

Spredning av lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) fra oppdrettsanlegg og beregnet dødelighet på utvandrende smolt fra Stadt til Hustadvika (PO5)

Live Skaara

Masteroppgave i Havbruk og Sjømat



Institutt for Biovitenskap

Det matematisk-naturvitenskapelige fakultet

Universitet i Bergen

Juni 2022

Veiledere

Mari Skuggedal Myksvoll, Havforskningsinstituttet

Frank Nilsen, Universitetet i Bergen

Forord

Denne masteroppgaven markerer slutten på en mastergrad innen Havbruk og sjømat tatt ved Universitetet i Bergen og er skrevet i samarbeid med forskningsgruppen Oseanografi og klima ved Havforskningsinstituttet i Bergen.

Jeg vil først og fremst takke min fantastiske veileder Mari Skuggedal Myksvoll for god oppfølging, konstruktive tilbakemeldinger og hyggelige samtaler.

Takk til Ingrid Askeland Johnsen for god datahjelp og flotte script, uten din hjelp ville jeg stått her uten resultater og figurer. Takk til Anne Dagrund Sandvik for flotte figurer. En stor takk til Oseanografi og klima gruppen ved Havforskningsinstituttet for god hjelp og innspill, tilgang til data og et sted å sitte. I løpet av perioden jeg har tilbrakt hos dem har jeg blitt godt tatt imot og inkludert, både på gruppesamlinger og kaffepauser, som jeg har satt stor pris på.

Til slutt vil jeg takke venner og familie for støtte og oppmuntring underveis. Takk til Synne Skaara for god hjelp og korrekturlesing av oppgaven.

Bergen 1. juni 2022

Live Skaara

Sammendrag

Lakselusen (*Lepeophtheirus salmonis*) er en naturlig parasitt i norske fjorden, som har blitt et økende problem for både oppdretts- og villaks. Spesielt i løpet av utvandningsperioden fører økt lusepåslag til utfordringer. Den utvandrende post-smolten blir utsatt for flere stressfaktorer i en allerede sårbar fase av livet, som fører til betraktelig større dødelighet. I et forsøk på å få smittesituasjonen under kontroll og hindre en kontinuerlig økning av lakselus i fjordene ble trafikklyssystemet innført i Norge. Den norske kysten ble dermed delt inn i 13 produksjonsområder. Produksjonsområde 5 fikk tildelt ett rødt lys i 2019, en forverring fra forrige vurdering i 2017, som førte til gult lys. Dette er bakgrunnen for denne oppgaven.

Hovedfokuset i løpet av oppgaven har vært på reduksjonen av antall anlegg og effekten dette har for de ulike elvene, samt hvordan forholdene i det fysiske miljø påvirker smittesituasjonen i hvert år. Målet i arbeidet var å finne ut hvor mange anlegg som måtte fjernes før området potensielt kunne fått tildelt et grønt lys. Dette har blitt gjort ved hjelp av den virtuelle post-smolt modellen (VPS-modellen). Denne regner ut hvor mange utvandrende post-smolt fra hver elv som dør på grunn av lakselus spredt fra oppdrettsanlegg i området. Utslippene fra hvert anlegg blir kalkulert fra innrapporterte lusetall. VPS-modellens resultater vil dermed gi et bilde på hvilke anlegg som påvirker villfisker i størst grad. Dette gjør det mulig å fjerne smitte som er frigjort fra utvalgte lokasjoner, som vil gi et bilde på hvordan smittesituasjonen ville vært med den spesifikke endringen.

Før anlegg ble fjernet fra modellen var de gjennomsnittlige dødelighetsprosentene i hele produksjonsområdet følgende; 20.3% (2018), 29.9% (2019), 12.4% (2020) og 16.4% (2021). De ulike årene krevde at ulike antall anlegg ble fjernet fra modellen før området kunne bli tildelt et teoretisk grønt lys. I 2018, 2019, 2020 og 2021 krevde dette henholdsvis 4, 18, 2 og 6 anlegg. Kontrastene mellom årene skyldes miljøforholdene under utvandningsperioden og hvilke anlegg som ble fjernet. Fjordenes utforming påvirker spredningen av lakseluslarvene. Romsdalsfjorden er en bred fjord med strømmer innad, som fører til et kollektivt smittepress. Effekten av å fjerne anlegg i slike områder vil være mindre. I smale fjorder, som Storfjorden og Voldsfjorden, dekker strømmen hele bredden som fører til mer smitte langs fjordkantene. Dersom elvene har over 30% dødelighet i VPS-modellen og er samlet i samme område av en slik smal fjord vil metoden vise positive resultater. Variasjoner i spredningen skyldes årlige variasjoner i miljøet. Hydrografiske verdier som temperatur, saltholdighet og strømninger ble hentet ut av Norkyst800. Variasjon i disse verdiene påvirker hvordan lakselus spres og burde tas hensyn til ved en mulig økning eller reduksjon av produksjonskapasiteten.

Innholdsfortegnelse

Forord.....	1
Sammendrag	2
1 Introduksjon	5
1.1 Bakgrunn og målsetting.....	5
1.2 Lakselus (<i>Lepeophtheirus salmonis</i>)	8
1.2.1 Verts artene.....	10
1.2.2 Utvandrende fisk	12
1.3 Hydrografi i fjorder.....	12
1.3.1 Økosystem	14
1.3.2 Miljøeffekter av havbruk	14
2 Metode	15
2.1 Produksjonsområde 5.....	15
2.2 Virtuelle Post-Smolt modellen	17
2.2.1 Funksjon	17
2.2.2 Referanseverdier	19
2.2.3 Beregning av anleggene med størst effekt på dødeligheten per år.....	20
3 Resultater	22
3.1 Hydrografi.....	22
3.1.1 Utvandningsperioden 2018.....	24
3.1.2 Utvandningsperioden 2019.....	26
3.1.3 Utvandningsperioden 2020.....	28
3.1.4 Utvandningsperioden 2021.....	30
3.2 Antall lus og fisk i hvert år	32
3.3 Smittepress i utvandningsperioden	34
3.3.1 Gjennomsnittlig smittepress per år.....	34
3.3.2 Ukentlige endringer per år	35
3.4 Anleggene med størst effekt på dødeligheten per år	37
3.5 Dødeligheten når anlegg fjernes fra modellen.....	42
3.5.1 Resultater fra 2018.....	42
3.5.2 Resultater fra 2019.....	42
3.5.3 Resultater fra 2020	44
3.5.4 Resultater fra 2021.....	44
3.5.5 Gjennomsnittlige verdier for hvert år	45
4 Diskusjon	47

4.1 Resultat.....	47
4.1.1 Kontraster mellom oddetallsår og partallsår	47
4.1.2 Er det mulig å fjerne enkelte anlegg for å bedre situasjonen?	49
4.2 Geografisk.....	50
4.2.1 Hydrografi og spredning.....	50
4.2.2 Rauma og Ørsta – området nasjonale laksevasdrag	51
4.2.3 Hvorfor er det viktig å ta hensyn til de mindre elvene?.....	53
4.3 Virtuelle Post-Smolt modellen	54
4.3.1 Utvandningsrute.....	54
4.3.2 Utvandringstidspunkt.....	55
4.3.3 Standardavvik	56
5 Konklusjon	57
6 Veien videre.....	58
Referanser	59
Appendiks.....	64
A1 Oversikt over Elver, teoretisk smoltproduksjon og utvandringstidspunkter	64
A2 Ukentlige endringer i smittepresset gjennom perioden for alle år	65

1 Introduksjon

1.1 Bakgrunn og målsetting

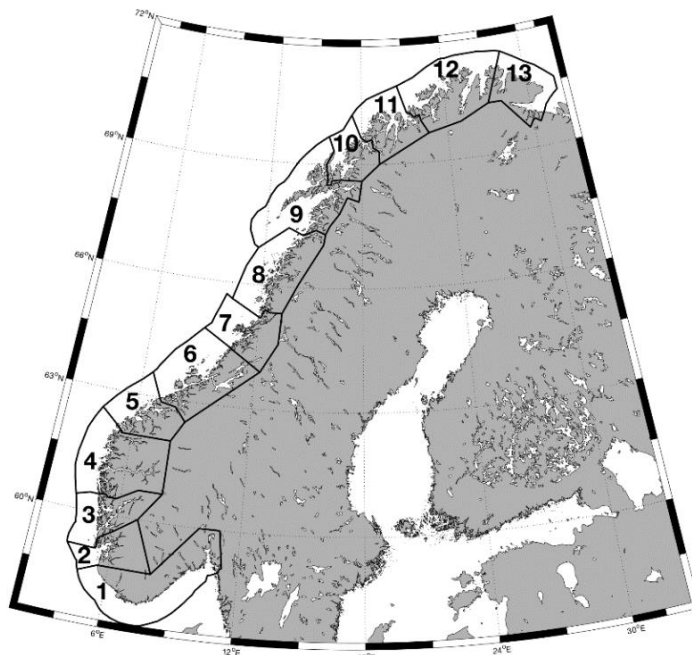
Den norske oppdrettsnæringen hadde sin oppstart på 1970-tallet, og har hatt en sterk vekst siden da. I 2021 ble 1.56 million tonn atlantisk laks (*Salmo salar*) og 84 000 tonn Regnbueørret (*Oncorhynchus mykiss*) produsert. I 2020 ble det produsert 1.40 million tonn atlantisk laks, noe som gir en økning på 0.16 million tonn. I 2019 og 2018 ble henholdsvis 1.36 millioner tonn og 1.28 millioner tonn atlantisk laks produsert. Regnbueørret hadde en økning fra 2018, 2019 og 2020, med produksjonstall på 66 700 tonn, 79 600 tonn og 92 700 tonn (Sommerset et al., 2022). Oppdrettsfisken har fra start vært påvirket av sykdom og parasitter, som har ført til store mengder fisk dør årlig. I 2021 døde 15.5% av den utsatte fisken, hvor parasitter og sykdom var en av årsakene (Sommerset et al., 2022). Andre årsaker inkluderer blant annet systematiske infeksjoner, bakterielle infeksjoner, sår, behandlingsrelaterte tap eller at fisken er generelt mindre robust og ikke overlevde forholdene i det fysiske miljø.

På grunn av en enorm økning av potensielle verter gjennom de siste tiårene, har lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) blitt en av oppdrettsnæringens store utfordringer. Dette har gitt store utslag på bestandene av vill laksefisk (Torrissen et al., 2013), og ført til en ubalanse i fjordens økosystem. Villfisken er avhengig av begrenset spredning av nauplius I fra oppdrettsanleggene, for å kunne opprettholde de nåværende bestandene. Det eksisterer derfor en lusegrense på 0.5 hunnlus per fisk gjennom hele året. Denne senkes i løpet av utvandingsperioden til 0.2 hunnlus per fisk, for å verne den utvandrende smolten i en periode med fysiologiske utfordringer.

I løpet av året og spesielt på våren, blir oppdrettsanleggene regelmessig avluset, til gunst for både villfisken og oppdrettsfisken. Dette kan utføres ved ulike metoder; mekanisk, termisk, medikamentelt eller ved bruk av ferskvann. Hydrogenperoksid har vært et av legemidlene brukt til dette formålet, men på grunn av en stadig økende resistans mot legemidlene i lusen og usikkerheten på hvordan dette påvirker miljøet har den blitt mindre brukt de siste årene (Arff et al., 2016; Denholm et al., 2002). Ved utslipp av store mengder under rette forhold, kan nedslagsområdet dekke store areal og fremdeles inneholde skadelige konsentrasjoner. Forekommer dette i et mer vernet område vil et større areal påvirkes, samtidig som oppløsningstiden økes (Sævik et al., 2022). Etter at bruken av kjemiske metoder ble redusert, ble metoder med ferskvann, mekanisk avlusing og termisk avlusing mer vanlig. Hvor mekanisk innebærer å spyle eller børste lusen av fisken og termisk innebærer at fisken utsettes for 28-34°C i en mindre periode. Lusen og fisken har en liknende toleranseverdi ved høyere temperaturer. Temperaturendringer over denne verdien kan ha store konsekvenser for individets overlevelsessevne. Termisk avlusing vil til tross for dette være en effektiv metode, ettersom

fisken kan være utsatt for den høye temperaturen over lengre tid enn lusen. Fisken har en høyere toleransetid, som vil si lusen vil dø eller slippe før fisken får dødelige eller langvarige skader (Grøntvedt et al., 2015). Alle avlusingsmetodene fører til stress for laksen og kan gi økt dødelighet, derfor utforskes stadig nye forebyggende metoder og løsninger. Dette inkluderer både bruken av renseskjerm og måter å skjerme fisken for lusen, i form av luseskjørt, nedsunket merd og lukkede anlegg.

I 2017 ble trafikklyssystemet innført i Norge, og landet ble delt inn i 13 produksjonsområder (PO). Inndelingen på disse ble basert på den biologiske kunnskapen tilgjengelig om lakselus og en hydrodynamisk analyse av hvordan de ble spredt (Ådlandsvik, 2015). Geografisk inndeling av disse er følgende: PO1: Svenskegrensa til Jæren, PO2: Ryfylke, PO3: Karmøy til Sotra, PO4: Nordhordland til Stadt, PO5: Stadt til Hustadvika, PO6: Nordmøre og Sør-Trøndelag, PO7: Nord-Trøndelag med Bindal, PO8: Helgeland til Bodø, PO9: Vestfjorden og Vesterålen, PO10: Andøya til Senja, PO11: Kvaløya til Loppa, PO12: Vest-Finnmark og PO13: Øst-Finnmark (Biering et al., 2021). Produksjonsområdene er illustrert i figur 1.1.

