

Presisjonsplanlegging med kontinuerlig overvåkning

Faglig delrapport – FHF Prosjekt 901851 – 1. August 2024

Utarbeidet av Optimeering Aqua v/

- Benjamin Narum
- Penelope Melgarejo
- Erlend Torgnes

1	INNLEDNING	3
1.1	PROBLEMSTILLING OG FORMÅL	3
1.2	BAKGRUNNSINFORMASJON OM PROSJEKTDELTAKERE	3
2	KUNNSKAPSBAGGRUNN	4
2.1	STANDARD FOR KVALITETSGRADERING AV LAKS OG REGNBUEØRRET	4
2.2	TYPISK PROBLEMATIKK MED KVALITETSGRADERING	5
2.3	ERFARINGSBASERT KUNNSKAP OM KVALITETSTREKK	5
2.4	LITTERATURGJENNOMGANG	6
3	PROSJEKTGJENNOMFØRING: DATAINNSAMLING OG SENSORER	7
4	MODELLERINGSMETODIKK OG INNLEDENDE RESULTATER	7
4.1	OPPSUMMERING AV DATAGRUNNLAG	7
4.1.1	MANGLENDE DATA	8
4.1.2	FILTRERING AV UTLIGGERE	8
4.2	METODIKK FOR PROGNOSE AV KVALITETSGRADERING	8
4.3	PROGNOSE AV KVALITETSTREKK	9
4.3.1	METODE OG ESTIMERING	9
4.3.2	RESULTATER	9
4.4	PREDIKSJON AV KVALITETSGRADERING	13
5	DISKUSJON OG KONKLUSJON	15
6	HOVEDFUNN	16
7	REFERANSER	17

1 Innledning

Dette er en faglig delrapport i prosjektet «Presisjonsplanlegging med kontinuerlig overvåkning» delfinansiert av FHF (prosjektnummer 901851). Rapporten tar for seg status for arbeidet med utarbeidelse av prognoser av kvalitet med fokus på metodeutvikling og innledende resultater på et første mindre datasett. Merk at i juni 2024 ble prosjektets tilgang til data økt betydelig (ca. 20 ganger), så mens denne rapporten tar for seg metodikk og første resultater utarbeidet for et mindre datasett så vil utvikling av prognoser basert på det større datasettet komme i den faglige sluttrapporten.

1.1 Problemstilling og formål

Det er gunstig for fiskeoppdrettere å kunne selektere ut fisk med lavere vekst og negativ kvalitetsutvikling for at disse kan prioriteres for tidligere utslakt slik at resterende fisk totalt sett gir høyere tilvekst med bedre kvalitet. Dette bidrar til mer effektiv ressursutnyttelse, lavere produksjonskostnader og bedre fiskevelferd. For hensiktsmessig selektering av fiskegrupper kreves integrasjon av ulike datakilder til prognose av tilvekst og kvalitet som videre også brukes inn i produksjonsplanlegging.

Utvikling av løsninger på tvers av datakilder representerer en utfordring for næringen fordi hver enkelt leverandør av data er avhengig av å kunne skape verdi for sine kunder basert på hver sin leveranse. For oppdrettere er det en risiko å sette i gang egen utvikling av løsninger på tvers av teknologier uten detaljkunnskap om teknologien. Dette prosjektet muliggjør et samarbeid mellom teknologi-leverandører om en felles leveranse. For å avgrense prosjektet er det fokusert på slakteplanlegging på kort sikt, men løsningene har også anvendelse på flere områder som langsiktig planlegging og salgsplanlegging.

Formålet med prosjektet er å utvikle en samlet dataflyt fra datamålinger i merder til produksjonsplanleggingsløsninger. Datagrunnlaget brukes så til å utvikle metodikk for prognosering av tilvekst og kvalitetsutvikling. Slike prognoser benyttes inn i optimeringsløsninger for produksjonsplanlegging for automatisk selektering av fiskegrupper med høyere ytelse. Dette muliggjør at selektering av fiskegrupper gjøres i sammenheng med andre begrensninger som produksjonsplaner må tilfredsstillende (for eksempel maksimalt tillatt biomasse).

1.2 Bakgrunnsinformasjon om prosjektdeltakere

Optoscale (OS) har utviklet teknologi for gjenkjenning av viktige biologiske faktorer fra kameraer som settes ut i merder og overvåker daglig utvikling av fiskens tilstand.

SeaSmart (SS) tilbyr undervannsdroner som måler miljøforhold i hele vannsøylen innenfor merden.

Optimeering Aqua (OA) utvikler beslutningsstøtteverktøyet Bioplan som ved bruk av optimering gir forslag til produksjonsbeslutninger som mest mulig effektivt utnytter tilgjengelige ressurser.

Lerøy Seafood Group (LSG) er Norges 3. største havbruksselskap med lokaliteter fra Øst-Finnmark i Nord til grensen mellom Vestland og Rogaland i sør.

2 Kunnskapsbakgrunn

2.1 Standard for kvalitetsgradering av laks og regnbueørret

Kvalitetsgradering av laks og regnbueørret deles inn i tre kategorier utfra en standard utarbeidet av Norsk Bransjestandard for Fisk (NBS, 1999b, 1999a) basert på eksternt observerbare trekk. Vi benytter også en ekstra kategori «Utkast» for fisk som forkastes under sortering. Sorteringen gjøres manuelt av personell når fisken ankommer slakteriet.

Kategoriene beskrives som:

1. Superior: Et førsteklasses produkt med egenskaper som gjør det egnet til alle formål. Produktet er uten vesentlige feil, skader eller mangler og gir et positivt helhetsinntrykk.
2. Ordinær: Et produkt med begrensede ytre eller indre feil, skader eller mangler. Produktet er uten vesentlige feil, skader eller mangler som vil vanskeliggjøre videre bruk.
3. Produksjon: Laks/regnbueørret som ikke tilfredsstillende kravene til Superior eller Ordinær på grunn av feil, skader eller mangler skal sorteres i produksjonskategori. Fisken leveres uten hode.

Det er kun for kategoriene Superior og Ordinær at fisken kan selges direkte til humant konsum, ellers må fisken forkastes eller videreføres for å kompensere for nedsatt kvalitet (Forskrift om kvalitet på fisk og fiskevarer, 2013, §17). Salgsprisen er lavere for Ordinær-kategorien enn for Superior-kategorien.

