8454\(2001\)063<0066:WQMWBS>2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8454(2001)063<0066:WQMWBS>2.0.CO;2)
- Choo, P. S., Smith, T. K., Cho, C. Y. & Ferguson, H. W. (1991). Dietary excesses of leucine influence growth and body composition of rainbow trout. *Journal of Nutrition*, 121(12), 1932-1939. <https://doi.org/10.1093/jn/121.12.1932>
- Crissman, J. W., Goodman, D. G., Hildebrandt, P. K., Maronpot, R. R., Prater, D. A., Riley, J. H., Seaman, W. J. & Thake, D. C. (2004). Best Practices Guideline: Toxicologic Histopathology. *Toxicologic Pathology*, 32(1), 126-131. <https://doi.org/10.1080/01926230490268756>
- De Wolf, T., Pirone, A., Lenzi, C., Fabiani, O. & Lenzi, F. (2005, 11.03.2005). Preliminary study in the regeneration of the operculum complex in seabream (*Sparus aurata*) juveniles. Workshop "Deformities in Fish Larvae", Brussels, Belgium.
- Deschamps, M., Poirier Stewart, N., Demanche, A. & Vandenberg, G. W. (2016). Preliminary study for description of bone tissue responsiveness to prolonged dietary phosphorus deficiency in rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquaculture Research*, 47(3), 900-911. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1111/are.12549>
- Devlin, R. H., Yesaki, T. Y., Donaldson, E. M. & Hew, C. L. (1995). Transmission and phenotypic effects of an antifreeze/GH gene construct in coho salmon (*Oncorhynchus kisutch*). *Aquaculture*, 137(1-4), 161-169. [https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01090-4](https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/0044-8486(95)01090-4)
- Donaldson, L. R. & Bonham, K. (1964). Effects of Low-Level Chronic Irradiation of Chinook and Coho Salmon Eggs and Alevins. *Transactions of the American Fisheries Society*, 93(4), 333-341. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1964\)93\[333:EOLCIO\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1964)93[333:EOLCIO]2.0.CO;2)
- Drouin, M. A., Kidd, R. B. & Hynes, J. D. (1986). Intensive culture of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis* Mitchill) using *Artemia* and artificial feed. *Aquaculture*, 59(2), 107-118. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(86\)90124-9](https://doi.org/10.1016/0044-8486(86)90124-9)
- Eriksen, M. S., Espmark, Å., Braastad, B. O., Salte, R. & Bakken, M. (2007). Long-term effects of maternal cortisol exposure and mild hyperthermia during embryogeny on survival, growth and morphological anomalies in farmed Atlantic salmon *Salmo salar* offspring. *Journal of Fish Biology*, 70(2), 462-473. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2007.01317.x>
- Fernández, I., Hontoria, F., Ortiz-Delgado, J. B., Kotzamanis, Y., Estévez, A., Zambonino-Infante, J. L. & Gisbert, E. (2008). Larval performance and skeletal deformities in farmed gilthead sea bream (*Sparus aurata*) fed with graded levels of Vitamin A enriched rotifers (*Brachionus plicatilis*). *Aquaculture*, 283(1), 102-115. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2008.06.037>
- Fernández, I., Pimentel, M. S., Ortiz-Delgado, J. B., Hontoria, F., Sarasquete, C., Estévez, A., Zambonino-Infante, J. L. & Gisbert, E. (2009). Effect of dietary vitamin A on Senegalese sole

- (*Solea senegalensis*) skeletogenesis and larval quality. *Aquaculture*, 295(3), 250-265. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2009.06.046>
- Fjellidal, P. G., Hansen, T. J. & Berg, A. E. (2007). A radiological study on the development of vertebral deformities in cultured Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 273(4), 721-728. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.07.009>
- Fjellidal, P. G., Imsland, A. & Hansen, T. (2012). Vaccination and elevated dietary phosphorus reduces the incidence of early sexual maturation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 364-365, 333-337. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2012.08.033>
- Fracalossi, D. M., Allen, M. E., Nichols, D. K. & Oftedal, O. T. (1998). Oscars, *astronotus ocellatus*, have a dietary requirement for vitamin C. *Journal of Nutrition*, 128(10), 1745-1751. <https://doi.org/10.1093/jn/128.10.1745>
- Fraser, M. R. & De Nys, R. (2011). A quantitative determination of deformities in barramundi (*Lates calcarifer*; Bloch) fed a vitamin deficient diet. *Aquaculture Nutrition*, 17(3), 235-243. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2095.2009.00734.x>
- Fraser, T. W. K., Hansen, T., Skjaeraasen, J. E., Mayer, I., Samba, F. & Fjellidal, P. G. (2013). The effect of triploidy on the culture performance, deformity prevalence, and heart morphology in Atlantic salmon. *Aquaculture*, 416, 255-264. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2013.09.034>
- Frouël, S., Le Bihan, E., Serpentine, A., Lebel, J. M., Koueta, N. & Nicolas, J. L. (2008). Preliminary Study of the Effects of Commercial Lactobacilli Preparations on Digestive Metabolism of Juvenile Sea Bass (*Dicentrarchus labrax*). *J Mol Microbiol Biotechnol*, 14(1-3), 100-106. <https://doi.org/10.1159/000106088>
- Galeotti, M., Beraldo, P., De Dominis, S., D'Angelo, L., Ballestrazzi, R., Musetti, R., Pizzolito, S. & Pinosa, M. (1999). Histological and ultrastructural study of opercular anomalies in gilthead sea bream larvae (*Sparus aurata*). *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 19(3), 123-126. <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-0347537107&partnerID=40&md5=8044e1aaa0362e49b96a14a22d5168d3>
- Galeotti, M., Beraldo, P., De Dominis, S., D'Angelo, L., Ballestrazzi, R., Musetti, R., Pizzolito, S. & Pinosa, M. (2000). A preliminary histological and ultrastructural study of opercular anomalies in gilthead sea bream larvae (*Sparus aurata*). *Fish Physiology and Biochemistry*, 22(2), 151-157. <https://doi.org/10.1023/A:1007883008076>
- Gapasin, R. S. J., Bombeo, R., Lavens, P., Sorgeloos, P. & Nelis, H. (1998). Enrichment of live food with essential fatty acids and vitamin C: effects on milkfish (*Chanos chanos*) larval performance. *Aquaculture*, 162(3-4), 269-286. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(98\)00205-1](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(98)00205-1)
- Gapasin, R. S. J. & Duray, M. N. (2001). Effects of DHA-enriched live food on growth, survival and incidence of opercular deformities in milkfish (*Chanos chanos*). *Aquaculture*, 193(1-2), 49-63. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(00\)00469-5](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(00)00469-5)
- García-Celdrán, M., Cutáková, Z., Ramis, G., Estévez, A., Manchado, M., Navarro, A., María-Dolores, E., Peñalver, J., Sánchez, J. A. & Armero, E. (2016). Estimates of heritabilities and genetic correlations of skeletal deformities and uninflated swimbladder in a reared gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) juvenile population sourced from three broodstocks along the Spanish coasts. *Aquaculture*, 464, 601-608. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2016.08.004>
- García-Celdrán, M., Ramis, G., Manchado, M., Estévez, A., Afonso, J. M., María-Dolores, E., Peñalver, J. & Armero, E. (2015). Estimates of heritabilities and genetic correlations of growth and external skeletal deformities at different ages in a reared gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) population sourced from three broodstocks along the Spanish coasts. *Aquaculture*, 445, 33-41. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2015.04.006>
- Georgakopoulou, E., Angelopoulou, A., Kaspiris, P., Divanach, P. & Koumoundouros, G. (2007). Temperature effects on cranial deformities in European sea bass, *Dicentrarchus labrax* (L.). *Journal of Applied Ichthyology*, 23(1), 99-103. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2006.00810.x>