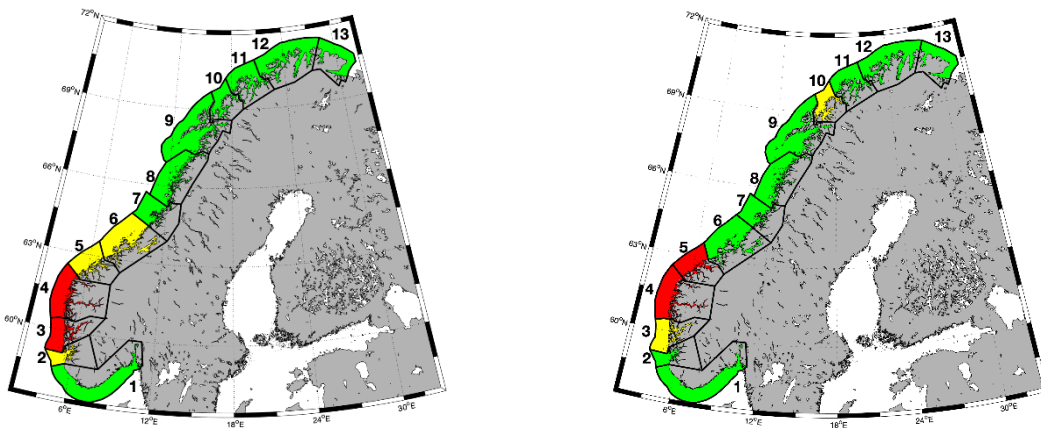


Figur 1.1: De 13 produksjonsområdene basert på Ådlandsvik (2015)

Trafikklyssystemet bruker effekten av lakselus med smittekilde fra et oppdrettsanlegg på vill laksefisk som vurderingsgrunnlag og tildeler en farge fra trafikklyset. Disse lysene regulerer produksjonskapasiteten i produksjonsområdene. Ved grønt lys er dødeligheten på villfisken under 10% og anleggene kan øke produksjonen med 6%, ved gult lys ligger dødeligheten mellom 10% og

30% og produksjonskapasiteten endres ikke, og ved rødt lys er dødeligheten over 30% og anleggene må senke produksjonen med 6%. Fargen til produksjonsområdene blir bestemt av Nærings- og fiskeridepartementet, hvor avgjørelsen er basert på råd fra ekspertgruppen og styringsgruppen. Ekspertgruppen er oppnevnt av styringsgruppen og består av 10 forskere. Deres oppgave er å utføre «en grundig naturfaglig vurdering av hvordan vill laksefisk påvirkes av lakselus i hvert enkelt produksjonsområde» (Vollset et al., 2021, s.5). Styringsgruppen ble oppnevnt av Nærings- og Fiskeridepartementet (NFD), og skal «gjennomgå og evaluere ekspertgruppens rapport, og levere en oppsummering av denne med relevante faglige vurderinger til Nærings- og fiskeridepartementet» (Biering et al., 2021, s.3). Vurderingen til styringsgruppen vil dermed bli brukt når NDF skal bestemme fargeleggingen av produksjonsområdene.

Trafikklyssystemet er et relativt nytt konsept i norsk akvakultur. Det ble innført 2017, men i dette året hadde ikke rødt lys noen konsekvens. Første året produksjonsområdene måtte redusere kapasiteten ble dermed i 2019. Figur 1.2 viser fargeleggingen i 2017 og 2019. I denne oppgaven er produksjonsområde 5 av interesse. I 2017 fikk området gult lys, som endret seg til rødt ved neste vurdering i 2019. Neste vurdering for 2021 er per dags dato ikke bestemt av regjeringen enda. Styringsgruppens råd tilsier moderat påvirkning, noe som tilsvarer et gult lys.



Figur 1.2: Trafikklys for alle produksjonsområdene i 2017 (venstre) og 2019 (høyre)

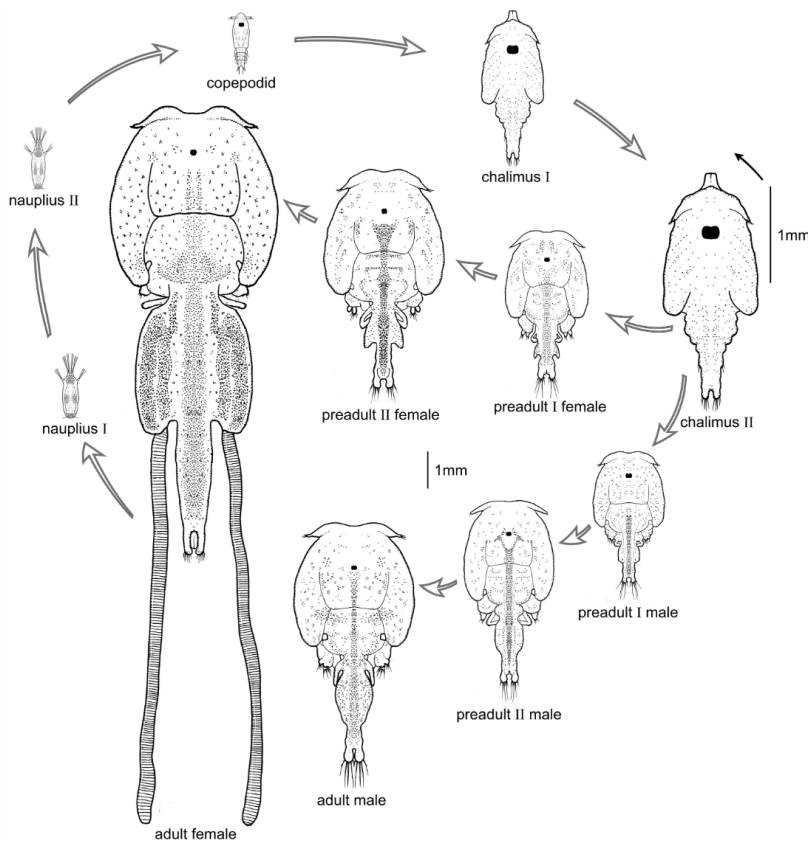
Formålet med denne oppgaven er å se nærmere på hva som førte til endringen i trafikklyset tildelt i 2019. For å gjøre dette må det kartlegges hvordan alle anleggene, både individuelt og sammen, påvirker dødeligheten til utvandrende smolt fra ulike elver i produksjonsområdet, og hvor store endringer som må forekomme før området ville oppnådd et teoretisk grønt lys.

1.2 Lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*)

Lakselus (*Lepeophtheirus salmonis*) er en naturlig parasitt på laksefisk (laks, ørret og røye) i norske fjord og kystsystemer, som gjennom årene har blitt et stadig større problem. Dette økende problemet for oppdrettsnæringen har også resultert i problemer for populasjonene av laksefisk i områdene rundt anleggene.

Lakselusens livssyklus består av åtte stadier (se figur 1.3), som skilles av skallskifter. De første stadiene, nauplius I og II, er planktoniske og ikke-smittsomme stadier, som blir spredt med havstrømmene frem til de når ca. 40 døgn-grader avhengig av temperaturen i sjø (Myksvoll et al., 2018). Nauplius II vil deretter gå gjennom et skallskifte og blir det neste planktoniske stadiet, kopepoditt. Kopepodittens funksjon er å lokalisere og feste seg til en vert. Dette gjør de ved hjelp av en rekke ulike stimuli i miljøet; blant annet bevegelser i vannet, lys og endringer i trykk (Bron et al., 1993; Brooker et al., 2018). Etter den har funnet seg en vert begynner den å spise på fisken og feste seg med et frontal filament (Schram, 1993). Lusen fester seg tilfeldige plasser på fisken. Flere lus fester seg ofte på finnene og hodet, da dette ofte er hvor lusen først kommer i kontakt med fisken. Kopepodittens vindu for å smitte en vert ligger mellom 40 døgn-grader og 170 døgn-grader, hvis den ikke har funnet vert innen dette tidsrommet vil den dø (Myksvoll et al., 2018). Frontal filamentet brukes for å ikke falle av verten i skallskiftene og i de parasittiske stadiene, Chalimus I og II (Bron et al., 1991). Chalimus I og II er fastsittende stadier, som etter ett nytt skallskifte blir til de mobile stadiene Pre-Adult I og II. Siste stadiet i livssyklusen er voksne lus, som reproducerer og starter syklusen på nytt. Både Pre-Adult (I og II) og voksne lus er mobile stadier som kan bevege seg rundt på fisken.

Voksne hunnlus vil produsere egg gjennom hele året. Disse eggene bæres på hunnlusen som to eggstrenger frem til de klekkes og kan inneholde 100-1000 egg avhengig av temperaturen i vannet (Costello, 2006; Schram, 1993). Lakselus har et kjønnsfordelingsforhold på 1:1, men hunnlusen vil utvikles saktere enn hannlusen. Eksempelvis, hvis temperaturen i fjorden er 10 °C vil tiden fra egget klekkes til lusen er voksen være 40 dager for hannlus og 45 dager for hunnlus (Fjørtoft et al., 2019).



Figur 1.3: Lakselusens åtte livsstadier. Fra Sea Lice Research Centre (2020)

<https://doi.org/10.18710/GQTYYL>

Lusen spiser fiskens hud, slim og blod, som fører til sår og en økt stressrespons (Brooker et al., 2018). Dette vil gjøre fisken mer mottakelig for sekundære infeksjoner og kan ha en negativ effekt på osmoreguleringen. Et høyt lusepåslag vil øke sannsynligheten for at fisken dør. Over tid vil selv mindre antall lus ha en effekt på appetitt, svømmekapasitet og vekst (Dawson et al., 1999; Torrissen et al., 2013), noe som øker sjansen for blant annet predasjon.

Lakselusens livssyklus er sterkt avhengig av og regulert av temperaturen i fjorden, og kan ha stor påvirkning på både vekst og reproduksjon (Costello, 2006; Ljungfeldt et al., 2017). Lusen kan bli funnet i temperaturer varierende fra 6 °C til 21 °C. Utenfor dette intervallet vil lusens overlevelse reduseres kraftig. Lengden lusen trenger før den blir voksen vil øke betraktelig ved lave temperaturer, hvor den vil trenge 72 døgn (432 døgn-grader) før voksent stadium ved minimumstemperaturen 6 °C. Maksimumstemperatur ligger på 21 °C, hvor lusen trenger 13 dager (271 døgngrader) på utviklingen fra egg til voksen lus (Hamre et al., 2019). Høyere temperatur fører til mer egg, samtidig vil disse tilbringe kortere tid i hvert livsstadium. Dette betyr mindre tid for naupliusene å spre seg og copepodittene å smitte fisk. I tillegg til dette har også temperaturen en effekt på smittsomheten av copepodittene. Med økende temperatur fra 10 °C til 15 °C vil flere lus

være vellykket i sine forsøk på å infisere utvandrende fisk. Frem til 20 °C holder denne infeksjonstoppen seg stabil, før en større økning i temperaturen vil ha negativ effekt på smittsomheten. På samme måte vil en lav temperatur på 5 °C også forårsake en lav smitteevne (Skern-Mauritzen et al., 2020). Saltholdighet har også innvirkning på hvordan både nauplius og kopepodittene brer seg utover et område. Begge svømmer vertikalt i vannmassene, som respons på stimuli i miljøet. Dette inkluderer saltholdighet og lys. Lusen trives i saltvann og unngår vann med lav saltholdighet. Nauplius i størst grad, da disse ikke blir funnet i vann med saltholdighet under 30 ‰. Kopepodittene unngår også lavere saltholdigheter, men i mindre grad og kan bli observert i brakkvann med verdier rundt 16 – 20 ‰ (Crosbie et al., 2019; Ljungfeldt et al., 2017). Lakseluslarvene svømmer opp mot overflaten mot lyset på dagen og synker ned igjen på natten. Kopepodittene har en stor følsomhet for lys. Selv om naupliusene (I og II) også reagerer av lys stimuli, er dette i mindre grad enn kopepodittene. Ved en økt lysstyrke vil aktiviteten til naupliusene også øke (Heuch et al., 1995).

1.2.1 Verts artene

Lakselus er en vert-spesifikk parasitt på laksefisk i familien Salmonidae. Langs Norskekysten inkluderer dette tre arter: Atlantisk laks (*Salmo salar*), Ørret (*Salmo trutta*) og Røye (*Salvelinus alpinus*).

Atlantisk laks er en anadrom fisk, som tilbringer de første 2-4 årene i elven i ferskvannet før den vandrer ut til havet. Vandringsen ut til havet kan skje på tvers av lange avstander og er en fase av laksens livsforløp som er mest sårbar for lakselus. Dette er på grunn av smoltifiseringen, en prosess som endrer fiskens tilpasning til et liv i ferskvann til et liv i sjøvann. Laksen vandrer tilbake til elva etter 1 til 5 år for å gyte. I løpet av perioden fisken har tilbrakt i sjøvann har vekten endret seg fra 15 - 50 g ved utvandringen til 1 - 25 kg ved tilbakevendingen, avhengig av hvor lenge de har levd i havet (Rikardsen & Dempson, 2011). De fleste laksene vil vandre tilbake til elven de selv ble født. Dette skjer sent på våren til tidlig høst, før de gyter sent på høsten (Houston & Macqueen, 2019; Klemetsen et al., 2003).