For at en fisk skal klassifiseres under Superior-kvalitetsgrad må den tilfredsstillende:

- Skinn med glans, uten betydelig tap av fiskeskjell
- Ingen gjengrodde sår som påvirker helhetsinntrykket
- Ingen åpne sår
- Ingen blåmerker eller skade på mage eller muskulatur
- Ingen melaninflekker i huden
- Intakt, fast magemembran
- Hele eller slitte (helbredede) finner
- Naturlig strømlinjeformet form
- Ingen betydelig blødning i skjell-lommene ved analfinnen eller under bukningen

For å tilfredsstillende kravene for Ordinær kvalitetsgrad kreves:

- Ingen vevsskade under huden eller i muskulaturen

- Ingen åpne sår
- Naturlig strømlinjeformet form

En fisk vurderes til Produksjon-kvalitetsgrad dersom man ser:

- Tegn til kjønnsmodning
- Sår
- Deformasjoner
- Alvorlige håndteringsskader
- Interne kvalitetsfeil (betydelig mengde melanin i musklene eller skader/blåmerker på grunn av slag)
- Betydelig tap av fiskeskjell

2.2 Typisk problematikk med kvalitetsgradering

Vi har samlet data om kvalitetsgradering fra Lerøy sin virksomhet i tidsrommet 2020-2022 som viser tendenser i problematikken med kvalitetsgrad som vi basert på intervju med næringsaktører erfarer er representativt for næringen som helet. Generelt sett er sårutvikling et større problem gjennom vinter og vår, kjønnsmodning det største problemet på høsten, mens problematikk med deformasjoner går igjen jevnt over gjennom året. Videre er det totale antallet nedklasseringer størst gjennom vinter og vår. Merk at det også er stor variasjon i nedklassering mellom arter (laks/regnbueørret) og mellom ulike produksjonsregioner.

For kortsiktig beslutningstaking er det relevant å overvåke situasjonen i merdene for å informere beslutninger fortløpende. På lengre sikt ønsker man å lage prognoser for kvalitetsgradering som tar hensyn til systematiske effekter (som sesong og temperatur) for å lage produksjonsplaner som er forut situasjonen.

2.3 Erfaringsbasert kunnskap om kvalitetstrekk

Fiskeoppdrettere har erfaring med ulike faktorer som kan påvirke forekomsten av sår (derav fiskeart, temperatur, vaksine), kjønnsmodning (derav fiskeart, tid på året, snittvekt) og deformasjoner. I forbindelse med prosjektet har Lerøy laget en oversikt over relevante faktorer som kan påvirke kvalitetstrekk og klassifisert disse etter målekompleksitet. Denne innsikten er nyttig til å vurdere relevante strukturer for prognosemodeller, relevante datakilder og til tolkning av resultater.

Lerøy har blant annet observert at kjønnsmoden fisk har en tendens til å svømme nærmere overflaten. Siden innsamling av fisk til slakt typisk starter med pumping fra toppen av merden og jobber seg nedover i fiskemassen kan dette føre til varierende kvalitetsgrad avhengig av om fangsten kom tidlig eller sent. Det ser vi også i datagrunnlaget og analysene senere i rapporten.

For eksempel har Lerøy lagt merke til at den første fangsten fra en merd kan inneholde 20% fisk av Superior kvalitet, mens den siste fangsten fra samme merd kan inneholde så mye som 80% fisk av Superior kvalitet. Denne variasjonen skyldes at de kjønnsmodne fiskene som svømmer nær overflaten blir tatt opp først.

2.4 Litteraturgjennomgang

Et litteratursøk ble gjennomført på søkeord på norsk og engelsk med nøkkelord som «laks», «kvalitetsgradering», «prediksjon» og «prognose». Merk at prosjektets hovedfokus er «realtidsprediksjon og prognose av kvalitetsgradering under sjøvannsfasen», mens en del litteratur som ser på interne kvalitetsparametere er utenfor dette fokusområdet. For prognose (fremover i tid) av kvalitetsgradering under sjøfasen finner vi ingen relevant litteratur, mens arbeid relevant for prediksjon (på en gitt dag) er i noe større grad forsket på.

Mest relevant er doktorgradsavhandlingen av Alvestad (2021) om årsaker og drivere til kvalitetsnedgradering innen lakseoppdrett, samt assosierte artikler som ser på årsaksmekanismer for de vanligste årsakene til kvalitetsnedgradering. Studier for bruk av maskinsyn til prediksjon av kvalitetsgradering på slakteriet lyktes med nøyaktighet på 87-90% (Misimi et al., 2008; Sture et al., 2016) hvilket tilsier at det er mulig å predikere kvalitetsgradering med høy nøyaktighet basert på kamerateknologi. En del studier ser på prognose av interne kvalitetsparametere under lagring etter slakt (He et al., 2021; Jia et al., 2021; Macagnano et al., 2005; Sveinsdottir et al., 2003), mens vår studie fokuserer på eksternt observerbare kvalitetsparametere som grunnlag for standardisert gradering.

Alvestad (2021) kategoriserer årsaker til nedklassing av kvalitetsgradering ved å analysere slaktedata og beholdningsdata fra 341 produksjonssykluser innen tidsrommet 2012-2018 fra nordlige lokaliteter i Norge, og gjør inferens for å finne sammenhenger med eksterne drivere. Studien viser at årsaker til nedklassing er fordelt på sår (39%), mørke flekker (17%), deformasjoner (12%) og kjønnsmodning (10%), og det konkluderes med at sår er den viktigste årsaken til nedklassing til Produksjon-klassen, mens mørke flekker var vanligste årsak til nedklassing til Ordinær-klassen. Videre finner studien sammenheng mellom nedklassing av kvalitetsgradering og eksterne drivere som vekstrate under sjøfasen, sjøtemperatur, variasjon i daglig sjøtemperatur, historisk dødelighet grunnet HSMI eller CMS, og tid på året for slakt.