- Georgakopoulou, E., Katharios, P., Divanach, P. & Koumoundouros, G. (2010). Effect of temperature on the development of skeletal deformities in Gilthead seabream (*Sparus aurata* Linnaeus, 1758). *Aquaculture*, 308(1-2), 13-19. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.08.006>
- Guensch, G. R., Mueller, R. P., McKinstry, C. A. & Dauble, D. D. (2003). *Evaluation of Fish-Injury Mechanisms During Exposure to a High-Velocity Jet*. Pacific Northwest National Laboratory (U.S.).
- Guimarães, I. G., Lim, C., Yildirim-Aksoy, M., Li, M. H. & Klesius, P. H. (2014). Effects of dietary levels of vitamin A on growth, hematology, immune response and resistance of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) to *Streptococcus iniae*. *Animal Feed Science and Technology*, 188, 126-136. <https://doi.org/10.1016/j.anifeedsci.2013.12.003>
- Gunstrom, G. K. (1973). Gross physical anomalies in F1 progeny of irradiated and unirradiated Coho Salmon. *Transactions of the American Fisheries Society*, 102(2), 438-442. [https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1973\)102\[438:GPAIFP\]2.0.CO;2](https://doi.org/10.1577/1548-8659(1973)102[438:GPAIFP]2.0.CO;2)
- Halver, J. E., Ashley, L. M. & Smith, R. R. (1969). Ascorbic Acid Requirements of Coho Salmon and Rainbow Trout. *Transactions of the American Fisheries Society*, 98(4), 762-771. [https://doi.org/https://doi.org/10.1577/1548-8659\(1969\)98\[762:AAROC\]2.0.CO;2](https://doi.org/https://doi.org/10.1577/1548-8659(1969)98[762:AAROC]2.0.CO;2)
- Harris, K. C. & Hulsman, P. F. (1991). Intensive culture of lake whitefish (*Coregonus clupeaformis*) from larvae to yearling size using dry feeds. *Aquaculture*, 96(3), 255-268. [https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0044-8486\(91\)90156-2](https://doi.org/https://doi.org/10.1016/0044-8486(91)90156-2)
- Havn, T. B., Ulvan, E. M., Bøe, K. & Karlsen, D. H. (2023). *Dødelighet og skader hos stedegen laksefisk ved fiske etter pukkellaks med kilenot*. Norsk institutt for naturforskning (NINA).
- Hegeman, K. A. & Marlatt, V. L. (2021). Reproductive and thyroid endocrine axis cross-talk in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*) alevins. *General and Comparative Endocrinology*, 312, Artikkel 113855. <https://doi.org/10.1016/j.ygcen.2021.113855>
- Helder, T. (1981). Effects of 2,3,7,8-tetrachlorodibenzo-p-dioxin (TCDD) on early life stages of rainbow trout (*Salmo gairdneri*, Richardson). *Toxicology*, 19(2), 101-112. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.1016/0300-483X%2881%2990092-5>
- Hilomen-Garcia, G. V. (1997). Morphological abnormalities in hatchery-bred milkfish (*Chanos chanos* Forsskal) fry and juveniles. *Aquaculture*, 152(1-4), 155-166. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(96\)01518-9](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(96)01518-9)
- Imanpoor, M., Imanpoor, M. R. & Roohi, Z. (2017). Effects of dietary vitamin C on skeleton abnormalities, blood biochemical factors, haematocrit, growth, survival and stress response of *Cyprinus carpio* fry. *Aquaculture International*, 25(2), 793-803. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0080-3>
- Jamtvedt, G. (2013). Systematiske oversikter om effekt av tiltak. *Norsk Epidemiologi*, 23(2). <https://doi.org/10.5324/nje.v23i2.1632>
- Jensen, J. O. T. (1980). *Effect of total gas pressure, temperature and total water hardness on steelhead eggs and alevins. A progress report*. Northwest Fish Culture Conference, Cortenay, British Columbia.
- Jensen, J. O. T. (1988). Combined effects of gas supersaturation and dissolved oxygen levels on steelhead trout (*Salmo gairdneri*) eggs, larvae, and fry. *Aquaculture*, 68(2), 131-139. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(88\)90236-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(88)90236-0)
- Jørgensen, L. M. & Rød, I. H. (2019). Temporale makroskopiske og histopatologiske forandringer etter termisk avlusing hos atlantisk laks (*Salmo salar* L.). I. Norwegian University of Life Sciences, Ås.
- Kang, D. & Devlin, R. H. (2003). Effects of 3,5,3'-triiodo-L-thyronine (T3) and 6-n-propyl-2-thiouracil (PTU) on growth of GH-transgenic coho salmon, *Oncorhynchus kitsutch*. *Fish Physiology and Biochemistry*, 29(1), 77-85. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1023/B:FISH.0000035903.77056.5c>
- Kazlauskienė, N., Leliūna, E. & Kesminas, V. (2006). Peculiarities of opercular malformations of salmon (*salmo salar* L.) juveniles reared in the Žeimena salmon hatchery. *Acta Zoologica Lituanica*, 16(4), 312-316. <https://doi.org/10.1080/13921657.2006.10512747>

- Kirczuk, L. & Domagała, J. (2009). Deformations in reciprocal hybrids of salmon (*Salmo salar* L., 1758) and trout (*Salmo trutta* m. *trutta* L., 1758) aged 0+ and 1+. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 29(5), 153-162.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-79959269982&partnerID=40&md5=23da3706a3b33a27dc36340f2bf4e736>
- Kolarevic, J., Baevefjord, G., Takle, H., Ytteborg, E., Reiten, B. K. M., Nergard, S. & Terjesen, B. F. (2014). Performance and welfare of Atlantic salmon smolt reared in recirculating or flow through aquaculture systems. *Aquaculture*, 432, 15-25.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2014.03.033>
- Kolarevic, J., Selset, R., Felip, O., Good, C., Snekvik, K., Takle, H., Ytteborg, E., Baevefjord, G., Åsgård, T. & Terjesen, B. F. (2013). Influence of long term ammonia exposure on Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) parr growth and welfare. *Aquaculture Research*, 44(11), 1649-1664.
<https://doi.org/https://doi.org/10.1111/j.1365-2109.2012.03170.x>
- Koumoundouros, G., Oran, G., Divanach, P., Stefanakis, S. & Kentouri, M. (1997). The opercular complex deformity in intensive gilthead sea bream (*Sparus aurata* L.) larviculture. Moment of apparition and description. *Aquaculture*, 156(1-2), 165-177. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(97\)89294-0](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(97)89294-0)
- Kryvi, H. & Poppe, T. (2016). *Fiskeanatomi* (Bd. 1). Vigmostad & Bjørke AS.
- Kumar, V., Abbas, A. K. & Aster, J. C. (2015). Diseases of Infancy and Childhood. I V. Kumar, A. K. Abbas & J. C. Aster (Red.), *Robbins and Cotran Pathologic basis of disease* (Bd. 1, s. 451-482). Elsevier Saunders.
- Kvernes, E. L. (1990). *Gjellelokkforkortelse hos lakseyngel i oppdrett - eventuell sammenheng med miljøfaktorer* [Hovedoppgave, Norges Landbrukshøgskole]. Ås, Norway.
- LaLone, C. A., Villeneuve, D. L., Olmstead, A. W., Medlock, E. K., Kahl, M. D., Jensen, K. M., Durhan, E. J., Makynen, E. A., Blanksma, C. A., Cavallin, J. E., Thomas, L. M., Seidl, S. M., Skolness, S. Y., Wehmas, L. C., Johnson, R. D. & Ankley, G. T. (2012). Effects of a glucocorticoid receptor agonist, dexamethasone, on fathead minnow reproduction, growth, and development. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 31(3), 611-622. <https://doi.org/10.1002/etc.1729>
- Larsen, M. H., Johnsson, J. I., Naslund, J., Thomassen, S. T. & Aarestrup, K. (2015). Reduced rearing density increases postrelease migration success of Atlantic salmon (*Salmo salar*) smolts. *Canadian journal of fisheries and aquatic sciences*, 73(5), 804-810.
<https://doi.org/10.1139/cjfas-2014-0563>
- Larsen, M. H., Nemitz, A., Steinheuer, M., Lysdal, J., Thomassen, S. T. & Holdensgaard, G. (2018). *Effects of hatchery feeding practices on fin and operculum condition of juvenile Atlantic salmon *Salmo salar**. https://danmarksvildlaks.dk/wp-content/uploads/2018/04/Technical-report_feeding_opercula.pdf
- Lee-Montero, I., Navarro, A., Negrín-Báez, D., Zamorano, M. J., Berbel, C., Sánchez, J. A., García-Celdran, M., Machado, M., Estévez, A., Armero, E. & Afonso, J. M. (2015). Genetic parameters and genotype-environment interactions for skeleton deformities and growth traits at different ages on gilthead seabream (*Sparus aurata* L.) in four Spanish regions. *Animal Genetics*, 46(2), 164-174. <https://doi.org/10.1111/age.12258>
- Lindesjö, E., Thulin, J., Bengtsson, B. E. & Tjärnlund, U. (1994). Abnormalities of a gill cover bone, the operculum, in perch *Perca fluviatilis* from a pulp mill effluent area. *Aquatic Toxicology*, 28(3-4), 189-207. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(94\)90033-7](https://doi.org/10.1016/0166-445X(94)90033-7)
- MacLean, A. (1999). *Compensatory Growth, Life-History Decisions and Welfare of Farmed Atlantic Salmon (*Salmo salar* L.)* [PhD thesis, University of Glasgow]. Glasgow.
<https://theses.gla.ac.uk/id/eprint/76210>
- Mair, G. C. (1992). Caudal deformity syndrome (CDS): an autosomal recessive lethal mutation in the tilapia, *Oreochromis niloticus* (L.). *Journal of Fish Diseases*, 15(1), 71-75.
<https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1992.tb00638.x>
- Marty, G. D., Heintz, R. A. & Hinton, D. E. (1997). Histology and teratology of pink salmon larvae near the time of emergence from gravel substrate in the laboratory. *Canadian Journal of Zoology*,

75(6), 978-988.