Det finnes både ferskvann og anadrome populasjoner av ørret, hvor de anadrome fiskene ofte er kalt sjøørret. Dette er typen ørret som går gjennom smoltifiseringsprosessen og vandrer ut til havet og kan dermed bli smittet av lakselus. Typisk for sjøørret er en kortere utvandningsvei og lengre oppholdstid i fjordene, da de som regel ikke vandrer lengre enn 100 km (Klemetsen et al., 2003). I år med et høyt smittepress kan sjøørreten utføre en prematur tilbakevending som respons på dette. Dette for å avluses og gjenopprette en balanse i osmoreguleringen etter det høye lusepåslaget

(Birkeland & Jakobsen, 1997; Serra-Llinares et al., 2020). Utvandringstidspunktet deres er samtidig som Atlantisk laks, med små variasjoner, og de blir møtt av like utfordringer i form av predatorer, sykdommer og parasitter. Når ørreten forlater elven veier den som regel mellom 30 til 150 g, og når den kommer tilbake veier den maks 2 kg (Jonsson & Jonsson, 2009). Denne arten tilbringer 2 til 3 år i fjorden før den vender tilbake til elvene, hvor gytingen skjer på høsten eller vinteren (Klemetsen et al., 2003).

Røye er hovedsakelig en ferskvannsfisk, men det eksisterer anadrome bestander. Dette er en arktisk art, som trives best i kalde temperaturer. De anadrome bestandene vandrer til havet på sommeren. Her blir de i 8 uker før de vender tilbake til ferskvannet. Utvandringen skjer ikke i forbindelse med et livsstadie, slik at utvandrende fisk er alt fra 2 til 5 år (Jobling et al., 2010). Forholdene fisken har levd i avgjør alderen. Røye varierer i størrelse og en kjønnsmoden fisk, kan veie mellom 3 g til 12 kg (Klemetsen et al., 2003). Gytingen skjer i løpet av høsten eller starten av vinteren i vassdrag og innsjøer med ferskvann (Jobling et al., 2010).

Alle de anadrome bestandene vil gå igjennom smoltifiseringen, for å tilpasse seg et liv i sjø. Under smoltifiseringen går fisken gjennom en rekke fysiologiske, morfologiske og atferdsmessige forandringer, etter stimulering av en rekke hormoner; veksthormon (GH), insulinliknende vekstfaktor type I (IGF-1), kortisol, thyroid hormoner (T3 og T4) og prolaktin (McCormick et al., 2013). Prolaktin er et ferskvannshormon som blir dempet når prosessen starter. Et liv i saltvann og ferskvann har ulike osmoregulatoriske utfordringer, som krever ulike typer kloridceller. Kloridceller på gjellene utfører omreguleringen, hvor ferskvanns-kloridceller tar opp salter og saltvanns-kloridceller kvitter seg med salter (Sundh et al., 2014). Smoltifiseringen settes i gang av ulike miljøfaktorer, hovedsakelig en økt daglengde og temperaturen i vannet (Folmar & Dickhoff, 1980). Dette registreres i hypothalamus som setter i gang en hormonell kaskadereaksjon i hypofysen. Når dette skjer øker mengde GH i fisken, som vil stimulere til økt produksjon av kortisol og IGF-1. De fysiologiske tilpasningene inkluderer at kortisol stimulerer stamcellene i gjellene til å danne saltvanns-kloridceller, samt IGF-1 som øker den osmoregulatoriske kapasiteten av dem. Etter en parr har gjennomgått overgangen til smolt endres fiskens morfologi. Dette skjer etter en økning av T3 og T4 (Björnsson et al., 2011). Fisken får en tynnere og langstrakt kroppsform, i tillegg til den får en sølvblank farge hvor buk er lysere enn ryggen (Hoar, 1976). Endringene i atferden innebærer et svakere instinkt til å svømme mot strømmen, noe som også vil være mer utfordrende for fisken etter de morfologiske endringene av kroppsformen. I tillegg vil smolten danne og svømme i stimer (Hoar, 1976). Når denne prosessen er ferdig, vil fisken være forberedt for det neste steget i livsløpet; utvandringen.

1.2.2 Utvandrende fisk

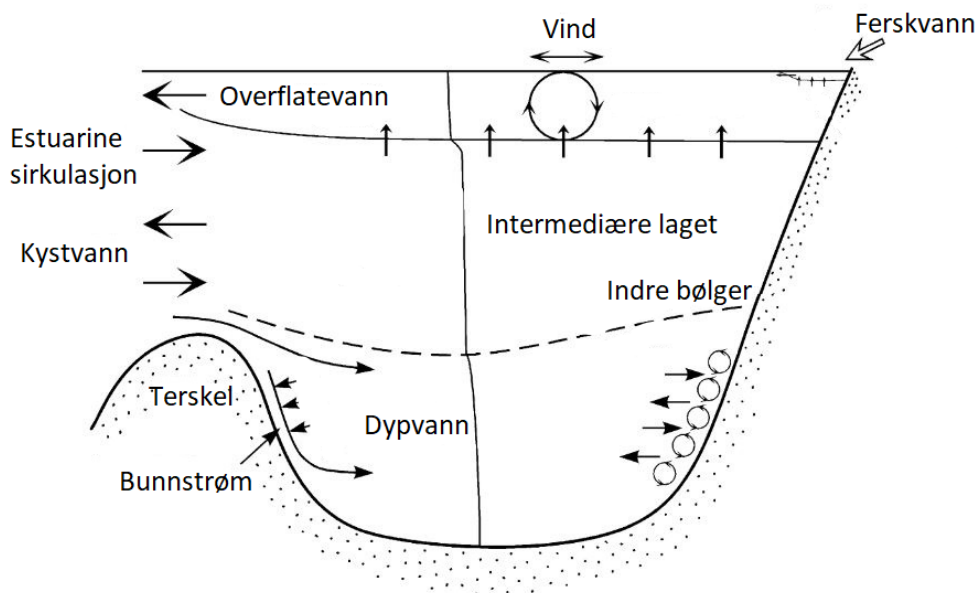
Når en post smolt begynner å vandre ut til havet, går den inn i den mest sårbare fasen. Denne tiden innebærer fysiologiske utfordringer knyttet til overgangen fra ferskvann til saltvann, og en overgang til et miljø med nye risikoer som for eksempel predasjon. Dette er en del av fiskens livssyklus som allerede er preget av en høy dødelighet, og blir stadig utsatt for smitte forårsaket av menneskelig aktivitet. Oppdrettsanlegg er kilder for sykdom og parasitter, som blir en ekstra belastning på fiskens overlevelsessevne.

Utvandringskilden avgjør lengden på utvandringsruten og hvor mange smittefelt post-smolten må svømme gjennom. Elvene som er lokalisert i fjordens indre deler vil ha flere slike felt på veien ut til havet. I tillegg bestemmer fjordens oppbygging hvordan strømmene vil spre smitten. Avhengig om fjorden er smal eller bredere vil smitten bli funnet i størst grad langs land eller også i resten av fjorden (Johnsen et al., 2016). En utvandrende fisk vil heller ikke svømme direkte ut til havet. Tidligere studier fra 2018 observerte flere smolt svømme innover igjen i fjorden, i tillegg til enkelte individer ble registrert i flere åpninger ut til havet før de forlot fjorden (Halttunen et al., 2018).

Strøm forhold kan utgjøre en stor forskjell på progresjonen og utvandringsruten, og endringer i disse under utvandringen kan føre til en ny rute blir tatt (Halttunen et al., 2018). Ofte vil ikke progresjonen tilsvare hastigheten fisken har holdt, da korteste vei ut i havet ikke er den valgt. Selv om det er mye usikkerhet rundt utvandringsrutene og hvordan fisken beveger seg i fjorden, kan observasjoner fra studier som Halttunen *et al.* (2019) bekrefte at de fleste smolt vil velge en lengre og mer komplisert rute. Denne utvandringsruten vil også være sterk påvirket av hvordan strømmingene i fjorden er til ulike tidspunkt. Sterke strømminger i fjorden kan føre til lavere svømmehastighet og valg av en kortere rute ut av fjorden. Spesielt hvis disse strømmer ut av fjorden i de ytre delene.

1.3 Hydrografi i fjorder

En fjord er et smalt, langt og dypt innløp ved kysten, som har blitt dannet ved isbreerosjon. Fjorden blir derfor ofte funnet langs kystlinjer på høye breddegrader. Bratte fjellsider og dype fjordbasseng med terskler til de dypeste bassengene er vanlige kjennetegn på en fjord. I tillegg vil lengden være større enn bredden (Farmer & Freeland, 1983). Langs norskekysten eksisterer fjorder som er opptil 200 km lange og 1300 m dype (Aure et al., 2007). Dybde, bredde og lengde er alle viktige faktorer som påvirker hydrografien og dynamikken i hver fjord.



Figur 1.4: Oversiktsskisse av vannutveksling og miksing av vannlagene i en typisk fjord. Dette er en forenklet figur over vannlagene i fjorder. Figuren viser en fjord fra elvemunningen til terskelen for ett fjordbasseng. Fra Stigebrandt (2012)

Vannmassene i fjorden er delt inn i tre lag vertikalt; overflatevannet, det intermediære laget og dypvannet (se figur 1.4). Overflatevannet strekker seg ned til ca. 5-10 meters dyp. Dette er en blanding av sjøvann fra havet og tilførsel av ferskvann, fra for eksempel elver og nedbør. Ferskvannet fører til at overflatevannet har en lav saltholdighet. Hvor stor tilførselen er varierer, og er avhengig av mengden nedbør og vannføringen i elvene hver sesong (Aure et al., 2007). Salt sjøvann kommer inn i fjorden fra havet inn under brakkvannslaget på toppen, som heter estuarin sirkulasjon. På grunn av dette sirkulasjonsmønsteret vil saltholdigheten øke utover i fjorden (Inall & Gillibrand, 2010). Under overflatevannet og over terskeldypet ligger det intermediære laget. Dette laget vil ikke være til stede i fjorder med grunn terskel. Tetthetsforskjeller forårsaket av vannmassene skaper en gradient mellom fjorden og sjøvannet utenfor, som fører til at strømmingene gjennom munningsarealet vil tilpasse stratifikasjon i fjorden til stratifikasjonen utenfor i havet (Stigebrandt, 2012). Dette vil skje ofte og fører til ett dynamisk lag. Dypvannet, som er under terskelnivået, er stillestående og blir bare byttet ut når tungt vann er tilgjengelig på terskelen for å fylle opp fjordbassenget. Vannutvekslingene som skjer i en fjord, er illustrert i figur 1.4. Kysten skilles ofte fra fjorden ved en terskel på havbunnen. En fjord kan inneholde flere slike terskler, som hver vil danne en eller flere fjordbasseng. Disse fører til at ulike deler av fjorden vil ha ulike dybder. Vannet i bassengene er preget av lav vannutveksling, som fører til anoksiske forhold (Aure & Danielssen, 2011).

1.3.1 Økosystem

I fjordene eksisterer egne økosystem, som er tilpasset hvert miljø. Et økosystem er et fellesskap av ulike arter som lever avhengig av hverandre og miljøet de lever i. De biotiske og abiotiske faktorene danner et selvdrivende miljø og ikke vil være avhengig av påvirkninger utenfra (Henderson & Lawrence, 2016, s. 171). Økosystemet inneholder produsenter, konsumenter og nedbrytere som er fordelt i ulike trofiske nivå. Alle artene i hvert nivå bygger opp området næringsnett og biodiversitet. Næringsnettet forklarer sammenhengen mellom de ulike organismene og forteller hva de ulike artene spiser og blir spist av (Henderson & Lawrence, 2016, s. 213). Dette starter med primærprodusentene, plantene, og fortsetter videre med arter i hvert trofiske nivå. I artsrike systemer vil funksjonen bli i liten grad hemmet ved tap av en art, mens i artsfattige systemet vil dette ha store økologiske konsekvenser (Kaiser, 2011, s. 22).

Biodiversitet er avhengig av flere komponenter; et økologisk mangfold, artsmangfold og genetisk mangfold (Kaiser, 2011, s. 15). Det eksisterer et bredt utvalg av habitater og økosystemer, som har egne utfordringer for de tilhørende artene. Fjorder skiller fra kysten med en terskel på fjordbunnen. Denne begrenser vannutvekslingen og vannsirkulasjonen i fjorden. De anoksiske forholdene i fjordbassengene fører til at et lite utvalg organismer er tilpasset et liv her (Kaiser, 2011, s. 144). Organismene som lever i fjordens øvre vannmasser er avhengig av en fysiologisk plastisitet, for å være i stand til å tilpasse seg endringene i miljøet. Dette inkluderer endringer i saltholdigheten, som forekommer etter tilførsel av ferskvann fra elvene og tilførsel av saltvann fra kysten (Kaiser, 2011, s. 154).