Det er kjent at sårutvikling assosieres med lavere temperaturer (gjerne kalt vintersår) og med bakterieinfeksjoner (Coyne et al., 2006; Olsen et al., 2011). Mørke flekker er en økende årsak til kvalitetsnedgradering som blant annet kommer av melaninpigmenter, blod, døde muskelceller eller arrvev (Mørkøre et al., 2015). Nyere forskning peker på at en sentral mekanisme bak mørke flekker (melaninflekker) er knyttet til endringer i fettvevet til fisken (Bjørngen et al., 2024). Tidligere har studier sett på årsakssammenhenger og trukket frem traumer og inflammasjon (Krasnov et al., 2016; Larsen et al., 2012) som videre assosieres med virus (Bjørngen et al., 2015; Koppang et al., 2005; Lerfall et al., 2012). Mørke flekker

assosieres også med håndtering, fôrkomposisjon og miljøforhold som blant annet tilgjengelighet av oksygen (Mørkøre, 2017; Mørkøre et al., 2016). For tidlig kjønnsmodning er det kjent at dette stimuleres av økt temperatur, periodiske endringer i lysforhold, vekst og ernæring (Good & Davidson, 2016; Imsland et al., 2014; Oppedal et al., 1999; Vikingstad et al., 2016). Deformasjoner er kjent at assosieres med vanntemperatur (Fjellidal et al., 2012; Grini et al., 2011), inflammasjon (Gil-Martens, 2010; Kent et al., 2004), alder ved vaksinasjon (Berg et al., 2006), samt saltholdighet, vekstrate, genetikk, oppvekstforhold i tidlig livsfase og ernæring (Vågsholm & Djupvik, 1998).

3 Prosjektgjennomføring: Datainnsamling og sensorer

Utvalg av aktive merder ble gjennomført slik at kameraer fra Optoscale kunne settes ut i en periode forut slakt. Disse samlet data om kvalitetstrekk slik at måledata kan kobles mot faktiske slaktedata. Måledata har blitt samlet fra totalt seks merder på tre ulike lokaliteter hvor tilhørende slaktedata også er samlet inn. Alle slaktepartier har blitt «samlet» på slakteriet med utvalg på typisk 100 fisk som grunnlag for årsak til nedklassifisering, mens eksakt antall fisk innad i hver kvalitetskategori er kjent.

Innsamling av data for miljøforhold har blitt forhindret av forsinkelse i sikkerhetsgodkjenning. Det betyr at eksterne forklaringsvariabler relevant for prognose ikke kan inkluderes i nåværende metodikk, men utvidelse er mulig uten veldig betydelige endringer i metodikken.

Data for kvalitetstrekk er samlet inn over totalt 230 dager hvor den lengste tidsserien har 59 målinger og den korteste har 15 målinger. Det er totalt 56 manglende målinger innad i tidsseriene av ulike grunner. Kvalitetstrekk måles i gjennomsnitt på 8064 fisk og aldri på mindre enn 204 eller flere enn 19470 fisk.

Slakt foregår over flere dager for hver merd (totalt 15 dager med slaktedata), men det er ingen merder hvor det er gjennomført delslakt med store tidsmellomrom.

Merk at prosjektet nylig fikk tilgang til data fra betydelig flere kameraer, mens inneværende rapport er begrenset til utvikling gjort med det mindre datasettet.

4 Modelleringsmetodikk og innledende resultater

Statistisk modelleringsmetodikk er utviklet for prediksjon av kvalitetsgradering og prognose av kvalitetstrekk på et datasett for seks merder.

4.1 Oppsummering av datagrunnlag

Tilgjengelige måledata har daglig oppløsning mens slaktedata forekommer én eller flere ganger per produksjonssyklus for en merd. Slaktedata inneholder vektfordeling og kvalitetsgradering per fisk. Oppsummeringsstatistikker er gitt i Seksjon 3.

Kvalitetstrekk måles som et samplingsestimat av populasjonen med daglig oppløsning. Kvalitetstrekkene som måles kan oppsummeres som:

- Sår (gradert i små, mellomstore og store)
- Kjønnsmodning, via størrelse på fiskens kjeve
- Hudflekker
- Antall fisk til telling

Kvalitetstrekket for sår oppsummeres med en enkelt variabel for om det observeres sår på fisken eller ikke. På grunn av høy korrelasjon mellom kvalitetstrekk relatert til sår, bruker vi kun ett av disse. De andre kvalitetstrekkene som benyttes er observasjon av kjønnsmodning og hudflekker. Som variabelnavn bruker vi de respektive forkortelsene `anyWound`, `matureJaw` og `skinSpeckles`.

4.1.1 Manglende data

Det er naturlig at måledata, både for kvalitetstrekk og miljøforhold, har manglende verdier i enkelte perioder. Grunner til det kan være av sensorfeil eller behov for vedlikehold underveis i produksjonssyklusen; dette ser vi også igjen i datagrunnlaget for denne studien. Problemet med manglende data er utpreget nok til at dette må håndteres på en systematisk måte. Det antas at det er ingen sammenheng mellom årsaken til at målinger mangler og målingen i seg selv.

For kvalitetstrekk benytter vi modellbasert imputering (innsett av data) hvor prognoser fra tidsseriemodellen settes inn for manglende data. For miljøforhold vil vi bruke interpolasjon mellom målingene før og etter det manglende datapunktet.

4.1.2 Filtrering av utliggere

Måledataene for kvalitetstrekk viser enkelte ekstreme avvik fra nærliggende andre målinger, og disse regnes som utliggere. Vi erstatter utliggere med medianverdien innenfor et sentrert tidsvindu som er fem dager bredt, dersom gjennomsnittet innenfor samme tidsvindu avviker mer enn 20% fra medianen på logit-skala. Etter denne metoden er det 6 utliggere for `anyWound`, 0 utliggere for `matureJaw` og 25 utliggere for `skinSpeckles`.

4.2 Metodikk for prognose av kvalitetsgradering

For å lage en prognose for kvalitetsgradering fremover i tid kreves det to modellkomponenter:

- (i) prognose for målte kvalitetstrekk sin tidsutvikling
- (ii) prediksjon av kvalitetsgradering som funksjon av kvalitetstrekk

Under komponent (i) ser vi utelukkende på kvalitetstrekk, og bruker tidsserieanalyse til å lage prognoser for deres utvikling. Komponent (ii) krever at man kobler slaktedata mot kvalitetstrekk for hver enkelt merd over en periode i forkant av utslakt. For å forenkle

studien konsentrerer vi oss om prediksjon av andelen fisk i Superior-kategorien, men metodikken kan også utvides til å predikere fordelingen mellom alle kvalitetskategorier.

4.3 Prognose av kvalitetstrekk

Til å gjøre prognose av kvalitetstrekk bruker vi tidsseriemodellering hvor vi lager én modell av samme struktur for hvert enkelt kvalitetstrekk.