<http://ovidsp.ovid.com/ovidweb.cgi?T=JS&PAGE=reference&D=bioba16&NEWS=N&AN=BACD199799607416>

- Metin, S., Onuk, E. E., Yardimci, B. & Didinen, B. I. (2020). First report of *Candida sake* isolated from cultured rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*, Walbaum) juveniles in Turkey. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*, 40(4), 141-147.
- Mhalhel, K., Germana, A., Abbate, F., Guerrero, M. C., Levanti, M., Laura, R. & Montalbano, G. (2020). The effect of orally supplemented melatonin on larval performance and skeletal deformities in farmed gilthead seabream (*Sparus aurata*). *International Journal of Molecular Sciences*, 21(24), 1-18. <https://doi.org/https://dx.doi.org/10.3390/ijms21249597>
- Morel, C., Adriaens, D., Boone, M., De Wolf, T., Van Hoorebeke, L. & Sorgeloos, P. (2010). Visualizing mineralization in deformed opercular bones of larval gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Journal of Applied Ichthyology*, 26(2), 278-279. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01420.x>
- Negrín-Báez, D., Navarro, A., Afonso, J. M., Toro, M. A. & Zamorano, M. J. (2016). Quantitative trait loci for a neurocranium deformity, lack of operculum, in gilthead seabream (*Sparus aurata* L.). *Animal Genetics*, 47(2), 230-233. <https://doi.org/10.1111/age.12397>
- Negrín-Báez, D., Navarro, A., Lee-Montero, I., Soula, M., Afonso, J. M. & Zamorano, M. J. (2015). Inheritance of skeletal deformities in gilthead seabream (*Sparus aurata*) –lack of operculum, lordosis, vertebral fusion and LSK complex. *Journal of Animal Science*, 93(1), 53-61. <https://doi.org/10.2527/jas.2014-7968>
- Neitzel, D. A., Dauble, D. D., Čada, G. F., Richmond, M. C., Guensch, G. R., Mueller, R. P., Abernethy, C. S. & Amidan, B. (2004). Survival Estimates for Juvenile Fish Subjected to a Laboratory-Generated Shear Environment. *Transactions of the American Fisheries Society*, 133(2), 447-454. <https://doi.org/10.1577/02-021>
- Nguyen, N. H., Whatmore, P., Miller, A. & Knibb, W. (2016). Quantitative genetic properties of four measures of deformity in yellowtail kingfish *Seriola lalandi* Valenciennes, 1833. *Journal of Fish Diseases*, 39(2), 217-228. <https://doi.org/10.1111/jfd.12348>
- Nilsson, J., Gismervik, K., Nielsen, K. V., Iversen, M. H., Noble, C., Kolarevic, J., Frotjold, H., Nilsen, K., Wilkinson, E., Klakegg, B., Hauge, H. S., Sæther, P. A., Kristiansen, T. & Stien, L. H. (2022). *Laksvel - Standardisert operasjonell velferdsovervåking for laks i matfiskanlegg* (Rapport fra havforskningen 14). Havforskningsinstituttet. <https://imr.brage.unit.no/imr-xmlui/handle/11250/2997021>
- Noble, C., Flood, M. J. & Tabata, M. (2012). Using rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* as self-feeding actuators for white-spotted charr *Salvelinus leucomaenis*: Implications for production and welfare. *Applied animal behaviour science.*, 138(1), 125-131. <https://doi.org/10.1016/j.applanim.2012.02.013>
- Noble, C., Nilsson, J., Stien, L. H., Iversen, M., Kolarevic, J. & Gismervik, K. (2018). *Velferdsindikatorer for oppdrettslaks: Hvordan vurdere og dokumentere fiskevelferd*. Nofima. www.nofima.no/fishwell
- Ortiz-Delgado, J. B., Fernández, I., Sarasquete, C. & Gisbert, E. (2014). Normal and histopathological organization of the opercular bone and vertebrae in gilthead sea bream *sparus aurata*. *Aquatic Biology*, 21(1), 67-84. <https://doi.org/10.3354/ab00568>
- Osburn, R. C. (1911). The effects of exposure on the filaments of fishes. *Transactions of the American Fisheries Society*, 40, 371-376.
- Ostrowski, A. C., Iwai, T., Monahan, S., Unger, S., Dagdagan, D., Murakawa, P., Schivell, A. & Pigao, C. (1996). Nursery production technology for Pacific threadfin (*Polydactylus sexfilis*). *Aquaculture*, 139(1-2), 19-29. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(95\)01162-5](https://doi.org/10.1016/0044-8486(95)01162-5)
- Pasnik, D. J., Evans, J. J. & Klesius, P. H. (2007). Development of skeletal deformities in a *Streptococcus agalactiae*-challenged male Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*) broodfish and in its offspring. *Bulletin of the European Association of Fish Pathologists*,

- <https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-36749057873&partnerID=40&md5=aec07903e6d92c687abfd2e11f182aa4>
- Passos Neto, O. P., Dos Santos, A. B. & Mota, S. (2022). Synthetic and natural hormones impact the zootechnical and morphological characteristics of Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). *Engenharia Sanitaria e Ambiental*, 27(2), 325-333. <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210098>
- Peruzzi, S., Puvanendran, V., Riesen, G., Seim, R. R., Hagen, Ø., Martínez-Llorens, S., Falk-Petersen, I. B., Fernandes, J. M. O. & Jobling, M. (2018). Growth and development of skeletal anomalies in diploid and triploid Atlantic salmon (*Salmo salar*) fed phosphorus-rich diets with fish meal and hydrolyzed fish protein. *Plos One*, 13(3), Artikkel e0194340. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0194340>
- Phromkunthong, W., Boonyaratpalin, M. & Verakunpiriya, W. (1993). Histopathology of the Gills of Ascorbic Acid Deficient Grouper, *Epinephelus malabaricus*. *Fish Pathology*, 28(4), 151-159. <https://doi.org/10.3147/jsfp.28.151>
- Policar, T., Blecha, M., Křišťan, J., Mráz, J., Velíšek, J., Stará, A., Stejskal, V., Malinovskyi, O., Svačina, P. & Samarin, A. M. (2016). Comparison of production efficiency and quality of differently cultured pikeperch (*Sander lucioperca* L.) juveniles as a valuable product for ongrowing culture. *Aquaculture International*, 24(6), 1607-1626. <https://doi.org/10.1007/s10499-016-0050-9>
- Poynton, S. L. & Bennett, C. E. (1985). Parasitic infections and their interactions in wild and cultured brown trout and cultured rainbow trout from the River Itchen, Hampshire. *Fish and Shellfish Pathology*, 353-357.
- Printzi, A., Jodet, S., Fournier, V., Collet, S., Madec, L., Simon, V., Zambonino-Infante, J. L., Koumoundouros, G. & Mazurais, D. (2024). Effect of early peptide diets on European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) skeletal development. *Aquaculture*, 584, Artikkel 740657. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2024.740657>
- Pulford, E. F. & Woodall, L. M. (1963). An Operculum Marking Experiment on Juvenile Chinook Salmon. *FISH COMMISSION OF OREGON*.
- Rich, W. H., Holmes, H. B. (1929). *Experiments in marking young chinook salmon on the Columbia River, 1916 to 1927*. B. o. Fisheries. Government Printing Office. <http://pi.lib.uchicago.edu/1001/cat/bib/4133676>
- Ringstad, N. K., Stormoen, M., Midtlyng, P. J. & Persson, D. Classification of Post-Delousing Mortality in Farmed Atlantic Salmon: A Case Study of Standardised Causal Classification at Fish-Level. *Journal of Fish Diseases*, e14087. <https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jfd.14087>
- Roberts, R. J., Hardy, R. W. & Sugiura, S. H. (2001). Screamer disease in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., in Chile. *Journal of Fish Diseases*, 24(9), 543-549. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1046/j.1365-2761.2001.00328.x>
- Rosburg, A. J., Davis, J. L. & Barnes, M. E. (2022). Retention of fin clips and fin and operculum punch marks in rainbow trout. *Aquaculture and fisheries.*, 7(6), 660-663. <https://doi.org/10.1016/j.aaf.2021.06.004>
- Sadler, J. (2000). *Comparison of aspects of the physiology and morphology of diploid and triploid Atlantic salmon *Salmo salar** [PhD Thesis, University of Tasmania].
- Sadler, J., Pankhurst, P. M. & King, H. R. (2001). High prevalence of skeletal deformity and reduced gill surface area in triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 198(3-4), 369-386. [https://doi.org/10.1016/S0044-8486\(01\)00508-7](https://doi.org/10.1016/S0044-8486(01)00508-7)
- Sandel, E., Nixon, O., Lutzky, S., Ginsbourg, B., Tandler, A., Uni, Z. & Koven, W. (2010). The effect of dietary phosphatidylcholine/phosphatidylinositol ratio on malformation in larvae and juvenile gilthead sea bream (*Sparus aurata*). *Aquaculture*, 304(1-4), 42-48. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.03.013>
- Saunders, R. L., McCormick, S. D., Henderson, E. B., Eales, J. G. & Johnston, C. E. (1985). The effect of orally administered 3,5,3'-triiodo-L-thyronine on growth and salinity tolerance of Atlantic

- salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 45(1-4), 143-156. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(85\)90265-0](https://doi.org/10.1016/0044-8486(85)90265-0)
- Schlueter, M. A., Guttman, S. I., Oris, J. T. & Bailer, A. J. (1997). Differential survival of fathead minnows, *Pimephales promelas*, as affected by copper exposure, prior population stress, and allozyme genotypes. *Environmental Toxicology and Chemistry*, 16(5), 939-947. <https://doi.org/10.1002/etc.5620160513>
- Shader, R. I. (2019). Risk Factors Versus Causes. *Journal of Clinical Psychopharmacology*, 39(4), 293-294. <https://doi.org/10.1097/jcp.0000000000001057>
- Sharples, A. D., Campin, D. N. & Evans, C. W. (1994). Fin erosion in a feral population of goldfish, *Carassius auratus* (L.), exposed to bleached kraft mill effluent. *Journal of Fish Diseases*, 17(5), 483-493. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.1994.tb00244.x>
- Skipnes, B. I. (2014). *Prevalence of fin erosion, shortened operculum and lesions in farmed Atlantic Salmon (Salmo salar)* [Master Thesis, Norwegian university of Science and Technology]. https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/245558/754713_FULLTEXT01.pdf
- Slaney, P. A., Ward, B. R. & Berg, L. (1990). *A preliminary assessment of the effect of external abrasion on the smolt-to-adult survival of net-pen cultured steelhead trout* (0229-1150). Province of British Columbia, Ministry of Environment.
- Slooff, W. (1982). Skeletal anomalies in fish from polluted surface waters. *Aquatic Toxicology*, 2(3), 157-173. [https://doi.org/10.1016/0166-445X\(82\)90013-3](https://doi.org/10.1016/0166-445X(82)90013-3)
- Stejskal, V., Matousek, J., Sebesta, R., Prokesova, M., Vanina, T. & Podhorec, P. (2018). Prevalence of deformities in intensively reared peled *Coregonus peled* and comparative morphometry with pond-reared fish. *Journal of Fish Diseases*, 41(2), 375-381. <https://doi.org/10.1111/jfd.12695>
- Strand, R. & Finstad, B. (2006). *Smoltproduksjonsforsøk og utsettinger av laks i Halselva og Altaelva - 2005* (1504-3312). Norsk institutt for naturforskning.
- Sullivan, C. V. (1986). *Effects of the thyroid hormone triiodothyronine and the anti-thyroid drug propylthiouracil on thyroid system function, smoltification, and marine survival of coho salmon (oncorhynchus kisutch)* [University of Washington].
- Sumagaysay, N. S., Hilomen-Garcia, G. V. & Garcia, L. M. (1999). Growth and production of deformed and nondeformed hatchery-bred milkfish (*Chanos chanos*) in brackishwater ponds. *The Israeli Journal of Aquaculture-Bamidgeh*, 51(3), 106-113. <http://hdl.handle.net/10862/995>
- Sutterlin, A. M., Holder, J. & Benfey, T. J. (1987). Early survival rates and subsequent morphological abnormalities in landlocked, anadromous and hybrid (landlocked × anadromous) diploid and triploid Atlantic salmon. *Aquaculture*, 64(2), 157-164. [https://doi.org/10.1016/0044-8486\(87\)90351-6](https://doi.org/10.1016/0044-8486(87)90351-6)
- Tarasco, M., Cardeira, J., Viegas, M., Caria, J., Martins, G., Gavaia, P., Cancela, M. & Laizé, V. (2019). Anti-Osteogenic Activity of Cadmium in Zebrafish. *Fishes*, 4(1), 11-10. <https://doi.org/10.3390/fishes4010011>
- Taylor, J. F., Leclercq, E., Preston, A. C., Guy, D. & Migaud, H. (2012). Parr-smolt transformation in out-of-season triploid Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 362-363, 255-263. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2010.12.028>
- Taylor, R. E. & Haber, M. H. (1974). Opercular cyst formation in trout infected with *Myxosoma cerebralis*. *Journal of Wildlife Diseases*, 10(4), 347-351. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.7589/0090-3558-10.4.347>
- Tchernavin, V. (1939). XVI.—Two Cases of Malformation of the Gill-covers in Salmon. *Proc. R. Soc. Edinb*, 58, 233-241. <https://doi.org/10.1017/S0370164600011147>
- Thuong, N. P., Dierick, M., De Wolf, T. & Adriaens, D. (2018). A 3D quantitative method for analyzing bone mineral densities: A case study on skeletal deformities in the gilthead sea bream, *sparus aurata* (Linnaeus, 1758). *Belgian Journal of Zoology*, 148(2), 149-166. <https://doi.org/10.26496/bjz.2018.24>
- Thuong, N. P., Verstraeten, B., Kegel, B. D., Christiaens, J., Wolf, T. D., Sorgeloos, P., Bonte, D. & Adriaens, D. (2017). Ontogenesis of opercular deformities in gilthead sea bream *Sparus*

- aurata: a histological description. *Journal of Fish Biology*, 91(5), 1419-1434.
<https://doi.org/10.1111/jfb.13460>
- Toledo, C., Orellana, P., Figueroa, G., Larson, M., Marchant, L., Martínez, V., Márquez, L. & Dantagnan, P. (2024). Malformed jaw phenotype and replacement of dietary fish oil by olive oil affect fatty acid composition, antioxidant defense and the expression of the retinoic signaling pathway in juvenile *Seriola lalandi* (Valenciennes, 1833). *Aquaculture*, 579, Artikkel 740213. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2023.740213>
- Tutas, L. B., Serrano Jr, A. E., Traifalgar, R. F. M. & Corre, V. L. (2013). Optimum dietary levels of Vitamin A (retinyl palmitate) for growth and reduction of incidence of operculum deformity in milkfish (*Chanos chanos*) fry. *AAFL Bioflux*, 6(5), 464-469.
<https://www.scopus.com/inward/record.uri?eid=2-s2.0-84881627441&partnerID=40&md5=7dc4089ef2fd0ec5499eafb1e05edd51>
- Uyan, O., Koshio, S., Ishikawa, M., Uyan, S., Ren, T., Yokoyama, S., Komilus, C. F. & Michael, F. R. (2007). Effects of dietary phosphorus and phospholipid level on growth, and phosphorus deficiency signs in juvenile Japanese flounder, *Paralichthys olivaceus*. *Aquaculture*, 267(1-4), 44-54. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.01.020>
- Verhaegen, Y., Adriaens, D., Wolf, T. D., Dhert, P. & Sorgeloos, P. (2007). Deformities in larval gilthead sea bream (*Sparus aurata*): A qualitative and quantitative analysis using geometric morphometrics. *Aquaculture*, 268(1-4 SPEC. ISS.), 156-168.
<https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2007.04.037>
- Vermeylen, V., De Kegel, B., De Wolf, T. & Adriaens, D. (2023). Skeletal deformities in gilthead seabream (*Sparus aurata*): exploring the association between mechanical loading and opercular deformation. *Belgian Journal of Zoology*, 153, 81-104.
<https://doi.org/10.26496/bjz.2023.110>
- Villeneuve, L., Gisbert, E., Le Delliou, H., Cahu, C. L. & Zambonino-Infante, J. L. (2005). Dietary levels of all-trans retinol affect retinoid nuclear receptor expression and skeletal development in European sea bass larvae. *British Journal of Nutrition*, 93(6), 791-801.
<https://doi.org/10.1079/BJN20051421>
- Wang, K., Wang, C., Wang, J., Dong, Y., Che, W. & Li, X. (2022). Acute toxicity of broflanilide on neurosecretory system and locomotory behavior of zebrafish (*Danio rerio*). *Chemosphere*, 305, Artikkel 135426. <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2022.135426>
- Witten, P. E., Owen, M. A. G., Fontanillas, R., Soenens, M., McGurk, C. & Obach, A. (2016). A primary phosphorus-deficient skeletal phenotype in juvenile Atlantic salmon *Salmo salar*: the uncoupling of bone formation and mineralization. *Journal of Fish Biology*, 88(2), 690-708.
<https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1111/jfb.12870>
- Yildiz, H. & Aydin, S. (2006). Pathological effects of *Arcobacter cryaerophilus* infection in rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* Walbaum). *Acta Veterinaria Hungarica*, 54(2), 191-199.
<https://doi.org/10.1556/AVet.54.2006.2.6>
- Yue, G. H., Wen, Y. F., Sun, F., Wang, L., Yang, Z. & Pang, H. Y. (2022). Occurrence of dorsal fin and opercular deformities and their effects on body weight in Asian seabass. *Aquaculture*, 561, Artikkel 738694. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2022.738694>
- Ørnsrud, R., Gil, L. & Waagbø, R. (2004). Teratogenicity of elevated egg incubation temperature and egg vitamin A status in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, 27(4), 213-223. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2004.00536.x>