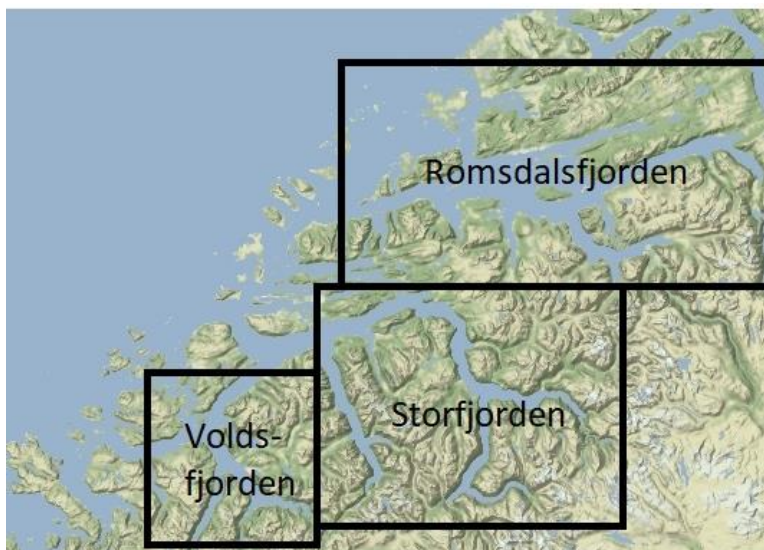
1.3.2 Miljøeffekter av havbruk

Oppdrettsanlegg påvirker fjorden på flere måter, hvor lakselus og rømt fisk er dokumentert til de største risikofaktorene (Grefsrud et al., 2021). Med rømt fisk er bekymringen at disse introduserer spesifikke genetiske sammensetning til villfisk bestander og bidrar til å spre sykdommer og parasitter, som lakselus, mer effektivt. Det slippes også ut en rekke kjemikalier og partikler som påvirker miljøet rundt. Dette inkluderer løste næringsalter, legemidler, fremmedstoffer, fôrspill og fekalier. Lokalt kan dette ha stor påvirkning på miljøet under merden. Fekaliene som faller ned til bunnen blir brukt av organismer med lavt trofisk nivå gjennom bakteriell nedbrytning, blir denne omsetningen høy kan dette resultere i oksygenmangel under merden og dårlige leveforhold. Løste næringsalter blir tatt opp av alger i og rundt anlegget, hvilken effekt dette har lokalt er avhengig av dybden under merden (Torrissen et al., 2016). Sannsynligheten for at et slikt utslipp har negative effekter er svært avhengig av lokaliteten. Faktorer som dybde og strøm avgjør spredningen og alvorlighetsgraden.

2 Metode

2.1 Produksjonsområde 5

Produksjonsområde 5 strekker seg fra Stadt til Hustadvika og inneholder Voldsfjorden, Storfjorden og Romsdalsfjorden, se figur 2.1. Blant disse er Romsdalsfjorden adskilt med landmasser ut til kysten, som fører til lav utveksling av smitte med fjordene sør. Storfjorden og Voldsfjorden har en tettere nærhet, og har ett koblingspunkt utenfor Ørsta, slik både fisk og smitte beveger seg mellom dem.



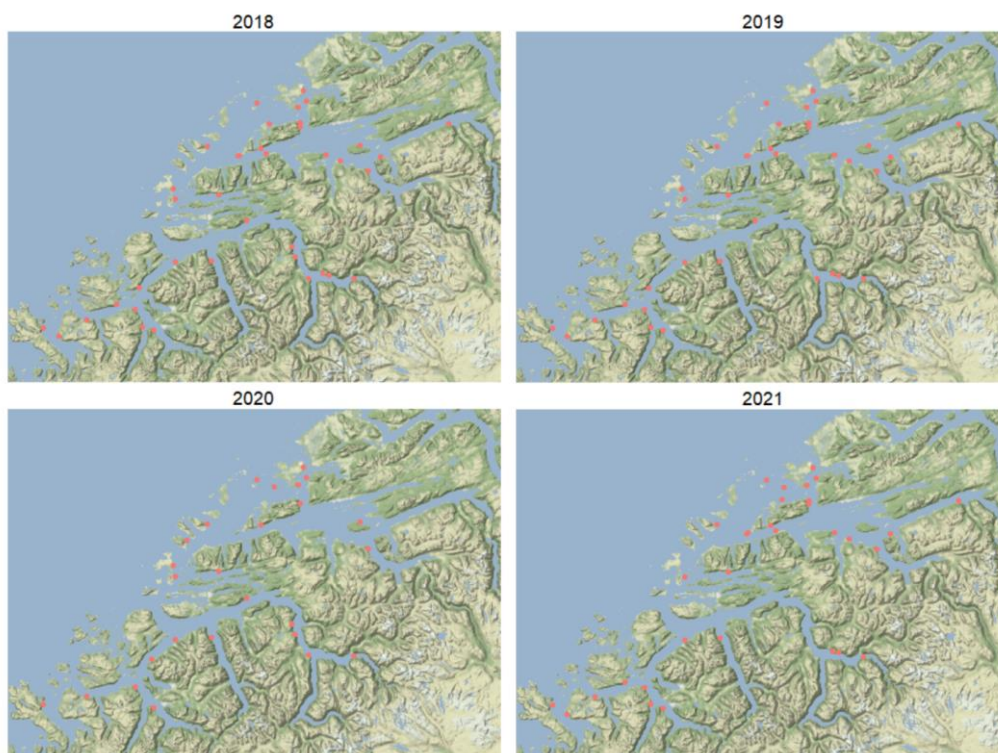
Figur 2.1: Oversikt over fjordenes geografiske plassering i PO5



Figur 2.2: Oversikt over de 44 registrerte laksevassdragene i produksjonsområde 5

De tre fjordene har totalt 44 registrerte laksevassdrag fordelt seg imellom (Nilsen et al., 2018). Plasseringen på disse er illustrert i figur 2.2. Området har en årlig teoretisk smoltproduksjon på ca. 529 000 (Vollset et al., 2019). De ulike elvene produserer ulike mengder smolt. Elva Rauma, som er plassert i indre del av Romsdalsfjorden, bidrar med 20% av den teoretiske smoltproduksjonen (Vollset et al., 2019). I tillegg munner Rauma ut i en av produksjonsområdets to nasjonale laksevassdrag. Det andre nasjonale laksevassdraget kan bli funnet ved elva Ørsta i Storfjorden og Voldsfjorden. Dette vil si at disse to vassdragene har etter forvaltningslovene blitt bestemt til å være to av de viktigste laksebestandene i Norge og skal dermed beskyttes. Med unntak av disse to har området tre større elver, Eira, Oselva og Valldal som bidrar med 5% hver. Resten av elvene har en lavere teoretisk smoltproduksjon, disse er oppsummert i Appendiks 1 (Ugedal, Fiske, et al., 2021). Utvandringen i de ulike elvene starter ordinært mellom 28. april til 2. mai, og foregår frem til tidligst 7.juni og senest 11.juni (Ugedal, Vollset, et al., 2021). Mengden utvandrende post smolt i prosent denne perioden er relativt jevn for alle de ulike elvene, altså vil også midtpunkttdispunkt for utvandringen også kun variere med noen få dager (Ugedal, Vollset, et al., 2021). I arbeidet utført i denne oppgaven er utvandringsperioden satt fra første dag i april til siste dag i juni. Dette er for å ta hensyn til en mulig tidlig eller sen utvandring.

Hvilke lokasjoner som er i bruk varierer fra år til år, en oversikt over aktive anlegg i utvandringsperiodene er illustrert i figur 2.3.

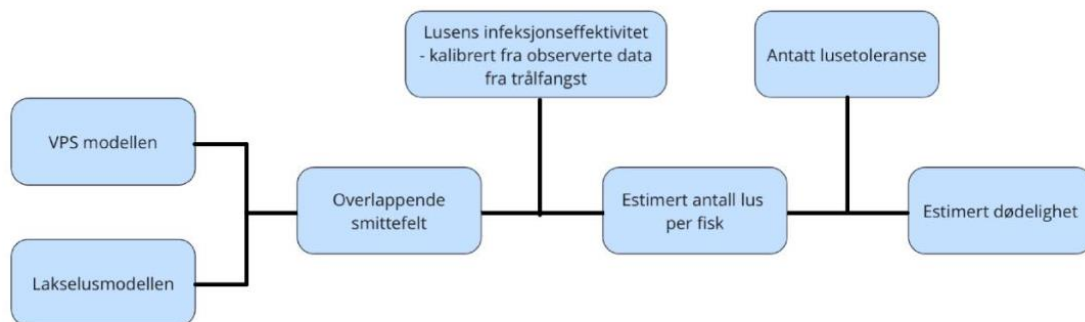


Figur 2.3: Plassering av alle aktive anlegg i utvandringsperioden fra 2018 til 2019

2.2 Virtuelle Post-Smolt modellen

2.2.1 Funksjon

Arbeidet i denne masteroppgaven er utført i Python gjennom den virtuelle post-smolt modellen (VPS modellen), som ble utviklet av Ingrid Askeland Johnsen og Bjørn Ådlandsvik. VPS modellen er en individbasert vandringsmodell som beregner antall lus på utvandrende postsmolt, fra elv til hav, ved hjelp av lakselusmodellen og Norkyst800. Figur 2.4 illustrerer hvordan modellen tar i bruk ulike variabler.



Figur 2.4: Systematisk oversikt over modellens steg for å beregne antall lus som fester seg på vandrende post-smolt

Fra start til slutt tar modellen hensyn til flere variabler som har en effekt på antall lus som setter seg på postsmolten. Disse bruker modellen til å kalkulere dødeligheten til den utvandrende postsmolten, basert på mengden lakselus som setter seg på fisken. Disse dødelighetsgrensene er konstante i modellen og er oppgitt i tabell 2.1:

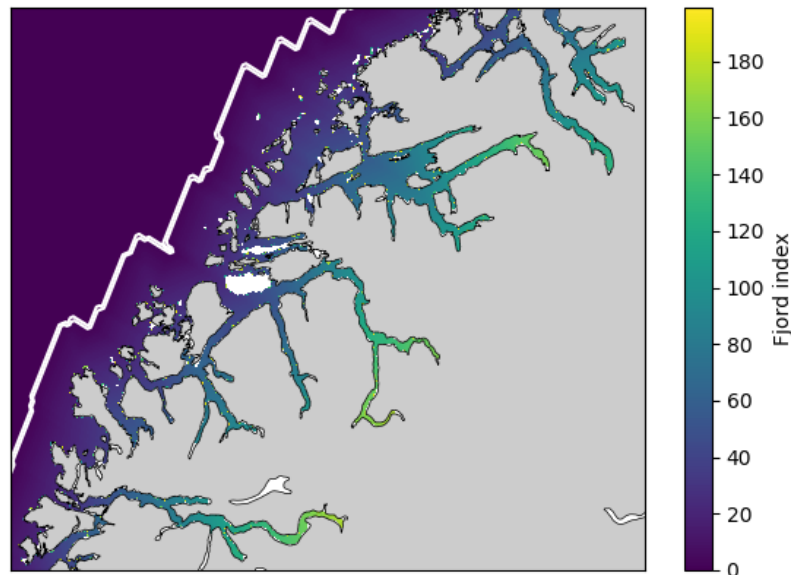
Tabell 2.1: Antatt dødelighet for postsmolt med ulike lusemengder

Antall lus per fisk	Antatt dødelighet
< 2	0%
2 ≤ 4	20%
4 ≤ 6	50%
> 6	100%

Modellen er programmert slik at smolten alltid kommer til å svømme til sjøen. Noe som er gjort mulig ved en fjordindeks laget av 800 meter x 800 meter grid i NorKyst800. NorKyst800 er et numerisk havmodelleringsystem, som simulerer flere fysiske variabler, deriblant temperatur, saltholdighet og strømninger (Asplin et al., 2011). Fjordindeksen blir et mål på sjøavstanden fra elv til åpent hav. Den virtuelle postsmolten beveger seg gjennom fjorden ved hjelp av 800 meters

gridceller. Disse cellene har tildelt ulike verdier, av fjordindeksen, hvor åpent hav har verdien 0 og blir gradvis høyere. For å få tildelt en verdi på 0 må gridcellen være minst 10 km fra land, Fra åpent hav øker fjordindeksen med $i + 1$ for hver nabocelle innover i fjorden (Johnsen et al., 2021).

Fjordindeksen for produksjonsområde 5 er illustrert i figur 2.5.



Figur 2.5: Fjordindeksen for PO5. Laget av Ingrid Askeland Johnsen

Denne fjordindeksen blir brukt videre i oppgaven for å spesifisere områder av interesse. Brukes områdebeskrivelsene ytre, midtre og indre del av fjorden vil dette tilsvare ulike verdiintervall fra fjordindeksen. Under 20 er kystområde, mellom 20 til 80 blir definert som ytre del, mellom 80 til 120 blir definert som midtre del og over 120 blir definert som indre del. Dette er grove estimat basert på verdiene som er synlige i figur 2.5.

VPS modellen bruker data fra lakselusmodellen, som regner ut lusekonsentrasjoner i området. Denne lusekonsentrasjonen vil si det kalkulerede antall kopepoditter som befinner seg i de 2 øverste meterne i vannsøylen (Johnsen et al., 2021). Konsentrasjonene kalkuleres daglig ved bruk av rapporterte lusetall fra oppdrettsanlegg langs kysten og ved hydrodynamiske modeller (Myksvoll et al., 2018).