4.3.1 Metode og estimering

Vi benytter en hierarkisk modell med to nivå for å fange opp samplingsfeil og heterogenitet i fiskepopulasjonen. Vi antar at det finnes en underliggende mengde som forklarer det gjennomsnittlige trekket i populasjonen, og lager en tidsseriemodell for det gjennomsnittlige kvalitetstrekket ved fiskepopulasjonen. Det gjennomsnittlige kvalitetstrekket ved populasjonen og dens trendutvikling estimeres gjennom eksponentiell glatting, også kjent som en state-space modell med én enkelt kilde til usikkerhet (Hyndman et al., 2008). Fra den tilpassede modellen får vi da et estimat for det gjennomsnittlige kvalitetstrekket ved populasjonen filtrert for støy. Dette kan tolkes som et underliggende, latent kvalitetstrekk ved merden.

Parametere og initialverdier tilpasses ved å maksimere sannsynligheten for måledataene gitt modellen («maximum likelihood estimation»). Vi estimerer ett felles sett parametere basert på data fra alle merder, mens de (latente) initialtilstandene estimeres separat for hver merd. Merk at det estimeres én separat modell per kvalitetstrekk.

4.3.2 Resultater

Figur 1 illustrerer den estimerte modellen på data i hver av de seks merdene. De estimerte latente kvalitetstrekkene er illustrert med prediksjonsintervaller som kvantifiserer heterogenitet (farget intervall) og samplingsusikkerhet (sort intervall).

Fra Figur 1 ser vi at modellen gir en meningsfull estimering av den latente trenden. Det er rimelig å anta at kvalitetstrekkene ikke har veldig hurtige endringer, og vi ønsker ikke tidsseriemodeller som er overtilpasset små endringer som det er rimelig at kommer fra støy.

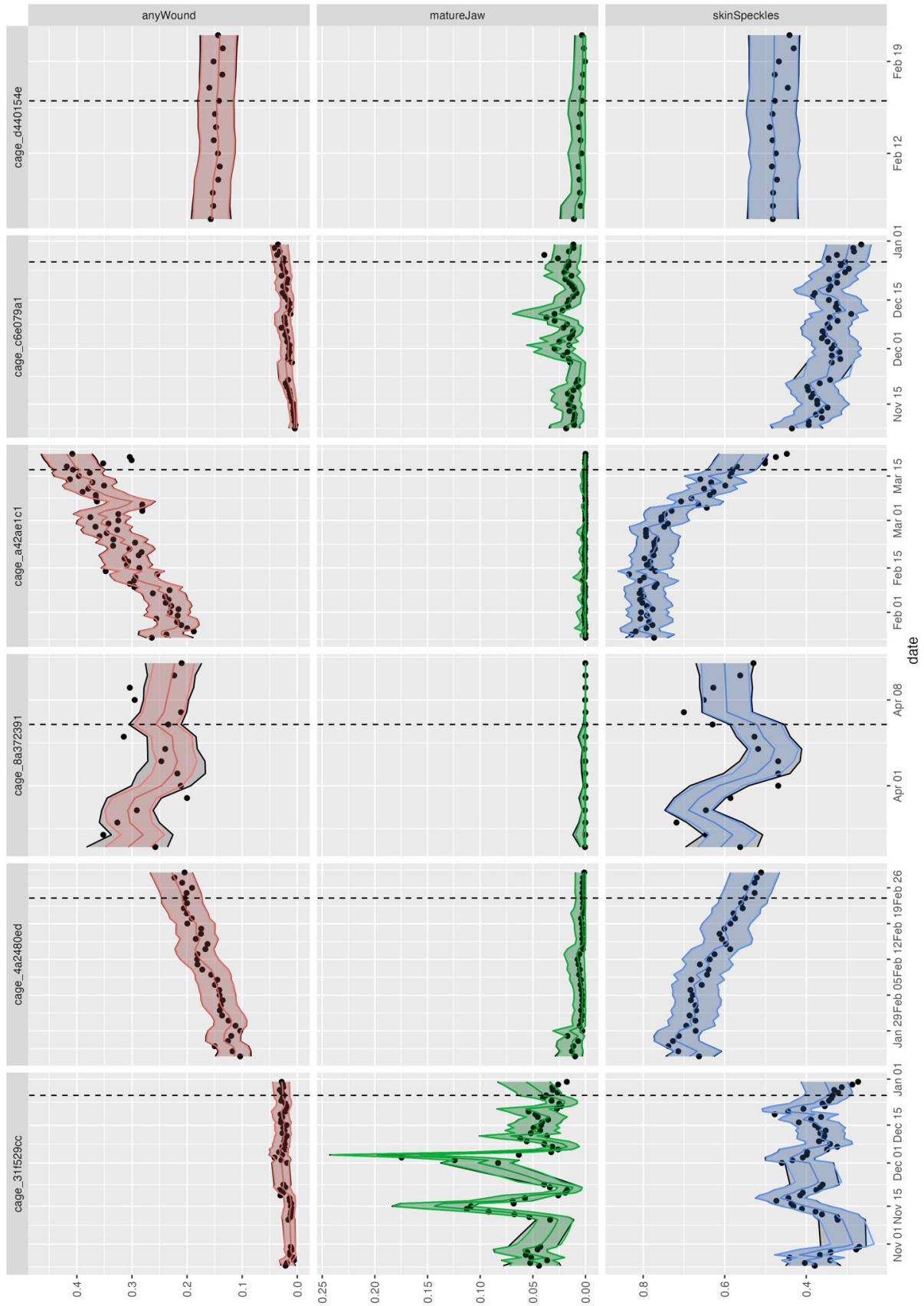
Likevel ser vi noen hurtige endringer i kvalitetstrekket for kjønnsmodning. Under den initiale dataanalysen fant vi noen gjentakende mønstre med periodisitet på 4-7 dager, men periodisiteten varierer også mellom merdene. En mulig forklaring på dette kan være bruk av kunstig lys i merdene som er kjent at stimulerer kjønnsmodning og hvor bruk av lys varierer i takt med arbeidsskift. Periodisitet kan også være en forklaring på de hurtige endringene vi ser i plottene for dette kvalitetstrekket. Nåværende er ikke datagrunnlaget stort nok til å fange opp og estimere denne periodisiteten i modellen.