Søk gjellelokkforkortelse

Bibliografiske databaser:

- Agricola
 - Søkt i alle bibliografiske felt
 - Søkt på artsnavn på latin og engelsk
 - Søkt på variasjoner av «gjellelokkforkortelse»
 - Ingen avgrensninger på årstall
 - Ingen avgrensninger på språk

- Cab Abstract
 - Søkt i alle bibliografiske felt
 - Søkt på artsnavn på latin og engelsk
 - Søkt på variasjoner av «gjellelokkforkortelse»
 - Ingen avgrensninger på årstall
 - Ingen avgrensninger på språk

- Embase
 - Søkt i alle bibliografiske felt
 - Søkt på artsnavn på latin og engelsk
 - Søkt på variasjoner av «gjellelokkforkortelse»
 - Ingen avgrensninger på årstall
 - Ingen avgrensninger på språk

- Biological Abstract, 1985 til February 2024
 - Søkt i alle bibliografiske felt
 - Søkt på artsnavn på latin og engelsk
 - Søkt på variasjoner av «gjellelokkforkortelse»
 - Ingen avgrensninger på årstall
 - Ingen avgrensninger på språk

- Ovid Medline @ALL
 - Søkt i alle bibliografiske felt
 - Søkt på artsnavn på latin og engelsk
 - Søkt på variasjoner av «gjellelokkforkortelse»
 - Ingen avgrensninger på årstall
 - Ingen avgrensninger på språk

- Scopus
 - Søkt i tittel, abstract og keyword
 - Søkt på artsnavn på latin og engelsk
 - Søkt på variasjoner av «gjellelokkforkortelse»
 - Ingen avgrensninger på årstall
 - Ingen avgrensninger på språk

- Web og Science
 - Søkt i alle bibliografiske felt

- Søkt på artsnavn på latin og engelsk
 - Søkt på variasjoner av «gjellelokkforkortelse»
 - Ingen avgrensninger på årstall
 - Ingen avgrensninger på språk
- Oria
 - Søkt i alle bibliografiske felt
 - Søkt på artsnavn på latin og engelsk
 - Søkt på variasjoner av «gjellelokkforkortelse»
 - Ingen avgrensninger på årstall
 - Ingen avgrensninger på språk
 - Utvidet til materiale utenfor NMBUs samlinger
 - Avgrenset til publikasjonstype artikkel, rapporter, testressurser, avhandlinger, konferansebidrag og studentoppgaver.
- Google Scholar
 - Søkt på artsnavn på latin og engelsk
 - Søkt på variasjoner av «gjellelokkforkortelse» i kun tittel
 - Ingen avgrensninger på årstall
 - Ingen avgrensninger på språk

Søkedokumentasjon

Database	Date		# Result
Agricola	19.03	((opercul* or "gill cover*" or "gill lid*") and (salmon* or "salmo salar" or "s salar" or "s salar" or "rainbow trout*" or "Oncorhynchus mykiss")).af.	48
Cab Abstracts	19.03	((opercul* or "gill cover*" or "gill lid*") and (salmon* or "salmo salar" or "s salar" or "s salar" or "rainbow trout*" or "Oncorhynchus mykiss")).af.	142
Embase	19.03	((opercul* or "gill cover*" or "gill lid*") and (salmon* or "salmo salar" or "s salar" or "s salar" or "rainbow trout*" or "Oncorhynchus mykiss")).af.	80
Biological Abstracts <small>1985 to February 2024</small>	19.03	((opercul* or "gill cover*" or "gill lid*") and (salmon* or "salmo salar" or "s salar" or "s salar" or "rainbow trout*" or "Oncorhynchus mykiss")).af.	207
Ovid MEDLINE® ALL	19.03	((opercul* or "gill cover*" or "gill lid*") and (salmon* or "salmo salar" or "s salar" or "s salar" or "rainbow trout*" or "Oncorhynchus mykiss")).af.	60
Scopus	19.03.2024	(TITLE-ABS-KEY (salmon* OR "salmo salar" OR "s. salar" OR "s salar" OR "rainbow trout*" OR "oncorhynchus mykiss") AND TITLE-ABS-KEY (opercul* OR "gill cover*" OR "gill lid*"))	208

Web of science	19.03.2024	(opercul* OR "gill cover*" OR "gill lid*" (All Fields)) AND (salmon* OR "salmo salar" OR "s. salar" OR "s salar" OR "rainbow trout*" OR "oncorhynchus mykiss" (All Fields))	367
ORIA	29.02	All fields: (Opercul* OR "gill cover" OR "gill covers" OR "gill lids" OR "gill lid" OR gjellelokk*) AND (salmon* OR "salmo salar" OR "s. salar" OR "s salar" OR "rainbow trout" OR "oncorhynchus mykiss" OR laks OR laksefisk OR regnbueørret OR ørret) Utvidet til å omfatte materiale utenfra NMBUs samling, avgrenset til artikler, rapporter, tekstressurser, avhandlinger og konferansepublikasjoner.	810
Oria	April 2024	Samme søk som over avgrenset til kun studentoppgaver/masteroppgaver, inkl materiale NMBU ikke har tilgang til og søk i fulltekst: (Opercul* OR "gill cover" OR "gill covers" OR "gill lids" OR "gill lid" OR gjellelokk*) AND (salmon* OR "salmo salar" OR "s. salar" OR "s salar" OR "rainbow trout" OR "oncorhynchus mykiss" OR laks OR laksefisk OR regnbueørret OR ørret)	3
Google Scholar	29.02	(salmon* OR "salmo salar" OR "s. salar" OR "rainbow trout*" OR "Oncorhynchus mykiss") AND (intitle:operculum OR intitle:opercular* OR intitle:"gill cover*" OR intitle:"gill lid*") Note: Scholar gave no hits when I used intitle:opercul* instead of (intitle:operculum OR intitle:opercular)	76
Grå litteratur		Søkt i fhi.no, Uio.no, titan.uio.no, fhf.no, uib.no, uit.no, uis.no og ntnu.no etter gjellelokk* manuelt plukket ut aktuelle treff.	27
Total			2028
		Dublett fjerning i Covidence 887 duplikater identifisert av Covidence og 339 duplikater identifisert manuelt	802

Forfatter, år, land	Art	Stadium /alder	Definisjon/beskrivelse	Illustrasjoner	Scoringssystem
Blaker and Ellis 2022, Storbritannia	Atlantisk laks (Salmo salar)	95–521 dager etter klekking, gjennom snittsvekst fra 0.8 til 299 gram	Gjellelokkforkortelse Gjellelokk abnormaliteter kan klassifiseres i tre kategorier; reduksjon av gjellelokk platen (som resulterer i forkortet gjellelokk), folding av gjellelokkplaten, og konkav depresjon av gjellelokket. Forkortet gjellelokk kan angå hele den kaudale randen av gjellelokket eller kun ventrale eller dorsale deler av gjellelokket.	Ja	Gjellelokkforkortelse scores fra 1-5 basert på estimert prosent av gjellelokket som mangler: 1: Normal 2: <25% av gjellelokket mangler 3: 25-50% av gjellelokket mangler 4: 50-75% av gjellelokket mangler 5: >75% av gjellelokket mangler Høyre og venstre side scores hver for seg.
Kvernes 1990 and Djupvik 1985, Norge	Atlantisk laks (Salmo salar)	Yngel	Gjellelokkforkortelse Med gjellelokkforkortelse menes gjellelokk som er forkorta, slik at de ikke lenger dekker gjellehulen. Gjellelokkforkortelse opptrer i flere former, fra avpigmentering og svak frynsing av gjellelokket, til gjellelokk som er så forkorta at gjellebuene er godt synlige.	Nei	Gjellelokkforkortelse på scoret på alvorlighetsgrad: Normal: Jevn, fin bakkant av gjellelokket. Krav om normal pigmentering slik at en vanskelig kunne oppdage overgangen mellom gjellelokkets bakkant og fiskehuden elles. Tendens til gjellelokkforkortelse: Avpigmentering av bakkant på gjellelokket, oppfiset gjellelokk med begynnende substanstap. Tydelig gjellelokkforkortelse: Tydelig substanstap med blottlegging av underliggende gjellelev. Begge gjellelokk vurderes og fisken scores basert på det verste gjellelokket.
Larsen et al. 2015, Danmark	Atlantisk laks (Salmo salar)	Yngel til smolt	Erosjon av gjellelokk. Forandringene ble ikke nærmere beskrevet utover beskrivelse av scoringssystemet.	Nei	Erosjon av gjellelokk ble scoret fra 0 til 4 (basert på scoring for finneskader beskrevet av Hoyle et al. 2007): 0: Intakt gjellelokk 1: Erosjon av ytterkanten av gjellelokket, men gjellehulen er fullstendig dekket av gjellelokket