Lakselusmodellen tar i bruk og kombinerer ulike modeller, studier og innsamlet data. Dette for å simulere en korrekt spredning og fysiologisk utvikling av lakselusen gjennom de to nauplius-stadiene og kopepodittstadiet. Modellen beregner hvor mye lakselus som slippes ut fra hvert oppdrettsanlegg med registrerte lusetall. Når eggene er klekket og larvene slippes i vannmassene blir de spredt basert på saltholdigheten, temperaturen og strømmen (Sandvik et al., 2017). Disse hydrografiske verdiene er beregnet av strømmodellen ROMS (Regional Ocean Modeling System), som er del av NorKyst800 (Albretsen et al., 2011). Lakselusmodellen inkluderer også biologiske aspekter som dødelighet, vekst

og atferd, slik den på best måte kan simulere hele lusens livsløp fra klekking til den har funnet vert (Sandvik et al., 2017).

I denne oppgaven vil konsentrasjonsfiler som inneholder lusefeltet for hvert individuelle anlegg bli lagt på hverandre i VPS-modellen. Dette vil tilsvare lusefeltet som allerede er beregnet for hele området, men vil gi bedre muligheter ved videre arbeid. Ettersom enkelte anlegg kan fjernes for å undersøke hvilken effekt dette har på dødeligheten i området. Dette er gjort for å skape et likt utgangspunkt og referanseverdier for hvert år.

Postsmolten blir sluppet fra elvemunningens gridcelle hver time i et oppgitt tidsrom (Johnsen & Ådlandsvik, 2017). I denne oppgaven blir det sluppet 1000 fisk fra hver elv. Hver time etter de er sluppet vil postsmolten bevege seg til en ny celle. Veien de tar videre vil være basert på fjordindeksen. For å finne en rute ut av fjorden undersøkte de individuelle fiskene nabocellene for å finne en lavere fjordindeks. Ettersom en ekte postsmolt aldri vil svømme direkte ut av fjorden og ulike individer nødvendigvis ikke vil velge den samme utvandningsruten, er VPS modellen programmert slik at den virtuelle postsmolten både kan flytte seg til en fjordindeks med høyere og lavere verdi. For å sikre at fisken stadig beveger seg mot havet vil sannsynligheten for at fisken velger en lavere verdi være fem ganger høyere (Johnsen et al., 2021). Når fjordindeksen er lik 0 vil simuleringen være ferdig. Utvandningsveien vil derfor ikke være lik hver gang, men på grunn av programmeringen vil variasjonen i disse ikke være drastiske.

Modellen er kalibrert ved hjelp av fangstdata fra trålinger utført i de ytre delene av fjorden. Trålen er 35 meter bred, når 5 meters dybde og blir dratt fremover ved 5 knop (Johnsen et al., 2021). Fisken fanget av disse kan bli tilbakekoblet til elvene de vandret ut ifra, ved hjelp av genetiske databaser (Harvey et al., 2019). Fangstdataene gir dermed et bilde på lusens evne og effektivitet til å infisere fisken og fører til et korrekt påslag på den virtuelle postsmolten gjennom kalibreringene.

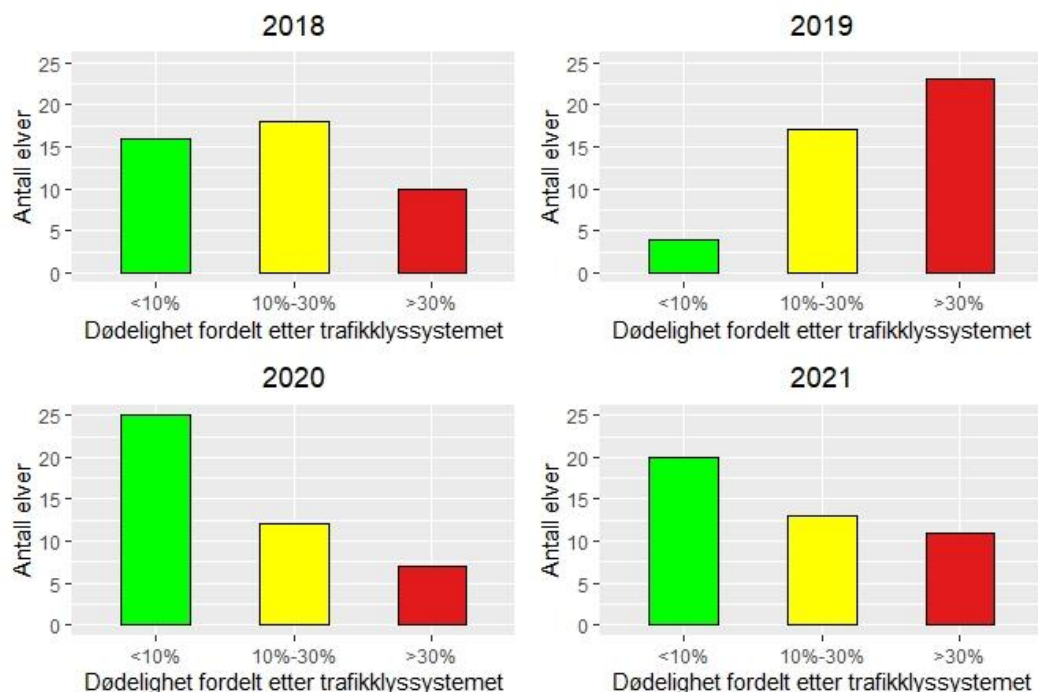
2.2.2 Referanseverdier

Det første som ble gjort var å gjenskape de opprinnelige vurderingene gjort i produksjonsområde 5 fra 2018 til 2021, i VPS modellen. Dette ble gjort ved å legge til konsentrasjonsfilene til alle anleggene som var aktive i løpet av utvandningsperioden, og kjøre en simulering i VPS-modellen for hvert år. Hvilke anlegg som har vært aktive er basert på de rapporterte dataene fra anleggene. I alle årene ble den gjennomsnittlige dødeligheten i området tilsvarende vurderingen. Disse fire ble referanseverdier for videre arbeid utført.

For å ha samme grunnlag på hvilke anlegg som hadde størst effekt på dødeligheten i området, ble hvert anlegg lagt inn og kjørt i modellen individuelt. Dette ble gjort for å kunne se hvilket anlegg som hadde størst effekt på dødeligheten i hver elv. Disse verdiene ble referanseverdier for hvert individuelle anlegg som var aktivt i hvert år.

2.2.3 Beregning av anleggene med størst effekt på dødeligheten per år

Trafikklyset området får tildelt er basert på flere aspekter, hvor en av disse er dødeligheten av den teoretiske smoltproduksjonen i de individuelle elvene. I hvert år blir kun elvene med over 30% dødelighet undersøkt videre, hvor mengden elver varierer fra 7 til 23 elver (figur 2.6).



Figur 2.6: Antall elver med <10%, 10%-30% eller >30% dødelighet per år

For å ta en vurdering på hvilke anlegg som hadde størst effekt på dødeligheten i området, må først hver elv som hadde en dødelighet på over 30% undersøkes enkeltvis. I kapittel 2.2.1 ble gjentatte simuleringer kjørt for hvert individuelle anlegg for å skape referanseverdier. Alle anleggene som hadde en dødelighet i en av de aktuelle elvene, ble plottet i egne figurer for hvert år. Dette for å enkelt se hvilke anlegg som hadde en større effekt. Selv om flere av de små elvene har anlegg med høyere dødeligheter, blir elvene med en høyere teoretisk smoltproduksjon vektet.

I partallsår ble alle elvene plottet i samme diagram, ettersom alle elvene som hadde en dødelighet på over 30% lå i samme fjordsystem. I oddetallsår er produksjonsområde 5 delt inn i to deler:

Romsdalsfjorden og Storfjorden/Voldsfjorden. Dette er fordi anleggene i liten grad påvirker den fjorden den ikke ligger i. Det blir derfor enklere å se hvilke anlegg som påvirker i hver del. Ett anlegg fra hver fjord blir tatt i betraktning.

I partallsår blir totalt tre anlegg sett på videre. Det blir beregnet hvilken som har størst effekt på dødeligheter. I oddetallsår blir det sett på seks anlegg; tre i Romsdalsfjorden og tre i Storfjorden. Følgende beregninger blir utført for hvert anlegg:

$$\text{Antall fisk drept} = \text{dødeligheten i elven (\%)} \cdot \text{elvens teoretiske smoltproduksjon}$$

De teoretiske smoltproduksjonene er oppgitt i Appendiks 1. Dette utføres for alle elvene som blir påvirket. Summen av disse legges deretter sammen og gir antall fisk drept fra alle elvene. Deretter beregnes dødelighetsprosenten til hvert anlegg:

$$Dødeligheten_{gj.snitt}(\%) = \frac{\Delta \text{Antall fisk drept}}{\Delta \text{Teoretisk smoltproduksjon}} \cdot 100$$

Anlegget med høyest dødelighet, basert på disse beregningene, ble dermed fjernet fra VPS-modellen. Modellen ble kjørt uten disse for å finne en mulig endring i de ulike elvene.

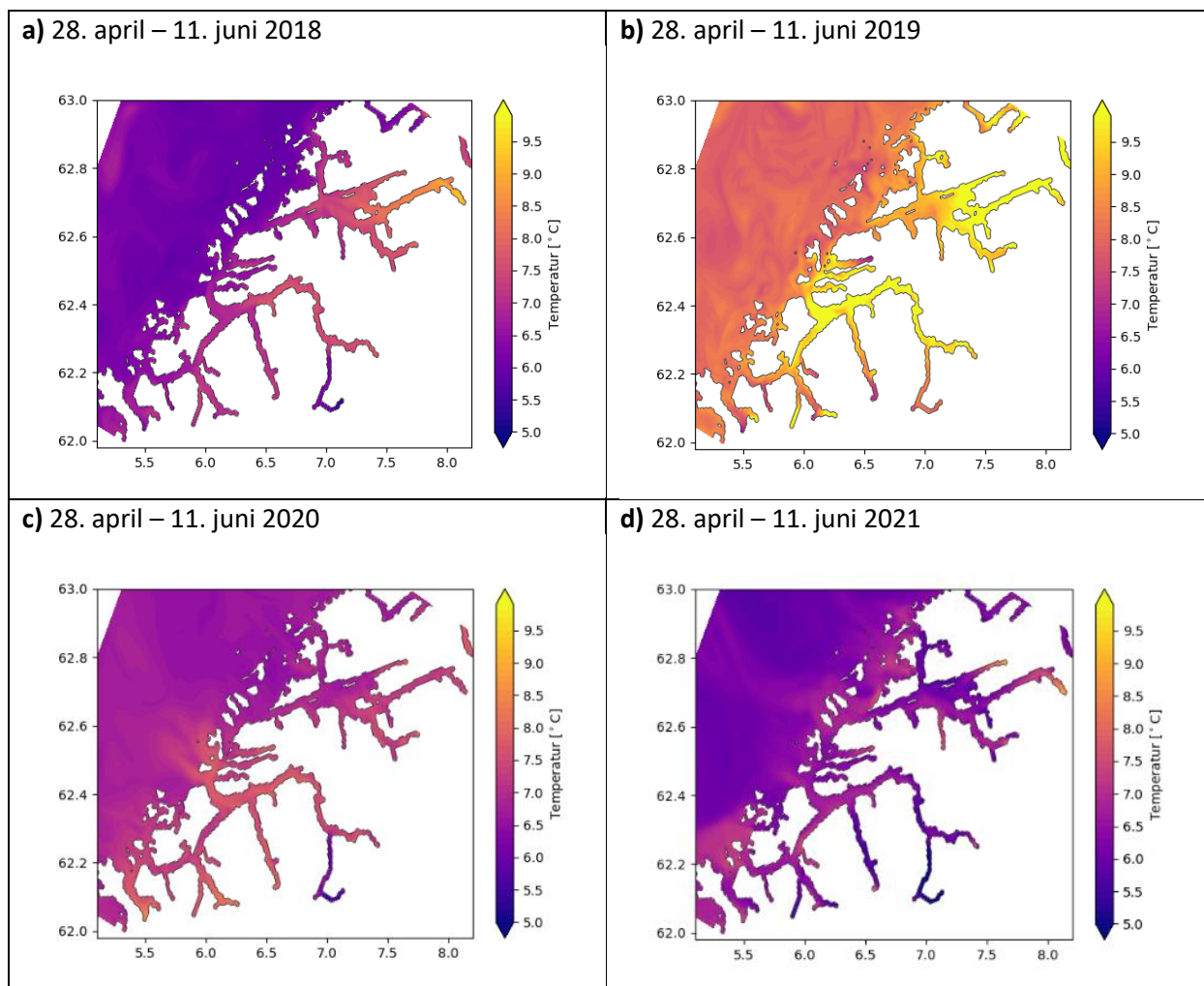
3 Resultater

3.1 Hydrografi

Verdiene for temperatur, saltholdighet og strømninger er samlet inn ved hjelp av Norkyst800.