Videre ser vi at forskjellen mellom prediksjonsintervallene grunnet heterogenitet i populasjonen (farget bånd) er like stort eller tilnærmet like stort som prediksjonsintervallet som *også* tar hensyn til samplingsfeil (sort bånd). Den lave samplingsfeilen kommer av at

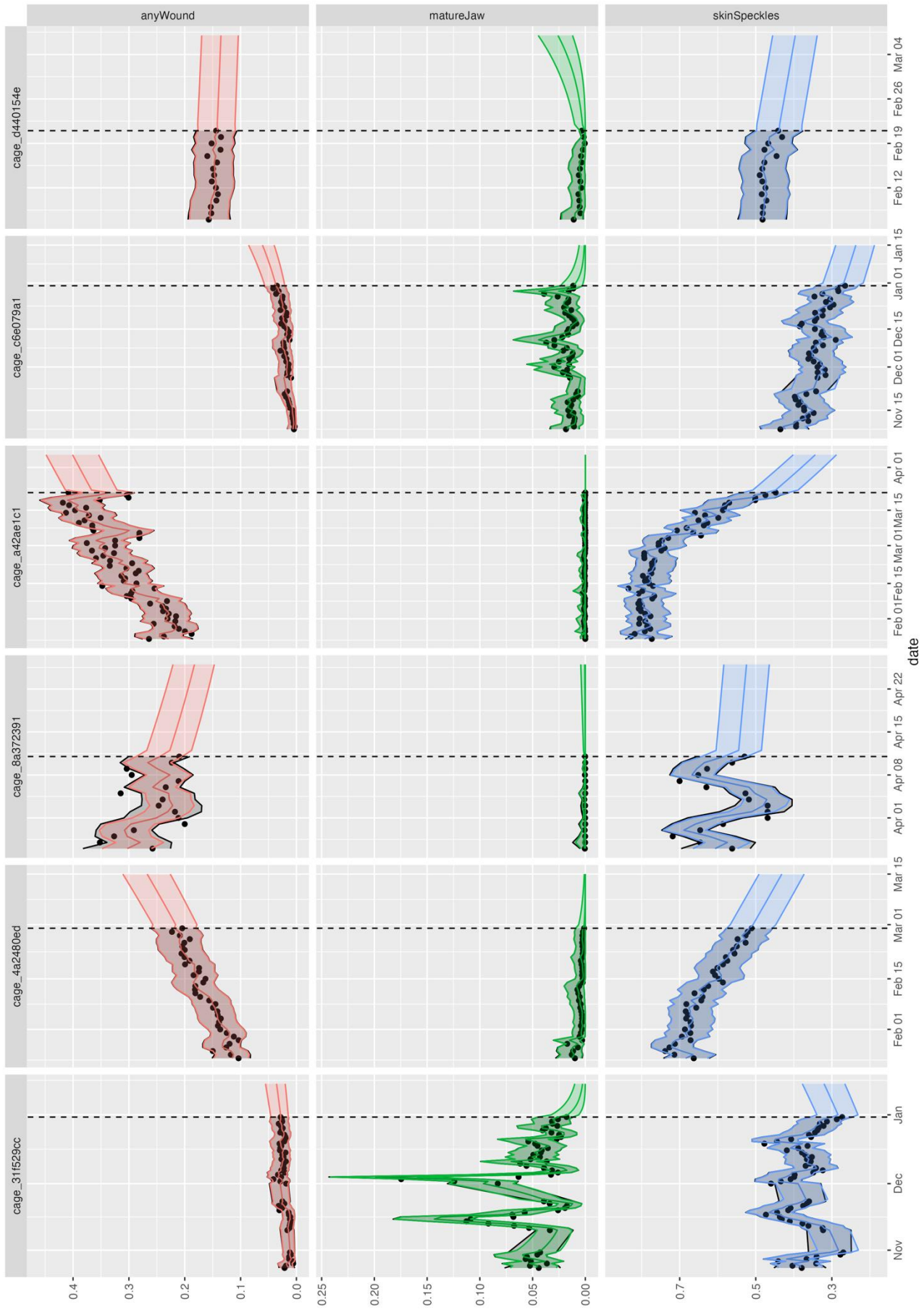
målingene er basert på et svært høyt antall talte fisk (ca. 8000 i gjennomsnitt). Likevel ser vi en mye større variasjon i målingene enn hva det er rimelig at samplingsfeilen tilsier. Dette kan forklares med stor heterogenitet i populasjonen; altså, at det finnes grupperinger av fisk som er mer eller mindre disponert for tap av kvalitet. Dette ser vi systematisk igjen i alle kvalitetstrekkene.

Videre gjør vi i Figur 1 prognose av historiske data (hindcast) for å sammenligne modellens evne til å lage prognose mot faktiske målinger over fem dager. Stiplede linjer i plottet illustrerer grensen for data som er inkludert under estimering. Figur 2 viser prognose forbi eksisterende data (forecast) som viser forventet utvikling fremover. Merk at usikkerhetsintervallene for prognosene er overdrevet optimistisk (smalere enn det som faktisk er tilfelle) grunnet metodikken brukt for å beregne dem.

For prognose av historiske data ser det ut til at vi har rimelig samsvar mellom prognose, usikkerhetsintervall og faktiske data. Prognoser som går forbi datagrunnlaget (Figur 2) benyttes til prediksjon av kvalitetsgradering i neste seksjon.



Figur 1: Estimert gjennomsnittlig kvalitetstrekk med 95% prediksjonsintervall for populationen (farget bånd) og dens kombinasjon med samlingsfeil (sort intervall). Samme målinger er plottet som i sorte prikker. Stiplet linje markerer slutten på data bruk til estimering, mens videre gjøres det prognose (hindcast). Merk at aksene har ulike skalaer.



Figur 2: Prognose av kvalitetstrekk fremover i tid (forecast). Stiplet linje markerer slutten på data brukt til estimering. Merk at aksene har ulike skalaer.

4.4 Prediksjon av kvalitetsgradering

For å predikere kvalitetsgrad utfra kvalitetstrekk trengs det et estimat for kvalitetstrekket. Målinger opphører i en periode før slaktedato, derav har man ikke målinger for kvalitetstrekk samme dag som slakt. Videre er det høy variabilitet i målingene av kvalitetstrekk. Første alternativ (1) for å håndtere denne problematikken er å benytte modellen for prognose av kvalitetstrekk (se Seksjon 4.3) både til å filtrere ut variabilitet og til å rulle utviklingen *dynamisk* fremover i tid. Andre alternativ (2) er å benytte en enklere filtreringsmetode som et rullende gjennomsnitt til å skille ut variabilitet for så å benytte det mest nylige estimatet før slakt *statisk* fremover i tid til å predikere kvalitetsgradering.

Prediksjonsmodellen for kvalitetsgradering skal estimere sannsynligheten for Superior kvalitet som en funksjon av kvalitetstrekk. Dette estimeres som en Generalisert Lineær Modell (GLM). Tabell 1 viser resultatene fra regresjonsmodeller som benytter de to alternative metodene, (1) og (2), til å velge et representativt kvalitetstrekk ved slakt.