			Erosjon av gjellelokk ble målt som en indikator på aggresjon.		<p>2: Mild erosjon (1-24% av gjellelokket mangler)</p> <p>3: Moderat erosjon (25-49% av gjellelokket mangler)</p> <p>4: Alvorlig erosjon (≥50% av gjellelokket mangler)</p> <p>Høyre og venstre gjellelokk ble scoret hver for seg.</p>
MacLean 1999, Storbritannia	Atlantisk laks (Salmo salar)	Parr	<p>Erosjon av gjellelokk.</p> <p>Erosjon av gjellelokk er en tilstand der gjellelokkene blir forkortet og gjellene eksponeres.</p>	Ja, delvis	<p>Erosjon av gjellelokk ble scoret fra 0 til 5:</p> <p>0: Intakt gjellelokk</p> <p>1: Redusert størrelse på gjellelokket, men gjellefilamenter er ikke synlige</p> <p>2: 2/3-deler eller mer av gjellelokket gjenstår, men gjellefilamenter er eksponert</p> <p>3: 1/3-del til 2/3-deler av gjellelokket gjenstår</p> <p>4: 1/3-del eller mindre av gjellelokket gjenstår</p> <p>5: Gjellelokket mangler fullstendig</p> <p>Høyre og venstre gjellelokk ble scoret hver for seg.</p>
Nilsson et al. 2022 (Laksvel)	Atlantisk laks (Salmo salar)	Matfisk	<p>Gjellelokkforkortelse</p> <p>Fisk kan få skade på gjellelokkene av forskjellige årsaker, som vannmiljø eller aggresjon i settefiskfasen, ufullstendig vekst av gjellelokket, eller mekanisk påvirkning hvor lokket er skadet eller delvis revet av.</p>	Ja	<p>Gjellelokkforkortelse på scoret på alvorlighetsgrad:</p> <p>0: Normal</p> <p>1: Litt forkortet gjellelokk, en kan skimte gjellene</p> <p>2: Tydelig forkortet. Gjellevev godt synlig</p> <p>3: Kraftig forkortet. Mye av gjellevevet er synlig</p> <p>Gjellelokk scores på det korteste gjellelokket. (Informasjon om det andre gjellelokket registreres ikke.)</p>
Noble et al. 2018, Norge (Fishwell)	Atlantisk laks (Salmo salar)	Ikke relevant	<p>Deformerte gjellelokk og gjellelokkskader.</p> <p>I del 1 beskrives gjellelokkmisdannelser som forkortelse av gjellelokk, manglende gjellelokk eller vridde gjellelokk. Senere i teksten står det at</p>	Ja	<p>Gjellelokk skade scores fra 0-3.</p> <p>0: Normale gjellelokk</p> <p>1: Gjellelokkene dekker bare delvis gjellene</p>

			gjellelokkskader omfatter forkorting, manglende gjellelokk, vridde gjellelokk og «myke» gjellelokk.		2: Gjellelokket på en side er fraværende (gjellene eksponert) 3: Begge gjellelokkene er fraværende (gjellene eksponert)
Pettersen et al. 2014, Norge	Atlantisk laks (Salmo salar)	Ikke relevant	"Gjellelokk" Ingen ytterligere beskrivelse eller definisjon.	Nei	Scoring av gjellelokk fra 1 til 5: 1: Normale gjellelokk 2: Gjellelokket dekker bare delvis gjellevevet på én side (unilateral) 3: Gjellelokket dekker bare delvis gjellevevet på begge sider (bilateral) 4: Gjellelokket mangler på én side (unilateral) 5: Gjellelokket mangler på begge sider (bilateral)
RSPCA 2024, Storbritannia	Atlantisk laks (Salmo salar)	Ikke relevant	Gjellelokkdeformiteter Ingen ytterligere beskrivelse eller definisjon.	Ja	Scoring av gjellelokkdeformiteter fra 0-2: 0: Ingen deformitet 1: Mild deformitet 2: Alvorlig deformitet og/eller begge sider affisert
Skipnes 2014, Norge (Omtalt som salmar's scoring metode)	Atlantisk laks (Salmo salar)	Parr	Gjellelokkdeformiteter Gjellelokkdeformiteter inkludert gjellelokkforkortelse er misdannelser som utvikles i løpet av larvestadiet.	Nei	Gjellelokkdeformitet scores fra 0 til 3 0: Ingen skade 1: Deformert gjellelokk på en side 2: Deformert gjellelokk på begge sider 3: Alvorlig gjellelokkforkortelse (ikke nærmere spesifisert).
Slaney et al. 1990, Canada	Regnbueørret (Oncorhynchus mykiss)	Smolt til matfisk	Gjellelokkabrasjon Ingen ytterligere beskrivelse eller definisjon.	Nei	Gjellelokkabrasjon scoret fra 0 til 4 basert på prosent av gjellelokket som er affisert. 0: 0% 1: >0 <5%

					<p>2: >5 <15%</p> <p>3: >15 <30%</p> <p>4: >30%</p> <p>Det oppgis ikke om høyre eller venstre gjellelokk scores hver for seg eller ikke.</p>
Strand and Finstad 2006, Norge	Atlantisk laks (Salmo salar)	Rogn til smolt	Gjellelokkskade Ingen ytterligere beskrivelse eller definisjon.	Nei	Gjellelokkskade angis å graderes fra 1 til 10, avhengig av prosent overflateareal tapt, men ytterligere informasjon oppgis ikke. Høyre og venstre gjellelokk scores hver for seg.
Gjesdal, P. personlig kommunikasjon 2025 (Pharmaq's scoringmetode)	Atlantisk laks (Salmo salar)	Ved vaksinasj on	Gjellelokkforkortelse Ingen ytterligere beskrivelse eller definisjon.	Nei	<p>Gjellelokkforkortelse scoret på populasjonsnivå:</p> <p>0: Ikke registrert</p> <p>1: Normal</p> <p>2: Ubetydelig / på <10% av fisken</p> <p>3: Moderat / på <50% av fisken</p> <p>4: Betydelig / på >50% av fisken</p>

Tabell S1. Oversikt over ulike scoringssystemer for gjellelokkforandringer

Vedlegg 3 – Overordnet beskrivelse av produksjonen

Dette dokumentet inneholder en kort oppsummering av produksjonsbetingelser fra settefiskfasen blant respondentene som ble intervjuet i arbeidspakke 3.

1.1 Produksjonsrutiner og anleggsutforming

Personellet som ble intervjuet representerer anlegg som benytter gjennomstrømming (GS), resirkuleringsanlegg (RAS), eller kombinasjoner av disse. Produksjonstiden på land varierte fra omtrent 7 til 17 måneder, avhengig av produksjonsform, smoltstørrelse og tidspunkt for sjøsetting. De fleste anleggene hadde klekkeri, startfôring- og påvekstavdeling, mens noen av anleggene også hadde postsmoltavdeling. Enkelte anlegg hadde bygd to parallelle produksjonslinjer eller parallelle enkeltavdelinger. Flertallet av anleggene hadde runde kar i startfôringsavdelingen, men enkelte anlegg hadde firkantede kar med avrundede hjørner. Diameter på karene i startfôringsavdelingen varierte fra 1,5 til 8 meter og dybden varierte fra omtrent 0,4 til 3 meter. De fleste anleggene hadde runde påvekstkar, men det var også enkeltanlegg med 8-kantede kar. Noen respondenter har ikke oppgitt karstørrelse fordi de svarte for flere anlegg eller manglet kunnskap om karstørrelsene i anlegget.