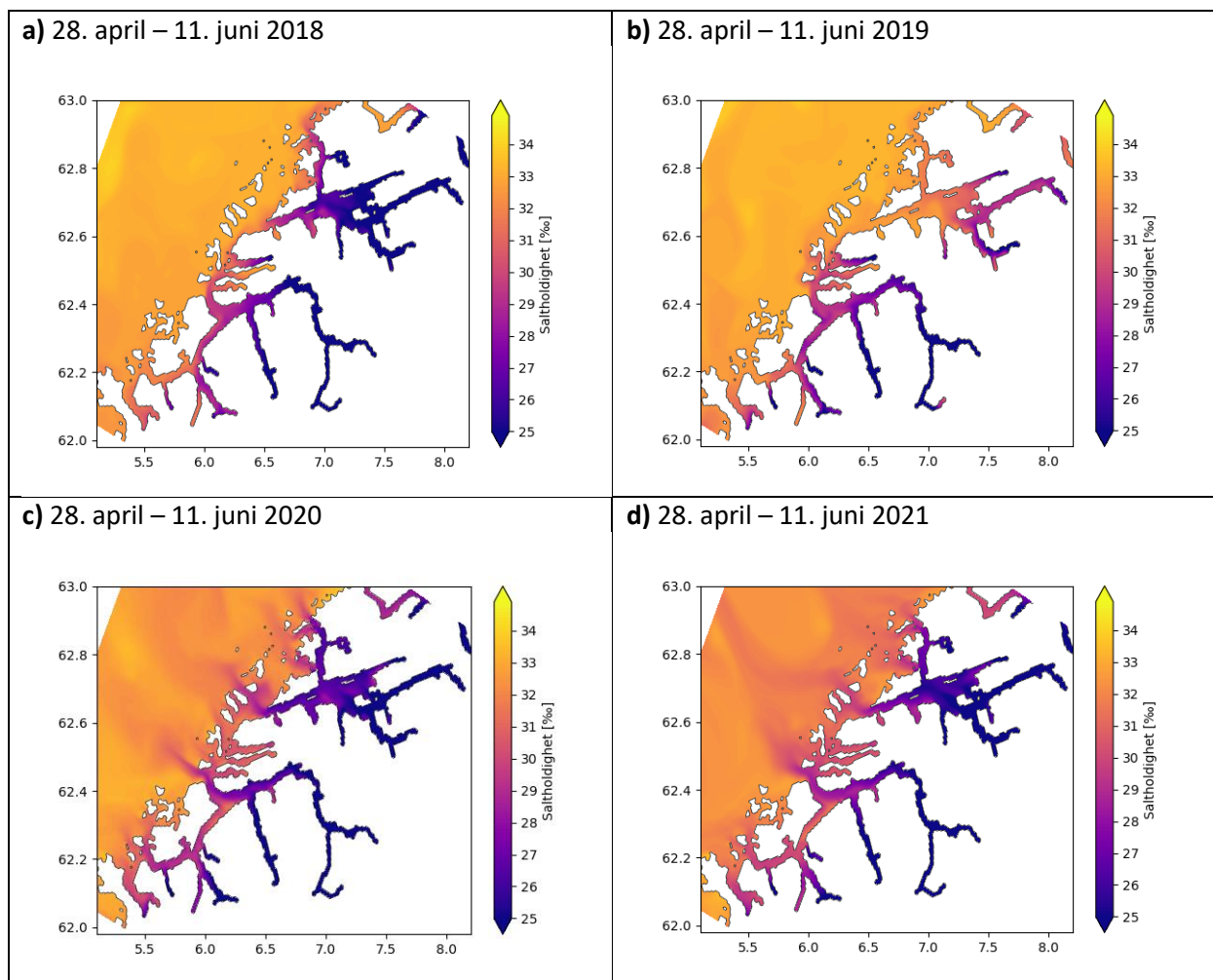
I løpet av utvandringsperioden har området en jevn økning i temperatur, hvor stigningskurven varierer fra år til år. Gjennomsnittstemperaturene i figur 3.1.a-d viser i begrenset grad hvor mye temperaturen steg hvert år. Områdene med fjordindeks på ca. 100 har en høyere temperatur enn både de innerste delene av fjorden og de ytre delene med havet. Dette gjelder for alle årene.

Temperaturen i de ytterste delene av fjorden hvor vann strømmer inn er lavere. Flere av de innerste delene av fjorden med elvemunningene har også en lavere temperatur. Dette er på grunn av tilførselen av ferskvannet. Året med laveste temperaturer basert på gjennomsnittet er 2021, hvor høyeste temperatur i figur 3.1.d ligger mellom 7.5 - 8.0 °C. Figur 3.1.b skiller seg ut da 2019 har desidert høyeste temperaturer, med temperaturer og en tydelig forskjell kan bli observert.



Figur 3.1.a-d: Gjennomsnittlig temperatur i utvandringsperioden per år

I de øverste 5 meterne i vannmassene, overflatevannet, er saltholdigheten lav. Denne er spesielt lav innerst i fjorden ved elvemunningene, hvor den får tilførsel av ferskvann. Saltholdigheten blir gradvis høyere med lavere fjordindeks. I Romsdalsfjorden skiller gjennomsnittsverdien i 2019 seg ut, da den er høyere i midtre del ved fjordindeks mellom 100 og 80. I 2020 og 2021 har brakkvann med lavere saltholdighet strømmet ut i havet, figur 3.2.c og d viser tegn til dette. I 2018 og 2019 har nedre og ytre deler av Storfjorden en høyere saltholdighet enn de to andre årene.



Figur 3.2 a-d: Gjennomsnittlig saltholdighet i utvandringsperioden per år

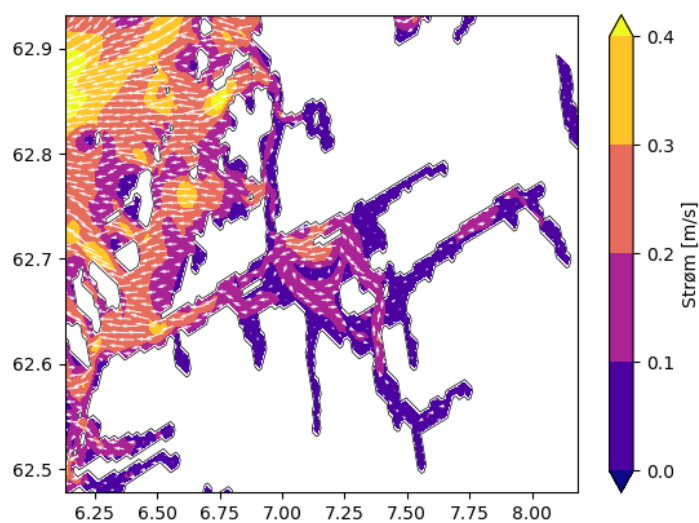
I alle årene øker saltholdigheten gradvis utover mot havet i den øverste meteren i vannmassene gjennom hele utvandringsperioden. Til enhver tid er saltholdigheten lavest innerst i fjorden, spesielt ved elvemunningene hvor fjorden får tilførsel av ferskvann. Ved 5 meter dybde er saltholdigheten generelt høy og viser salt sjøvann. Spesielt i indre deler av fjorden senkes denne til 29-30 ‰ på grunn av den estuarine sirkulasjonen. Ved 10 meter er saltholdigheten høy i hele området, med ingen senkninger gjennom hele perioden. Dette er forventet da det er under overflatevannet.

3.1.1 Utvandningsperioden 2018

I 2018 er lave temperaturer registrert ved starttidspunktet og ligger mellom 6 og 7 grader. Dette øker 6. mai til 8 og 9 grader i midtre, øvre del av Storfjorden og i hele Romsdalsfjorden. Gradvis økning videre 11. mai til 11 grader langs utvandningsruten fra Tafjordvassdraget og spredning fra Eira i Romsdalsfjorden. Dette spres til resten av fjordene, men ved flere av elvemunningene forblir temperaturen lav. I samme områder som forrige økning endres temperaturen 15. mai til 13 og 14 grader, før den senkes 21. mai i nedre del av Storfjorden til 10 og 11 grader. Etter 26. mai økes dette igjen, og hele området har en temperatur på 14 og 15 grader innen 1. juni. I fjordenes indre deler opprettholdes temperaturen høy etter 4. juni rundt 15 til 17 grader. De ytre delene senkes i temperatur igjen resten av utvandningsperioden. Ved 5 meters dybde går temperaturen opp i 11 grader på det meste, men holder seg rundt 8 og 9 grader hele perioden. Ved 10 meters dybde er temperaturen lav mellom 6 og 7 grader.

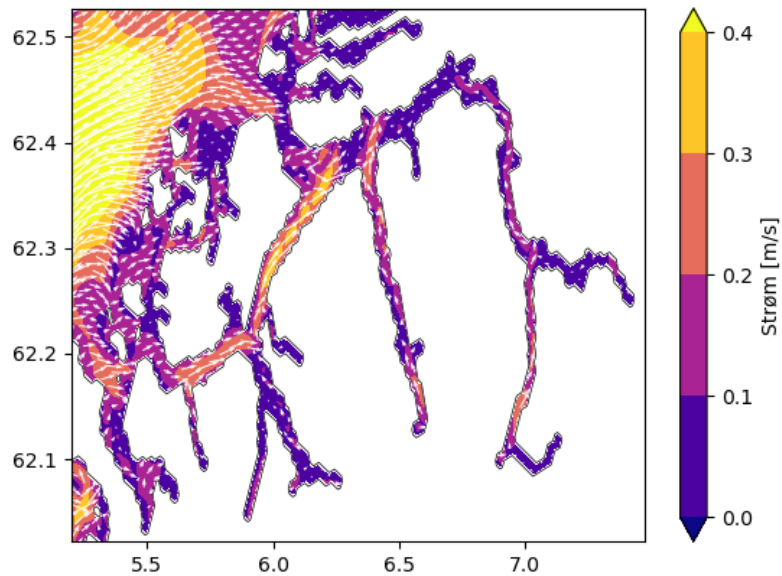
I 2018 senkes saltholdigheten innerst i fjordene 11. mai, til laveste verdi på rundt 5 ‰. Den lave verdien senker saltholdigheten i resten av fjorden gradvis. Dette opprettholdes frem til 3. juni, når en høyere saltholdighet forekommer mot et høyere fjordindeks igjen.

I starten av perioden har Romsdalsfjorden sterke strømmer ut mot kysten. Strømmene i midtre deler får en lavere hastighet etter 4. mai, med minste styrker frem til 11. mai. Dette er tidspunktet fjorden får tilskudd av ferskvann fra elvene, noe som speiles i strømmene med økt hastighet i de innerste fjordene mot Eira og Rauma. Strømninger i midtre del av fjorden, mellom fjordindeks 80 og 100, viser virvler gjennom perioden, hvor disse er sterkest og mest tydelige mellom 26. mai og 1. juni (Se figur 3.3). I slutten av utvandningsperioden øker saltholdigheten inne i fjorden igjen og strømmen snur, slik en strøm med hastighet mellom 0.1 og 0.2 m/s er rettet innover mot elvemunningene.

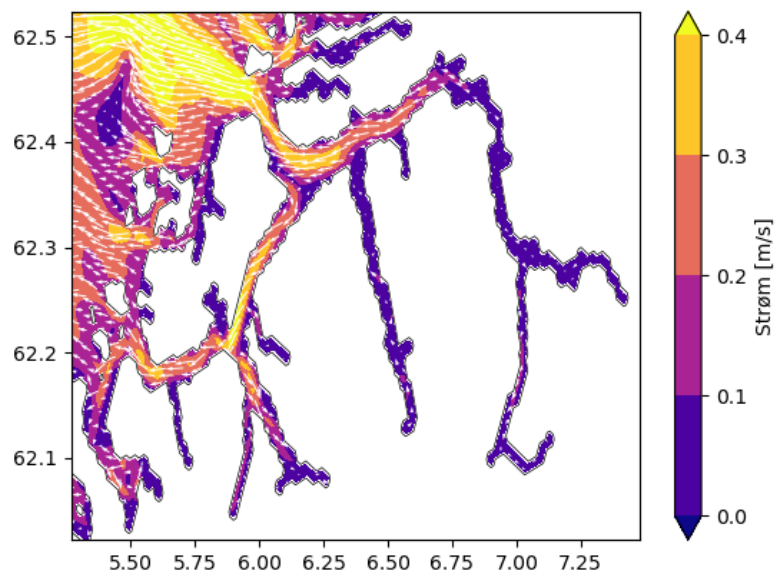


Figur 3.3: Strømninger mellom 26. mai – 1. juni 2018 i Romsdalsfjorden

I Storfjorden og Voldsfjorden går en sterk strøm inn i fjorden gjennom åpningen til kysten ved Voldsfjorden. Denne er kontinuerlig sterk gjennom hele perioden, og beveger seg nord til Storfjorden, og ut gjennom øvre åpning til havet. Mellom 5. mai og 11. mai begynner styrken innerst i fjorden og ut mot kysten å øke, dette er når fjorden får tilførsel av ferskvann (se figur 3.4). Disse varer frem til 25. mai, hvor hastigheten reduseres i Storfjorden og Voldsfjordens indre deler. Voldsfjorden får en sterk strøm rettet inn mot elvemunningen mellom 26. mai og 1.juni (se figur 3.5).