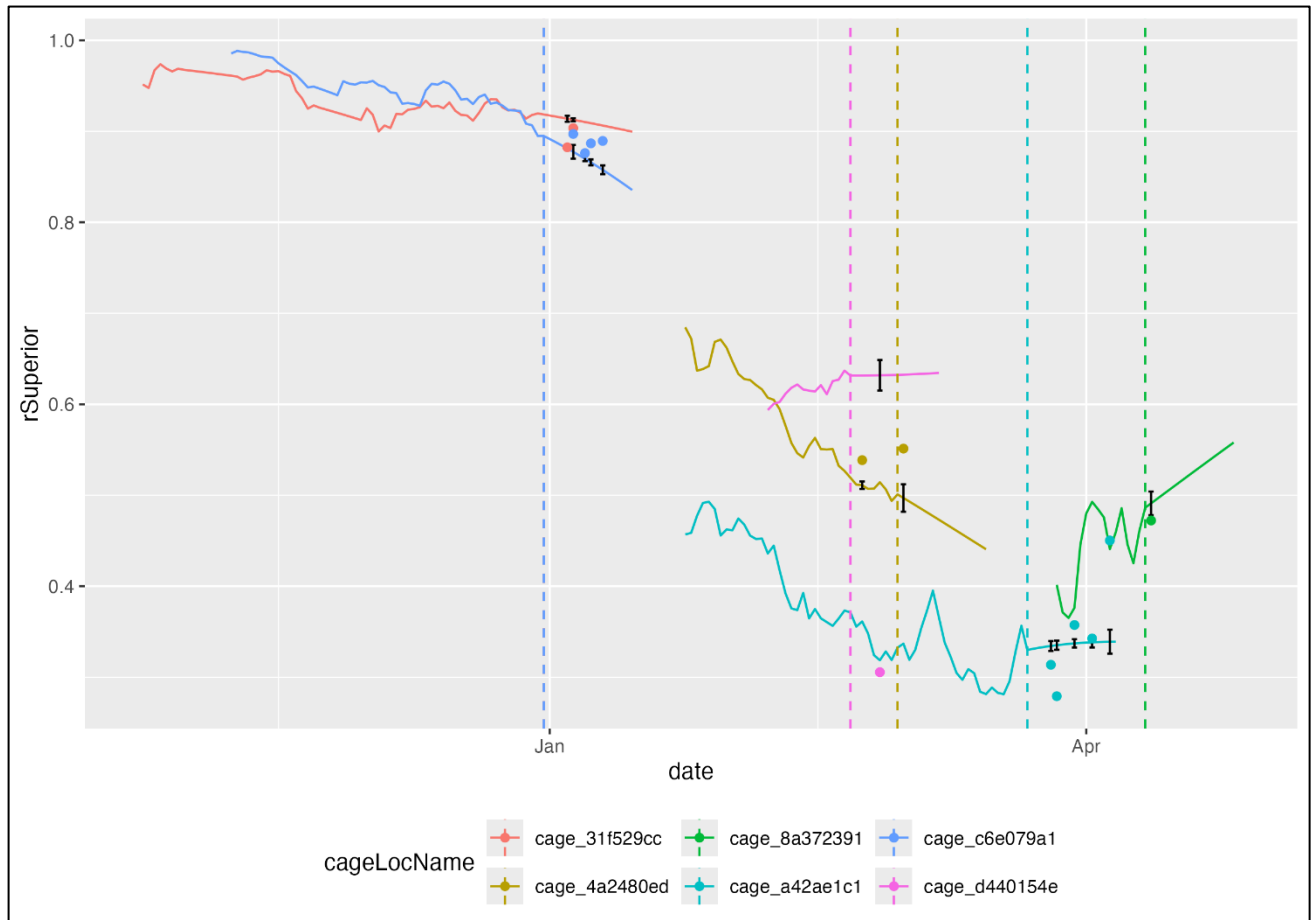
For modellalternativ (1) ser vi at alle kvalitetstrekk samsvarer med lavere andel Superior slik man skulle tro. For modellalternativ (2) assosieres derimot hudflekker med høyere Superiorandel, hvilket ikke burde være tilfelle. Derav benytter vi modellalternativ (1) som bruker et dynamisk estimat for kvalitetstrekk.

Tabell 1: Regresjonskoeffisienter for prediksjon av kvalitetsgradering. Enten ved å benytte prognose av kvalitetstrekk, eller rullende gjennomsnitt frem til siste måling.

	<i>Dependent variable:</i>	
	rSuperior	
	(1)	(2)
logit_level_anyWound	-1.089*** (0.024)	
logit_level_matureJaw	-0.024*** (0.005)	
logit_level_skinSpeckles	-0.046 (0.034)	
logit(ra_anyWound)		-1.035*** (0.028)
logit(ra_matureJaw)		-0.023* (0.012)
logit(ra_skinSpeckles)		0.124*** (0.032)
Constant	-1.577*** (0.071)	-1.499*** (0.119)
Observations	15	15

Log Likelihood	-1,236.631	-889.459
Akaike Inf. Crit.	2,481.261	1,786.918
Note:	*p<0.1; **p<0.05; ***p<0.01	

Vi ønsker nå å gjøre en historisk analyse av hvordan kvalitetsgradering har utviklet seg over



Figur 3: Prediksjon av andel fisk av Superior kvalitet. Punkter viser faktisk andel Superior kvalitet ved slakt. Stiplet linje viser tidspunktet hvor det brukes prognose av kvalitetstrekk i stedet for målinger. Sorte feilintervall viser forventet 95% prediksjonsintervall for samplingsfeil av kvalitetsgrad dersom samplingsfeil er eneste kilde til variabilitet, basert på antall fisk som slaktes.

tid basert på vår prediksjonsmodell. Prediksjonsmodellen estimeres først på dager med slaktedata, deretter kan den benyttes til å predikere Superior-andelen for dager uten slaktedata. Figur 3 illustrerer estimert Superior-andel gjennom hele produksjonsløpet basert på målinger av kvalitetstrekk. Videre utleder vi et prediksjonsintervall for hva som kan være en rimelig andel Superiorgradert fisk basert på predikert Superior-andel og antall fisk som er slaktet.

Først og fremst ser vi fra Figur 3 at det er tydelige trender i predikert Superior-andel som stammer fra tidsutviklingen i kvalitetstrekk. Dette styrker konklusjonen om at en dynamisk modell for kvalitetstrekk bør benyttes til å estimere prediksjonsmodellen for kvalitetsgrad.