1.2 Tetthet

De fleste respondentene opplyste om at de hadde veiledende grenser for maksimal tetthet i et kar basert på fiskestørrelse. I startfôringen ble det oppgitt grenser mellom 20-35 kg/m³ for yngel mindre enn 5 gram og mellom 35-40 kg/m³ for yngel på 5-10 gram. I videre påvekst fra 10-50 gram varierte tetthetsgrenser fra 40-70 kg/m³, mens anlegg som produserer stor smolt over 100 gram hadde grenser opp mot 95 kg/m³. Det var også enkelte som opplyste at tetthetsgrenser ikke ble benyttet, men at man tilpasset biomasse ut fra vannkvalitet og vannmiljø i karene.

1.3 Strøm

Flere respondenter svarte at strømhastighet på 1-1,5 fiskelengder per sekund er en hovedregel gjennom settefiskproduksjonen. Noen respondenter oppga bruk av konsekvent samme strømrretning i alle kar (med eller mot klokkeretningen), mens andre ikke hadde noen bestemt strømrretning. Enkelte respondenter målte ikke strømhastighet, men regulerte vanninnstrømmingen i karene og tilpasset karstrømmen visuelt. Et viktig mål som ble trukket fram var å unngå for høy hastighet i startfôring, men god/økt strømhastighet senere i produksjonen.

1.4 Fôringsrutiner

Både i norske og utenlandske anlegg ble fôr fra Biomar, Ewos, Mowi og Skretting brukt. Noen anlegg brukte fôr fra ulike selskaper i ulike deler av produksjonen, mens andre brukte

fôr fra samme selskap i hele produksjonen. De fleste har ikke svart om det tas ut fôrprøver. For de som har svart, tar enkelte ut fôrprøver rutinemessig, mens andre gjøre det kun ved fôrutfordringer. Enkelte hadde opplevd betydelig teknisk kvalitetsforskjell på fôr eller at for rask overgang til større pellets kunne gi ujevn fôrtildeling til den minste yngelen. Bruk av skiveautomater eller fôringskrue (bettenautomat) var gjennomgående i startfôringsavdelingen. Ved bruk av skruer hadde noen anlegg skruer som dekket hele bredden/ diameteren i karet. Noen anlegg benyttet blåsesystem til fôring i påvekstavdelinger. Rutiner for håndfôring varierte mellom respondentene. Noen gjennomførte stor grad av håndfôring gjennom startfôringen, mens andre i liten eller ingen grad. Mange brukte håndfôring daglig for å vurdere appetitt. Håndfôring, ut over appetittsjekk, var i all hovedsak konsentrert til startfôringsavdelingen. Mange respondenter oppga at det var vanlig å beholde minste fôrstørrelse og blande fôrstørrelser i overgangen mellom to fôr. For å beregne/ øke fôrmengde tilstrekkelig var det mange som tok jevnlig snittvekter og brukte av fôrtabeller basert på snittvekt. Det var også vanlig å vurdere appetitten daglig med håndfôring for å sikre tilstrekkelig fôrmengde. Enkelte fulgte med på fôrspill i avløp.

1.5 Vanntemperatur

Anleggene hadde i stor grad mulighet for temperaturstyring i klekkeri og startfôring, mens det var litt mer varierende i senere produksjonstrinn. Det er flere som opplyste om at de har redusert temperaturen både i klekkeriet og senere stadier basert på nyere forskning knyttet til veksthastighet og hjertehelse. Fra GS-anlegg ble det beskrevet at det kan være vanskelig å holde optimal vanntemperatur i påvekstavdelingen, særlig i perioder med svært kaldt eller varmt råvann. Tilsvarende opplyser enkelte at manglende kjølekapasitet også gjøre at RAS-anlegg har høyere vanntemperatur på sommeren enn ønskelig. Ørretprodusentene bruker høyere temperatur i klekkefasen enn lakseprodusenter, men i senere produksjonstrinn er vanntemperaturen relativt sammenfallende.

Tabell 1. Tabellen viser intervall for vanntemperatur som respondentene opplyser at de ønsker å holde seg innenfor i de ulike produksjonstrinnene, med reell variasjon på enkeltanlegg i parentes.

	<i>Klekkeri</i>	<i>Startfôring</i>	<i>Påvekt</i>	<i>Post-smolt</i>
<i>Laks</i>	4-8 °C	12-13,5 °C	10-12 °C (2-20 °C)	11-12°C (8-15 °C)
<i>Ørret</i>	10 (8-12) °C	10-12 °C (8-14°C)	10-12 °C (6-14°C)	10-14 °C (7-16°C)

1.6 Overvåkning av vannparameter

I spørreskjema for settefisk ble det også kartlagt mer i detalj faktorer som påvirker vannkvaliteten i anleggene og hvordan dette følges opp. Flertallet av anleggene benyttet overflatevann som innsjø eller elv som råvannskilde, men det var også anlegg som benyttet grunnvann. Bikarbonat, lut eller sjøvann ble brukt til å bufre råvannet hos enkelte. I gjennomstrømningsanlegg var det vanlig å registrere oksygen, temperatur, salinitet, CO₂, pH og mer sporadisk også turbiditet og totalgass. I RAS-anlegg ble vanligvis temperatur, pH,

salinitet, oksygen, CO₂, totalgass, ledningsevne, fargetall, turbiditet og alkalitet målt, samt indikatorer for biofilterfunksjon som ammonium, nitrat og nitritt.

1.7 Lys og smoltifiseringsrutiner

De fleste respondentene oppga LED-lys som hovedkilde til belysning, men flere produsenter har i tillegg avdelinger med lysstoffrør eller halogen. Enkelte hadde bruk av blått eller lilla lys, men det ble ikke oppgitt årsak til dette. Ingen brukte fullspektret lys. Alle respondentene som oppga lysregime, brukte 24 timers lys fram til et eventuelt vintersignal. Enkelte respondenter benyttet ikke vintersignal. De fleste oppga bruk av vintersignal med 12:12-regime og en mørkeperiode på 8-12 uker, mens minste til maksimale mørkeperiode var fra 3 til 19 uker. Det var allikevel flere som hadde som strategi med mørkeperiode på minimum 6 uker.

Project Short Opercula – Intervju settefisk

Intervjuobjekt		Dato	
Stilling		Intervjuet av	

1. Info om produksjon

1.1 Hvilken art(er) har dere på anlegget?

1.2 Hvilken anleggstype?

- Resirkulering/ RAS
- Gjennomstrømming/ GS
- Kombinasjon:
- Annen:

1.3 Hvor lang er produksjonssyklusen?

1.4 Hvilke typer avdelinger er det i anlegget?

1.5 Hvilke(n) karutforming er det i anlegget?

1.6 Mål på kar i avdelingene: Dybde, bredde, diameter, radius, høyde. Overflateareal/volum?

1.7 Strømhastighet og strømretning?

1.8 Hvilke typer lys er det i avdelingene? Hvilke lyseregimer er det i avdelingene?

1.9 Hvilken temperatur benyttes?

2. Rutiner for oppfølging og scoring av gjellelokk

2.1 Har dere gjort noen undersøkelser og scoret fisk systematisk?

2.2 Når i produksjonen har dere scoret? Hvor mange fisk har dere scoret? Pr registrering? Hvor mange fiskegrupper og hvor mange ganger scores hver fiskegruppe?

2.3 Hvilket scoringsskjema har dere brukt? Hvilken skala? Veileder? Laksvel eller annen veileder?

2.4 Scorer dere gjeller samtidig som gjellelokkforkortelse?

2.5 Hvordan setter dere sammen dataen fra scoringene?

2.6 Deler dere data med eventuell kjøper av smolten?

3. Beskrivelse av utfordringen

3.1 Når i produksjonen ser dere utfordringer med gjellelokkforkortelse? Lupe/mikroskop tidlig i prod?

3.2 Hvordan ser gjellelokkforkortelsen ut? Observeres krøllete gjellelokk? Nedre del eller hele gjellelokket? Mangler det kun en bit? Dobbelttidig eller ensidig?

3.3 Har dere problemer med andre deformiteter og sees det sammenheng med gjellelokkforkortelse?

3.4 Ser dere store forskjeller mellom kar? Mellom fiskegrupper? Mellom arter? Avdelinger?

3.5 Har dere undersøkt gjellelokkforkortelse hos ulike stammer? Ser dere forskjell mellom ulike stammer?

3.6 Ser dere forskjell mellom ulike innleggstidspunkt?

3.7 Hva vurderer du er lav, medium og høy forekomst (prevalens) av de ulike alvorlighetsgradene? F. eks 10 % av score 1 vs. 10 % av score 3.