Figur 3.4: Strømninger mellom 5. mai - 11 mai 2018 i Storfjorden og Voldsfjorden



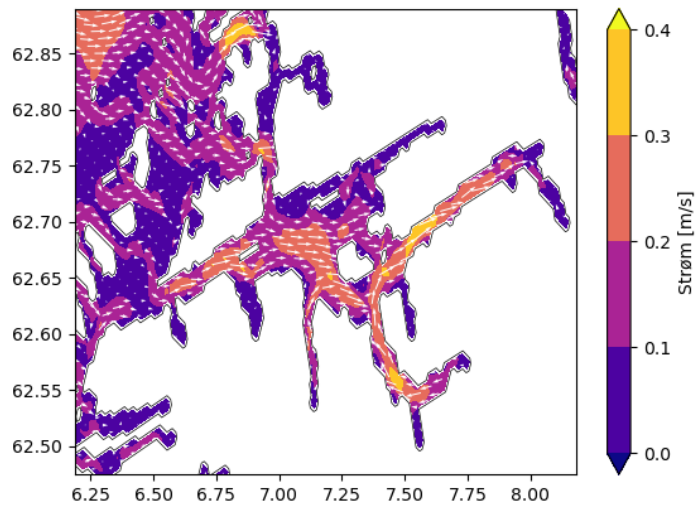
Figur 3.5: Strømninger mellom 26. mai – 1. juni 2018 i Storfjorden og Voldsfjorden

3.1.2 Utvandningsperioden 2019

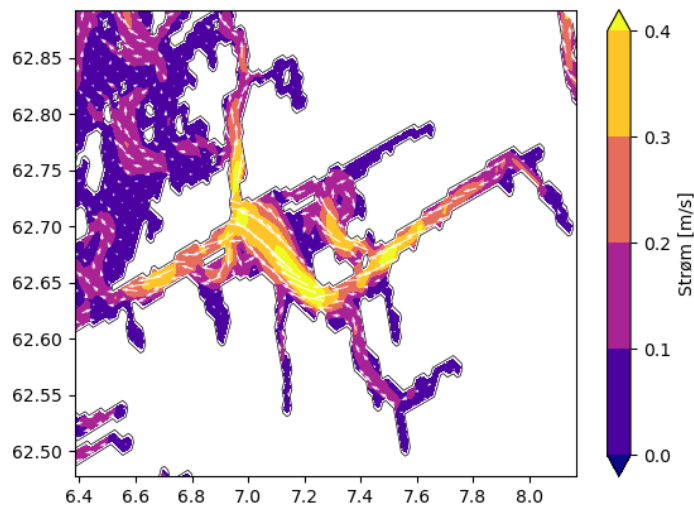
I 2019 starter temperaturen i fjordene mellom 8 og 10 grader. I Romsdalsfjorden inn mot Eira ligger temperaturen rundt 11 grader. Denne senkes etter påvirkning av kaldt vann fra ytre deler av fjorden på 8 grader. I begge fjordene synker temperaturen 1. mai ned mot 8 grader, og frem til 14. mai er temperaturen lav. Etter dette øker temperaturen raskt og jevnt til 24. mai hvor temperaturene ligger mellom 12 og 14 grader på de varmeste områdene. Temperaturen senkes deretter igjen til 10 grader, med unntak av fjorden inn mot Eira som forblir varm. Etter 4. juni øker temperaturen igjen, med høyeste temperaturer på 15 grader i smale deler av fjorden. Hovedsakelig ligger temperaturen mellom 12 og 14 grader i resten av området, med lavere temperaturer i elvemunningene. Ved 5 meters dybde øker og senker temperaturene seg i takt med den øverste middagen. Laveste temperatur ligger mellom 6 og 7 grader og høyeste ligger mellom 10 og 11 grader. Ved 10 meters dybde holder temperaturen seg mellom 7 og 8 grader frem til 28. mai. Samtidig som temperaturen i Romsdalsfjorden og indre del av Storfjorden øker til 9 - 10 grader. Frem til slutten av utvandningsperioden øker temperaturen i hele området.

I 2019 har de innerste delene av fjorden en lavere saltholdighet vekselvis gjennom utvandningsperioden. Perioden med tydeligst lav verdi er mellom 23. mai og 2. juni. Disse variasjonene i de indre delene vises også lengre ut i fjorden, men saltholdigheten varierer mellom samme intervall. I midten av Romsdalsfjorden, som skilte seg ut i figur 3.2.b, holdes saltholdigheten høy med lavest registrert verdi på 24 ‰. Ved 5 meters dybde er verdier mellom 20 og 25 ‰ registrert i fjordenes indre deler mellom 31. mai og 3. juni.

I starten av utvandningsperioden har Romsdalsfjorden en svak strøm retning ut mot kysten. Mellom 5. mai og 11. mai kommer sterkere strømmen, opp mot 0.3 og 0.4 m/s, innover i fjorden mot Eira. Samtidig som dette forekommer vil avgreininger fra Rauma lede en sterk strøm mot en lavere fjordindeks. Denne møter de midtre områdenes sterke strømmen inn fra kysten, se figur 3.6. Styrken reduseres kraftig etter denne perioden og vedvarer frem til 26. mai. Etter denne dagen øker styrken på strømmene inne i fjorden og leder ut mot havet. Dette er delen av utvandningsperioden hvor området får tilskudd av ferskvann fra elvene. De indre delene av fjorden med elvemunningene får en sterk gjennomgående strøm med en styrke på over 0.4 m/s ut til kysten mellom 2. juni og 8. juni, se figur 3.7. De siste tre dagene av utvandningsperioden vendes strømmen inn mot elvene igjen.

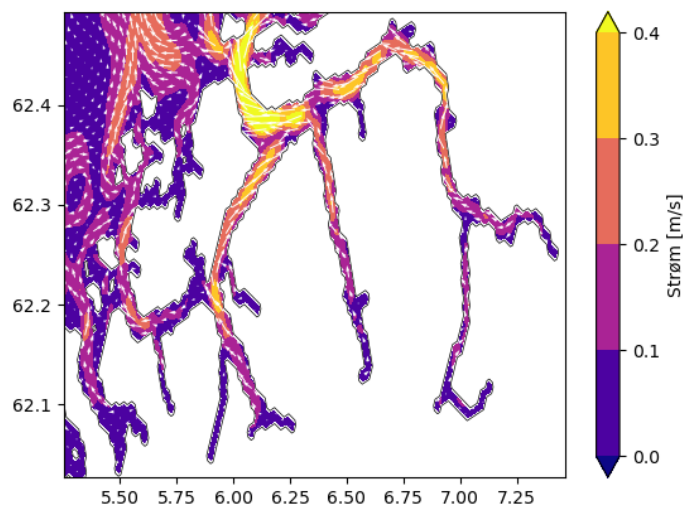


Figur 3.6: Strømninger mellom 5. mai – 11. mai 2019 i Romsdalsfjorden



Figur 3.7: Strømninger mellom 2. juni – 8. juni 2019 i Romsdalsfjorden

I Storfjorden og Voldsfjorden kommer vannstrømmen inn i fjorden gjennom åpningen til kysten ved Voldsfjorden. Denne er moderat i styrke gjennom hele perioden med innslag av sterkere strømmen til ulike tidspunkt. Disse beveger seg nord til Storfjorden og ut gjennom øvre åpning til havet. Mellom 2. juni og 8. juni øker styrken innerst i fjorden, retning mot kysten. Dette er når fjorden får tilførsel av ferskvann (se figur 3.8). Disse varer ut perioden, med en svakere gjennomgående strøm fra sør til nord.



Figur 3.8: Strømninger mellom 2. juni – 8. juni 2019 i Storfjorden og Voldsfjorden

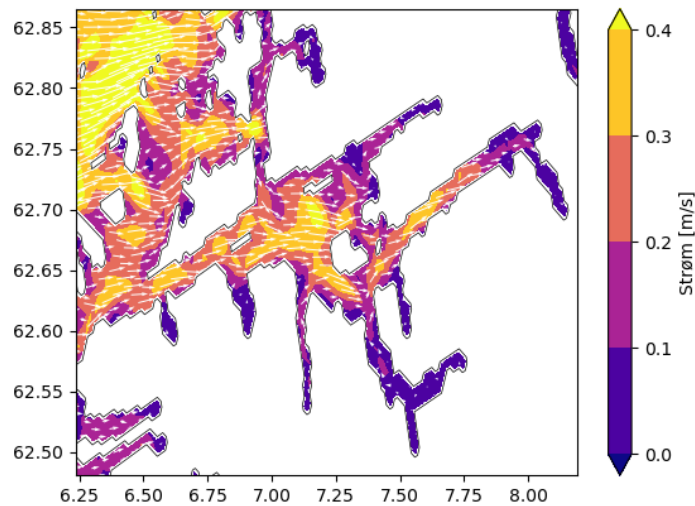
3.1.3 Utvandringsperioden 2020

I 2020 lå temperaturen på starttidspunktet i mesteparten av produksjonsområdet på 7 grader. Frem til 23. mai lå den mellom 7 og 8 grader. Etter dette økte temperaturen til 10 grader, med litt høyere verdier registrert ved elvemunningene med høyest fjordindeks. Temperaturen øker gradvis 2. juni til hele området ligger rundt 13 grader. Siste dag av utvandringsperioden øker temperaturen i midtre deler av både Romsdalsfjorden og Storfjorden til 16 grader. Ved 5 meters dybde er temperaturen tilsvarende det øvre laget, men i nordlige del av Storfjorden øker verdien fra 7 grader ved fjordmunningen til 9 grader ved Korsbrekk og Tafjordvassdraget. Gjennom hele utvandringsperioden holder temperaturene seg mellom disse gradene, men en liten økning på slutten til 11 grader i områder med høy fjordindeks. Ved 10 graders dybde er temperaturen litt høyere igjen, men endrer seg gradvis til varmere i samme tidsperspektiv som ved 5 meter.

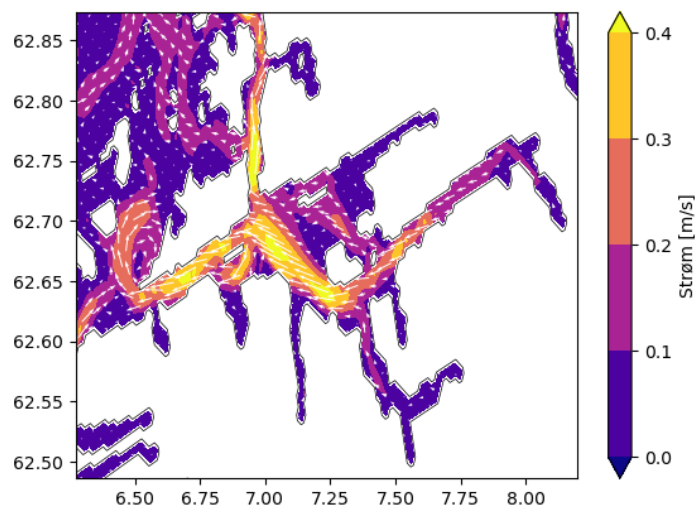
I 2020 får fjordene tilførsel av ferskvann og dermed får området de laveste saltholdighetene 25. mai med verdier nede i 10 ‰. Dette senker saltholdigheten gradvis utover i fjorden, noe som varer ut utvandringsperioden. Ved 5 meters dybde senkes saltholdigheten 16.mai til 20 ‰ i Romsdalsfjordens og nordlige delen av Storfjorden. Etter dette får hele området en jevn saltholdighet rundt 30 ‰, med innskudd av lavere verdier. Ved 10 meters dybde er saltholdigheten høy, med periodevise reduksjoner i saltholdighet til 30 ‰.

Strømmene i denne perioden har likheter med året før. Likt som 2019, har området sterke strømmer opp mot 0.3 og 0.4 m/s innover i fjorden mot Eira mellom 5. mai og 11. mai, se figur 3.9. Styrken

reduseres kraftig etter denne perioden, som øker fra elvemunningene ut mot havet 19. mai når ferskvann renner ut i fjorden, se figur 3.10. Frem til de siste tre dagene av utvandingsperioden forblir strømmene i hele fjorden lav. Etter 9. juni øker strømmen fra både Eira og Rauma ut mot havet.



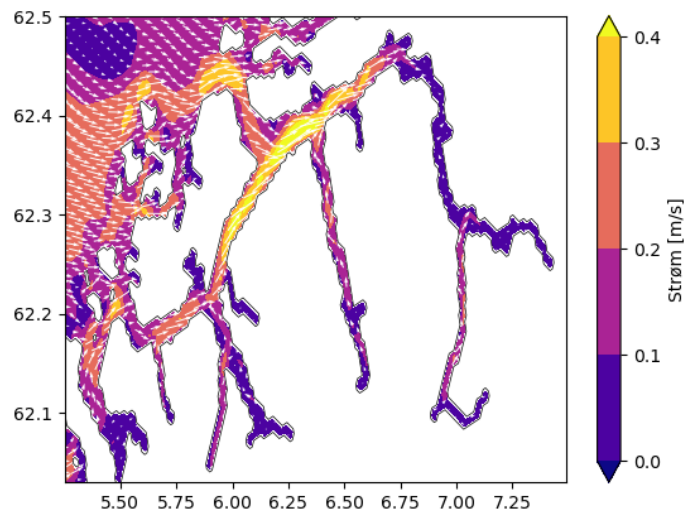
Figur 3.9: Strømninger mellom 5. mai – 11. mai 2020 i Romsdalsfjorden



Figur 3.10: Strømninger mellom 19. mai – 25. mai 2020 i Romsdalsfjorden

Allerede fra utvandringens start 28. april har Storfjorden og Voldsfjorden en sterk gjennomgående strøm fra fjordenes sørlige fjordåpning til den nordlige åpningen til kysten. I tillegg er strømmen med en hastighet over 0.2 m/s registrert fra elvemunningene og mot ytre deler av fjorden. En sterkere

gjennomgående strøm forekom mellom 5.mai og 11. mai, se figur 3.11. Mellom 12. mai og 18. mai har begge fjordene lave strømmmer, med innslag av moderate verdier mellom 0.1 og 0.2 m/s. Resten av perioden har området en moderat styrke gjennom hele perioden med innslag av sterkere strømmmer til ulike tidspunkt.