Videre ser vi at prediksjonsintervallene for hva som er rimelig andel Superiorgraderte fisk er mye smalere enn det slaktedataene tilsier. Dette betyr, igjen, at det er betydelig

heterogenitet i fiskepopulasjonen når det gjelder kvalitetsgradering. For fremtidig bruk bør dette også tas hensyn til.

Som tidligere kommentert (se Seksjon 2.3) har man erfaring med at andelen Superiorgradert fisk er lavere i begynnelsen av utslakt sammenlignet med på slutten. Dette kommer av ubalansert innsamling av fisken, og at dette har sammenheng med kvalitetsgradering. I Figur 3 gjenkjenner vi slike tendenser, hvor andelen Superiorgradert fisk øker litt for påfølgende slakt. Det er én tydelig utligger i predikert kvalitetsgrad for «cage_d440154e» avviker sterkt fra faktisk kvalitetsgrad. Den lave Superior-andelen i dette tilfellet kan forklares ved at dette er første slakt (hvilket tilsier lavere Superior-andel) samt at dette var et nødslakt.

5 Diskusjon og konklusjon

Denne delrapporten ser primært på korttidsprognose av kvalitetsgradering og modellvalget er derfor basert på å kunne gjøre filtrering og detektering av underliggende tilstander og trender. Til mer langsiktige prognoser kan slik metodikk (for seg selv) komme til kort og bør kombineres med andre komponenter som gir mer struktur til modellen. For eksempel kan det tas hensyn til eksterne forklaringsvariabler (f.eks. temperatur) som kan si noe mer om tidsutviklingen. Til langsiktig prognose er det også en fordel med sterkere modellstruktur, for eksempel ved å assosiere prediksjoner til flere historiske observasjoner (auto-regresjon). Slik modellstruktur kan enten detekteres ved maskinlæring (dette krever større datagrunnlag), eller være basert på inkorporering av kjente årsakssammenhenger (se Seksjon 2.4).

Det er generelt stor variabilitet i målingene av kvalitetstrekk. Likevel er antall fisk som telles mange nok til at samplingsfeil ikke er en betydelig kilde til variabilitet, og det konkluderes med at den store variabiliteten primært kommer av heterogenitet i fiskepopulasjonen. Med andre ord; ulike fisk eller undergrupper av fisk har ulik disponering for hvert enkelt kvalitetstrekk som måles og dette gir seg uttrykk i høy variabilitet. Utfra denne betraktningen kan det være interessant å undersøke om denne heterogeniteten kan modelleres mer eksplisitt til bruk i prognoser eller kvantifiseres som en funksjon av andre observerbare faktorer.

For videre arbeid i prosjektet skal det utvikles metodikk for prognose av trekk som vektfordeling, lakselus og fremtidige behandlinger for lakselus, samt at disse skal inkorporeres i eksisterende produksjonsplanleggingsverktøy. Metodikk for prognose av lakselus og behandlinger er utviklet (Narum & Berentsen, 2024) og skal utvides med bruk av mer presise data tilgjengelige i prosjektet.

6 Hovedfunn

- Kortsiktige prognoser for kvalitetstrekk gir tilstrekkelig presisjon til å brukes for prediksjon av kvalitetsgradering fremover i tid
- Vi ser godt samsvar mellom prediksjoner av gjennomsnittlig kvalitetsgrad og faktiske slaktedata
- Det er stor heterogenitet i kvalitetstrekk blant fiskepopulasjonen som tilsier at fisken i en enkelt merd har undergrupper med ulik disponering for slik problematikk
- Det er tydelig ikke-modellert overdispersjon i teoretisk utledede usikkerhetsintervaller for predikert kvalitetsgrad som bør tas hensyn til i fremtidige modeller