3.8 Ser dere heling av gjellelokkskader? Hvor store skader kan heles/hvilken score?

- 3.9 Observeres det mer skader på gjellelev når fisk har gjellelokkforkortelse? Hvordan ser skadene ut? Opplever dere at gjellelokkforkortelse kan disponere for annen gjellepåkjenning (infeksiøs eller miljøbettinget)?

4. Risikofaktorer og årsaker

- 4.1 Har du noen tanker om risikofaktorer for gjellelokkforkortelse? Hva mener du er den/de viktigste risikofaktorene?
- 4.2 Har du noen tanker om årsaken(e) til gjellelokkforkortelse? Hva mener du er den/de viktigste årsakene?

5. Tiltak

- 5.1 Hvilke forebyggende tiltak settes inn?
- 5.2 Hvilke skadebegrensende tiltak settes inn?
- 5.3 Hvordan gjennomføres utsortering av fisk med gjellelokkforkortelse? i forbindelse med vaksinerings eller tidligere? Sorteres alt eller basert på score?
- 5.4 Manuell utsortering eller via maskin? Har dere data fra automatisk utsortering/vaksinerings?
- 5.5 Hvor godt opplever dere at utsorteringen fungerer?
- 5.6 Har dere erfaringer med tiltak som har fått ned prevalens?

6. Fôringsregimer

- 6.1 Hvilke fôr benyttes? Fôrstørrelse, type, merke? Atferd?
- 6.2 Tar dere ut fôranalyser for å kontrollere innhold?
- 6.3 Har dere erfart forskjell på forekomst av gjellelokkforkortelse ved ulike fôrtyper?
- 6.4 Hvilket system brukes til fôring? Skiveautomat, skruer, spreder, trykkluft? Annet system?
- 6.5 Hvilke rutiner er det for håndfôring?
- 6.6 Hvilke rutiner har dere for å øke fôrmengden gjennom produksjonen?
- 6.7 Fôrere/røktere - ser dere forskjeller mellom fôrere eller skift?
- 6.8 Overgangsrutiner for fôr? Yngelstørrelser? Skifte av fôr/type/merke? Annet?
- 6.9 Hvordan sikrer dere at all fisken får fôr?
- 6.10 Har dere rutiner for å regne ut at det blir nok pellets til hver fisk? Regner dere ut på vekt eller tar dere også i betraktning hvor mange pellets det er per kg og sikrer at det blir nok på hver fisk.

7. Vannkvalitet

- 7.1 Hvilken vannkilde brukes (grunnvann, fjellvann)? Er det perioder med lite vann?
- 7.2 Vannbehandling - inntaksvann?
- 7.3 Kan du beskrive vanninnføringen til karene?
- 7.4 Tilsetning av buffer? Ev. hvilke buffere? Hvor tilsettes bufferene?
- 7.5 Tilsetning av sjøvann? Ev. når i produksjonen tilsettes SV?
- 7.6 Vannkvalitet - oppholdstid?
- 7.7 Tetthet, hvilke grenser og blir de overholdt?
- 7.8 Hvor hyppig og i hvor mange kar overvåker dere vannkvaliteten?
- 7.9 Ser dere store variasjoner i løpet av et døgn?
- 7.10 Hvilke temperaturer brukes gjennom i de ulike stadiene av produksjonen? Klekkeri, startfôring, påvekst, osv. Variasjon i temperatur?
- 7.11 Vannkvalitet - hvilke vannparameter måles? Kontinuerlig? Stikkmåling? turbiditet, fargetall, sikt
- 7.12 Hvilket sprang ser dere i målte verdier?

- 7.13 Ser dere noen sammenheng mellom CO₂ og antall fisk i kar? Tetthet? og/eller tetthet i kar?
- 7.14 Hvilken smoltifiseringsrutine brukes?
- 7.15 Hvilket stimuli brukes til smoltifiseringen?
- 7.16 Hvor lang mørkeperiode har dere?
- 7.17 Hvilken dokumentasjonsmetode for smoltifisering? ATPase, klorid, Smoltvision, Smolttimer

8. Håndtering

- 8.1 Hvilke sultetider praktiseres i forbindelse med håndtering?
- 8.2 Hvilke tiltak gjennomføres for å redusere stress ved håndtering?
- 8.3 Hva gjennomføres for å ha kontroll på vannkvaliteten under håndtering?
- 8.4 Er det mistanke om at gjellelokkforkortelse kan knyttes til sulting i forbindelse med håndtering?
- 8.5 Har dere sett atferdsendring i etterkant av håndtering? Dager? Uker?

Project Short Opercula – Intervju matfisk

Intervjuobjekt		Dato	
Stilling		Intervjuet av	

1. Info om lokalitet

- 1.1. Hvilken art(er) har dere på anlegget?
- 1.2. Representerer du et eller flere sjøanlegg?
- 1.3. Hvilken type anlegg? (ring eller bur, åpne merder, semi-lukket, lukket)?
- 1.4. Miljø og strømforhold på lokaliteten?
- 1.5. Benyttes det luseskjørt?
- 1.6. Antall merder og størrelse på merder?
- 1.7. Hvilket system brukes for føring? Hvilken type før? Rutiner for føring?
- 1.8. Sender dere inn fôranalyser for å kontrollere innhold?

2. Utsettsrutiner

- 2.1. Tas det hensyn til gjellehelse/gjellelokkforkortelse ved valg av utsettslokalitet?
- 2.2. Tas det hensyn til gjellehelse/gjellelokkforkortelse ved valg av merd på lokaliteten?
Plassering for å gi best mulig forhold
- 2.3. Mottar du informasjon om gjellelokkforkortelse ved levering av fisk?
- 2.4. Har dere rutiner for scoring av gjellelokk ved en eventuell smoltkontroll før levering av innkjøpt fisk?
- 2.5. Har dere valgt bort fiskegrupper pga. gjellelokkforkortelse? Hvilken score eller kriterier hadde fisken som ble valgt bort?

3. Rutiner for oppfølging og scoring

- 3.1. Har dere gjort noen undersøkelser og scoret fisk systematisk?
- 3.2. Hvilket scoringsskjema har dere brukt? Hvilken veileder
- 3.3. Hvor mange fisk har dere scoret? Scorer dere samme merd flere ganger?
- 3.4. Når i produksjonen har dere scoret?
- 3.5. Scorer dere gjeller samtidig som gjellelokkforkortelse?
- 3.6. Hvor mange grupper har blitt scoret? Er gruppene scoret samtidig?
- 3.7. Hvordan setter dere sammen dataen fra scoringene?
- 3.8. Deles data med settefiskanlegg som fisken stammer fra?

4. Beskrivelse av utfordringen

- 4.1. Dersom det observeres gjellelokkforkortelse, er prevalensen/andelen stabil gjennom hele generasjonen?
- 4.2. Ser dere heling av gjellelokkskader? Hvilken score kan heles?
- 4.3. Hvordan ser gjellelokkforkortelsen ut? Observeres krøllete gjellelokk? Nedre del eller hele gjellelokket? Mangler det kun en bit? Dobbelsidig eller enkeltsidig?
- 4.4. Ser dere store forskjeller mellom merder? Mellom fiskegrupper? Settefiskanlegg?
- 4.5. Forskjell i gjellelokkforkortelse mellom årstider? Høst vs. vårfisk?
- 4.6. Hva vurderer du er lavt, medium og høyt innslag? vurderer du er lav, medium og høy forekomst (prevalens) av de ulike alvorlighetsgradene? F. eks 10 % av score 1 vs. 10 % av

4.7. Observeres det mer skader på gjellelev når fisk har gjellelokkforkortelse? Hvordan ser skadene ut? Opplever dere at gjellelokkforkortelse kan disponere for annen gjellepåkjenning (infeksiøs eller miljøbetenget)?

5. Risikofaktorer og årsaker

5.1. Har du noen tanker om risikofaktorer for gjellelokkforkortelse? Hva mener du er den/de viktigste risikofaktorene? Miljøforhold (dybde, miljø, strøm, salinitet, variasjoner i oksygennivå og gjellehelse,). Forskjell mellom lokaliteter?

5.2. Har du noen tanker om årsaken(e) til gjellelokkforkortelse? Hva mener du er den/de viktigste årsakene? Kan gjellelokkforkortelse oppstå i sjøfasen?

6. Tiltak

6.1. Settes det inn tiltak på grupper med mye gjellelokkforkortelse?

6.2. Utsortering under lusetelling? I såfall, hvilken alvorlighetsgrad?

6.3. Har dere erfaring med tiltak som har effekt?

7. Håndtering

7.1. Sultetider i forbindelse med håndtering

7.2. Er det overvekt av fisk med gjellelokkforkortelse blant dødfisk etter avlusing? Tidlig i utsett?

8. Miljøforhold

8.1. Hvilke miljøparameter registreres?