7 Referanser

- Alvestad, R. (2021). *Drivers behind variation in welfare, quality, and production performance in Atlantic salmon farming production data* [Doctoral dissertation, Norwegian University of Life Sciences].
<https://hdl.handle.net/11250/2990720>
- Berg, A., Rødseth, O. M., Tangerås, A., & Hansen, T. (2006). Time of vaccination influences development of adhesions, growth and spinal deformities in Atlantic salmon *Salmo salar*. *Diseases of Aquatic Organisms*, 69(2–3), 239–248. <https://doi.org/10.3354/dao069239>
- Bjørgen, H., Wessel, Ø., Fjellidal, P. G., Hansen, T., Sveier, H., Sæbø, H. R., Enger, K. B., Monsen, E., Kvellestad, A., Rimstad, E., & Koppang, E. O. (2015). Piscine orthoreovirus (PRV) in red and melanised foci in white muscle of Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Veterinary Research*, 46(1), 89.
<https://doi.org/10.1186/s13567-015-0244-6>
- Bjørgen H, Koppang EO. The melano-macrophage: The black leukocyte of fish immunity. *Fish Shellfish Immunol*. 2024 May;148:109523. doi: 10.1016/j.fsi.2024.109523. Epub 2024 Mar 24. PMID: 38522495.
- Coyne, R., Smith, P., Dalsgaard, I., Nilsen, H., Kongshaug, H., Bergh, Ø., & Samuelsen, O. (2006). Winter ulcer disease of post-smolt Atlantic salmon: An unsuitable case for treatment? *Aquaculture*, 253(1), 171–178. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2005.08.016>
- Fjellidal, P. G., Hansen, T., Breck, O., Ørnstrud, R., Lock, E.-J., Waagbø, R., Wargelius, A., & Eckhard Witten, P. (2012). Vertebral deformities in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) – etiology and pathology. *Journal of Applied Ichthyology*, 28(3), 433–440. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2012.01980.x>
- Gil-Martens, L. (2010). Inflammation as a potential risk factor for spinal deformities in farmed Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Journal of Applied Ichthyology*, 26(2), 350–354. <https://doi.org/10.1111/j.1439-0426.2010.01433.x>
- Good, C., & Davidson, J. (2016). A Review of Factors Influencing Maturation of Atlantic Salmon, *Salmo salar*, with Focus on Water Recirculation Aquaculture System Environments. *Journal of the World Aquaculture Society*, 47(5), 605–632. <https://doi.org/10.1111/jwas.12342>
- Grini, A., Hansen, T., Berg, A., Wargelius, A., & Fjellidal, P. G. (2011). The effect of water temperature on vertebral deformities and vaccine-induced abdominal lesions in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, 34(7), 531–546. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2011.01265.x>
- He, J., Li, F., & Jiao, Y. (2021). Prediction of salmon (*Salmo salar*) quality during refrigeration storage based on dielectric properties. *International Journal of Agricultural and Biological Engineering*, 14(4), Artikkel 4. <https://doi.org/10.25165/ijabe.v14i4.6281>
- Hyndman, R., Koehler, A., Ord, K., & Snyder, R. (2008). *Forecasting with Exponential Smoothing*. Springer.
<https://doi.org/10.1007/978-3-540-71918-2>
- Imsland, A. K., Handeland, S. O., & Stefansson, S. O. (2014). Photoperiod and temperature effects on growth and maturation of pre- and post-smolt Atlantic salmon. *Aquaculture International*, 22(4), 1331–1345.
<https://doi.org/10.1007/s10499-014-9750-1>
- Jia, Z., Shi, C., Zhang, J., & Ji, Z. (2021). Comparison of freshness prediction method for salmon fillet during different storage temperatures. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 101(12), 4987–4994.
<https://doi.org/10.1002/jsfa.11142>
- Kent, M. L., Watral, V. G., Whipps, C. M., Cunningham, M. E., Criscione, C. D., Heidel, J. R., Curtis, L. R., Spitsbergen, J., & Markle, D. F. (2004). A Digenean Metacercaria (*Apophallus* sp.) and a Myxozoan (*Myxobolus* sp.) Associated with Vertebral Deformities in Cyprinid Fishes from the Willamette River, Oregon. *Journal of Aquatic Animal Health*, 16(3), 116–129. <https://doi.org/10.1577/H04-004.1>
- Koppang, E. O., Haugarvoll, E., Hordvik, I., Aune, L., & Poppe, T. T. (2005). Vaccine-associated granulomatous inflammation and melanin accumulation in Atlantic salmon, *Salmo salar* L., white muscle. *Journal of Fish Diseases*, 28(1), 13–22. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2761.2004.00583.x>
- Krasnov, A., Moghadam, H., Larsson, T., Afanasyev, S., & Mørkøre, T. (2016). Gene expression profiling in melanised sites of Atlantic salmon fillets. *Fish & Shellfish Immunology*, 55, 56–63.
<https://doi.org/10.1016/j.fsi.2016.05.012>
- Larsen, H. A. S., Austbø, L., Mørkøre, T., Thorsen, J., Hordvik, I., Fischer, U., Jirillo, E., Rimstad, E., & Koppang, E. O. (2012). Pigment-producing granulomatous myopathy in Atlantic salmon: A novel inflammatory response. *Fish & Shellfish Immunology*, 33(2), 277–285. <https://doi.org/10.1016/j.fsi.2012.05.012>
- Lerfall, J., Larsson, T., Birkeland, S., Taksdal, T., Dalgaard, P., Afanasyev, S., Bjerke, M. T., & Mørkøre, T. (2012). Effect of pancreas disease (PD) on quality attributes of raw and smoked fillets of Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Aquaculture*, 324–325, 209–217. <https://doi.org/10.1016/j.aquaculture.2011.11.003>

- Macagnano, A., Careche, M., Herrero, A., Paolesse, R., Martinelli, E., Pennazza, G., Carmona, P., D'Amico, A., & Natale, C. D. (2005). A model to predict fish quality from instrumental features. *Sensors and Actuators B: Chemical*, *111–112*, 293–298. <https://doi.org/10.1016/j.snb.2005.06.028>
- Misimi, E., Erikson, U., & Skavhaug, A. (2008). Quality Grading of Atlantic Salmon (*Salmo salar*) by Computer Vision. *Journal of Food Science*, *73*(5). <https://doi.org/10.1111/j.1750-3841.2008.00779.x>
- Mørkøre, T. (2017). *Mørke flekker i laksefilet—Kunnskapsstatus*. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.12843.13608>
- Mørkøre, T., Dessen, J.-E., Jimenez, R., & Rørvik, K.-A. (2016). *Effekt av fôr på melaninflekker i laks infisert med både PRV og SAV*. <https://nofima.brage.unit.no/nofima-xmlui/handle/11250/2417446>
- Narum, B., & Berentsen, G. D. (2024). *Joint Forecasting of Salmon Lice and Treatment Interventions in Aquaculture Operations* (SSRN Scholarly Paper 4843473). <https://doi.org/10.2139/ssrn.4843473>
- NBS. (1999a). *Quality grading of farmed rainbow trout*.
- NBS. (1999b). *Quality grading of farmed salmon*.
- Olsen, A. B., Nilsen, H., Sandlund, N., Mikkelsen, H., Sørsum, H., & Colquhoun, D. J. (2011). Tenacibaculum sp. Associated with winter ulcers in sea-reared Atlantic salmon *Salmo salar*. *Diseases of Aquatic Organisms*, *94*(3), 189–199. <https://doi.org/10.3354/dao02324>
- Oppedal, F., Taranger, G. L., Juell, J.-E., & Hansen, T. (1999). Growth, osmoregulation and sexual maturation of underyearling Atlantic salmon smolt *Salmo salar* L. exposed to different intensities of continuous light in sea cages. *Aquaculture Research*, *30*(7), 491–499. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2109.1999.00362.x>
- Sture, Ø., Øye, E. R., Skavhaug, A., & Mathiassen, J. R. (2016). A 3D machine vision system for quality grading of Atlantic salmon. *Computers and Electronics in Agriculture*, *123*, 142–148. <https://doi.org/10.1016/j.compag.2016.02.020>
- Sveinsdottir, K., Hyldig, G., Martinsdottir, E., Jørgensen, B., & Kristbergsson, K. (2003). Quality Index Method (QIM) scheme developed for farmed Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Food Quality and Preference*, *14*(3), 237–245. [https://doi.org/10.1016/S0950-3293\(02\)00081-2](https://doi.org/10.1016/S0950-3293(02)00081-2)
- Vikingstad, E., Andersson, E., Hansen, T. J., Norberg, B., Mayer, I., Stefansson, S. O., Fjellidal, P. G., & Taranger, G. L. (2016). Effects of temperature on the final stages of sexual maturation in Atlantic salmon (*Salmo salar* L.). *Fish Physiology and Biochemistry*, *42*(3), 895–907. <https://doi.org/10.1007/s10695-015-0183-1>
- Vågsholm & Djupvik. (1998). Risk factors for spinal deformities in Atlantic salmon, *Salmo salar* L. *Journal of Fish Diseases*, *21*(1), 47–53. <https://doi.org/10.1046/j.1365-2761.1998.00069.x>