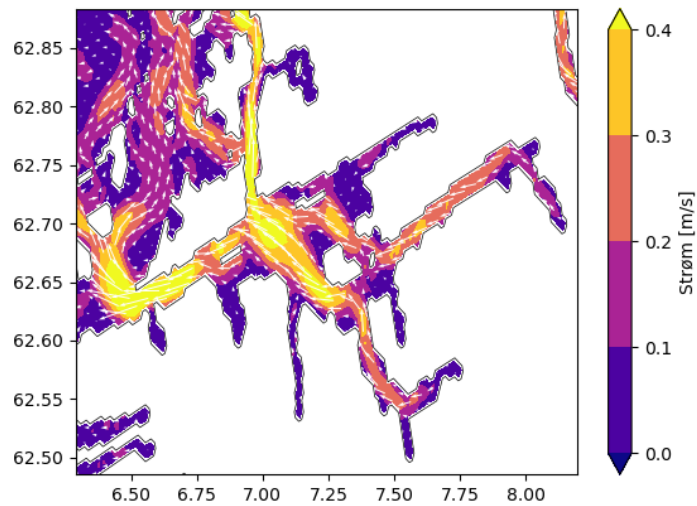
Figur 3.11: Strømninger mellom 5. mai – 11. mai 2020 i Storfjorden og Voldsfjorden

3.1.4 Utvandningsperioden 2021

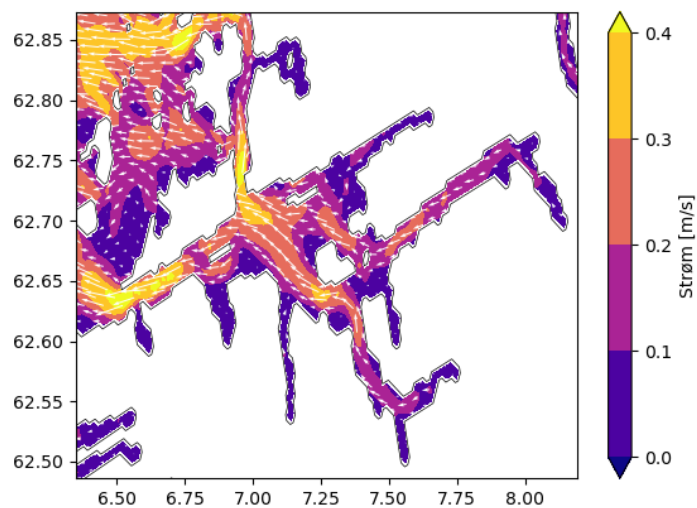
I 2021 er overflatevannet ved både 1 og 5 meters dybde kaldere ved starttidspunktet mellom 4 og 6 grader, men kaldere ved elvemunningene på grunn av tilførsel av kaldt ferskvann fra elvene. I månedsskiftet til mai øker temperaturen i Romsdalsfjorden til 8 - 9 grader, en tilsvarende økning er synlig 9. mai i Storfjorden. I indre deler av Romsdalsfjorden øker registrert verdier 10. mai til 10 og 11 grader. Disse gradene spres videre ut i hele fjorden innen 14. mai. Økningen i Storfjorden skjedde 11. mai og var mye raskere. Ny økning i Romsdalsfjorden 15. mai øker temperatur over 12 grader. En liknende økning skjer i Storfjordens indre del inn mot Tafjordvassdraget og ut mot kysten. Økningen holder seg på utvandningsrute fra Tafjordvassdraget, og øker ikke i hele området før 23. mai. Den 25. mai ligger hele områdene mellom 12 og 14 grader. Økning i de indre delene av begge fjordene 30. mai til over 14 grader, som spres i områdene og holder temperaturen høy med innspill av temperaturer over 16 grader ut perioden.

I 2021 starter laveste saltholdigheter i de indre delene av fjordene 15. mai, og ligger rundt 5 ‰. Etter dette synker saltholdigheten utover i fjorden også. Selv med lavere verdier generelt, øker den gradvis med levere fjordindeks. Dette varer ut utvandningsperioden.

Perioden starter med sterke strømninger i midtre del av Romsdalsfjorden, rettet ut mot kysten. Disse øker og varer frem til 11. mai, se figur 3.12. Etter dette reduseres strømmene igjen frem til 19. mai, hvor sterkere strømmer ut fra Rauma oppstår. Disse økes kommende uke og frem til 1. juni ledes fjordvannet ut mot havet med strømhastigheter opp i 0.3 m/s, se figur 3.13. Resten av utvandingsperioden har fjorden lave strømmer, med innslag av moderate verdier.



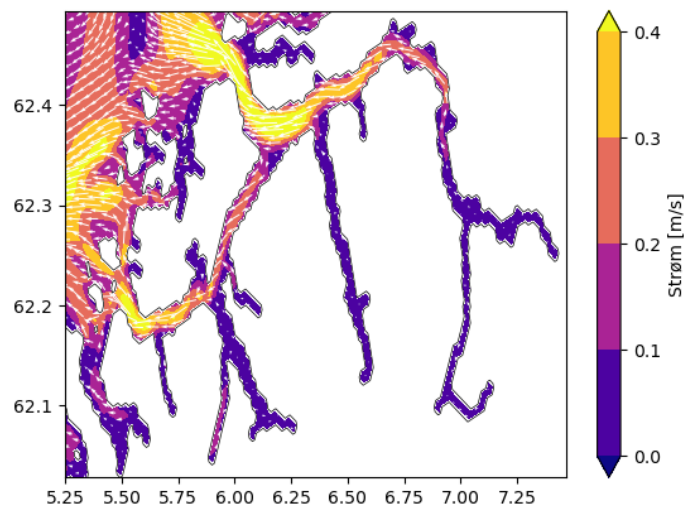
Figur 3.12: Strømninger mellom 5. mai – 11. mai 2021 i Romsdalsfjorden



Figur 3.13: Strømninger mellom 26. mai – 1. juni 2021 i Romsdalsfjorden

Fra utvandringens start 28. april leder to sterke strømmer ut mot kysten gjennom begge fjordåpningene. Disse strømmene startet i Storfjordens midtre del, se figur 3.14. Kommende uke,

frem til 11. mai, starter disse strømmene i Storfjorden nært elvemunningene. I samme periode holder strømmene med høyere hastighet i Voldsfjorden seg i de midtre og ytre delene av området. Mellom 12. mai til 18. mai vender strømmene inn i Voldsfjorden og i indre del av Storfjorden mot Vikelva, før området går inn i en periode med lav hastighet på strømmene. I Voldsfjorden varer dette ut utvandringsperioden, med litt innslag av økt strøm ut av fjorden. I Storfjorden oppstår sterke strømmer fra Tafjordvassdraget og ut mot kysten. Disse varer fra 26. mai til 8. juni. De siste dagene av utvandringsperioden er strømmene lave, med innslag av moderate verdier under 0.2 m/s.

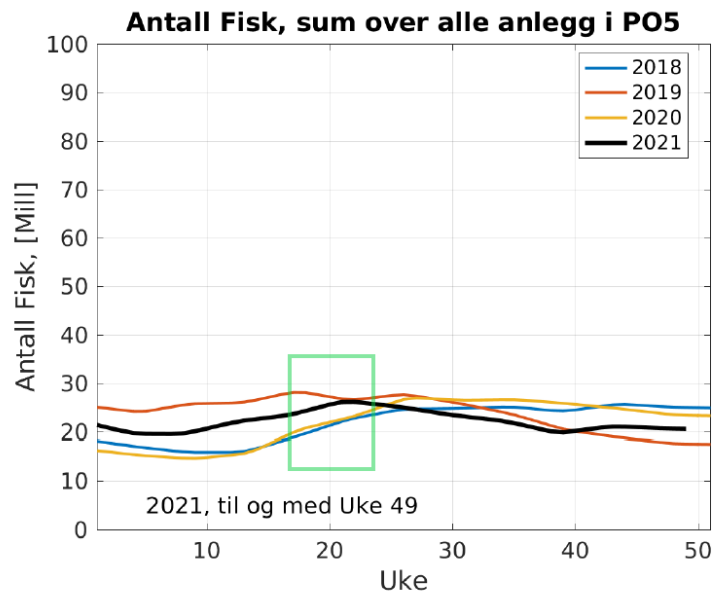


Figur 3.14: Strømninger mellom 28. april – 4. mai 2021 i Storfjorden og Voldsfjorden

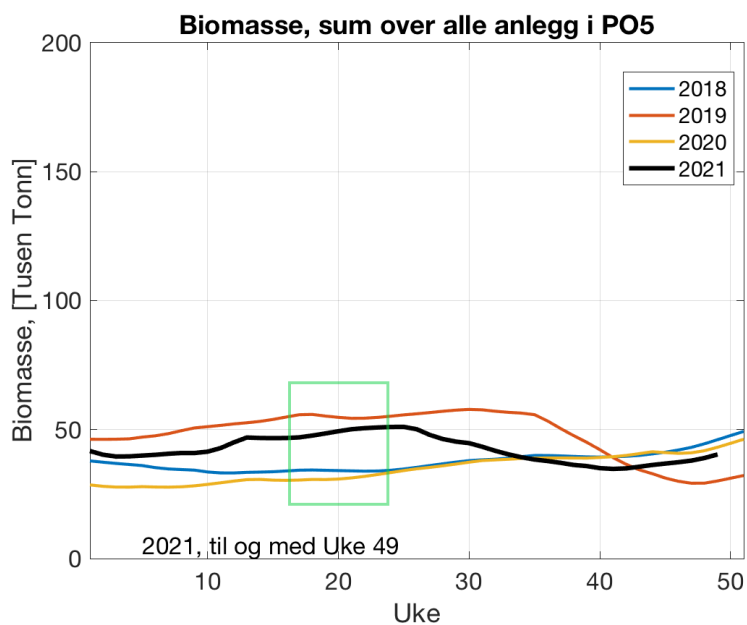
3.2 Antall lus og fisk i hvert år

Antall fisk og biomassen i oppdrettsanleggene varierer i hvert år. Mengdene av de må tas hensyn til når hele områdets smittesituasjon skal bli vurdert. Partallsårene har lavere antall fisk og biomasse, sammenliknet med oddetallsårene som har en tydelig større forskjell. Året med både minst fisk og biomasse er 2020, dette er også en av årene som hadde laveste lusetall i utvandringsperioden. I 2018 har området også lave mengder fisk, men har høyere lusetall enn 2020. I 2019 var produksjonen på det høyeste. Antall fisk og summert biomasse var rekordhøye, i tillegg til hadde dette året større mengder lus enn tidligere år. Mengde fisk og biomasse i 2021 var lavere enn forrige oddetallsår, men fremdeles høyere enn både 2018 og 2020. Totalt antall voksne hunnlus dette året er mye lavere og har liknende verdier til partallsårene.

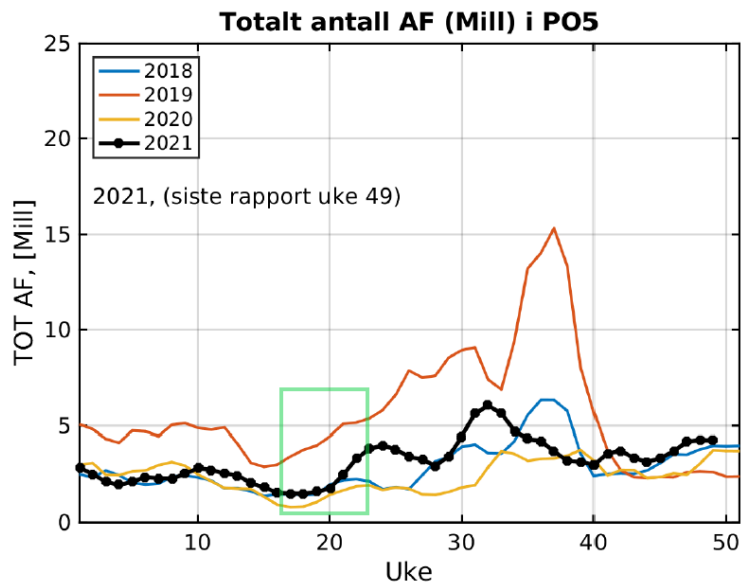
Antall hunnlus i de ulike årene og hvordan denne varierte er illustrert i figur 3.17. Det er viktig å poengtere og ta hensyn til ulike mengder fisk og biomasse i hvert år (henholdsvis figur 3.15 og 3.16). I hver figur er utvandringsperioden markert med en grønn firkant.



Figur 3.15: Antall fisk (laks+regnbueørret) summert over alle anleggene i PO5 per år. Laget av Anne Dagrun Sandvik



Figur 3.16: Biomasse i tusen tonn (laks+regnbueørret) summert over alle anleggene i PO5 per år. Laget av Anne Dagrun Sandvik

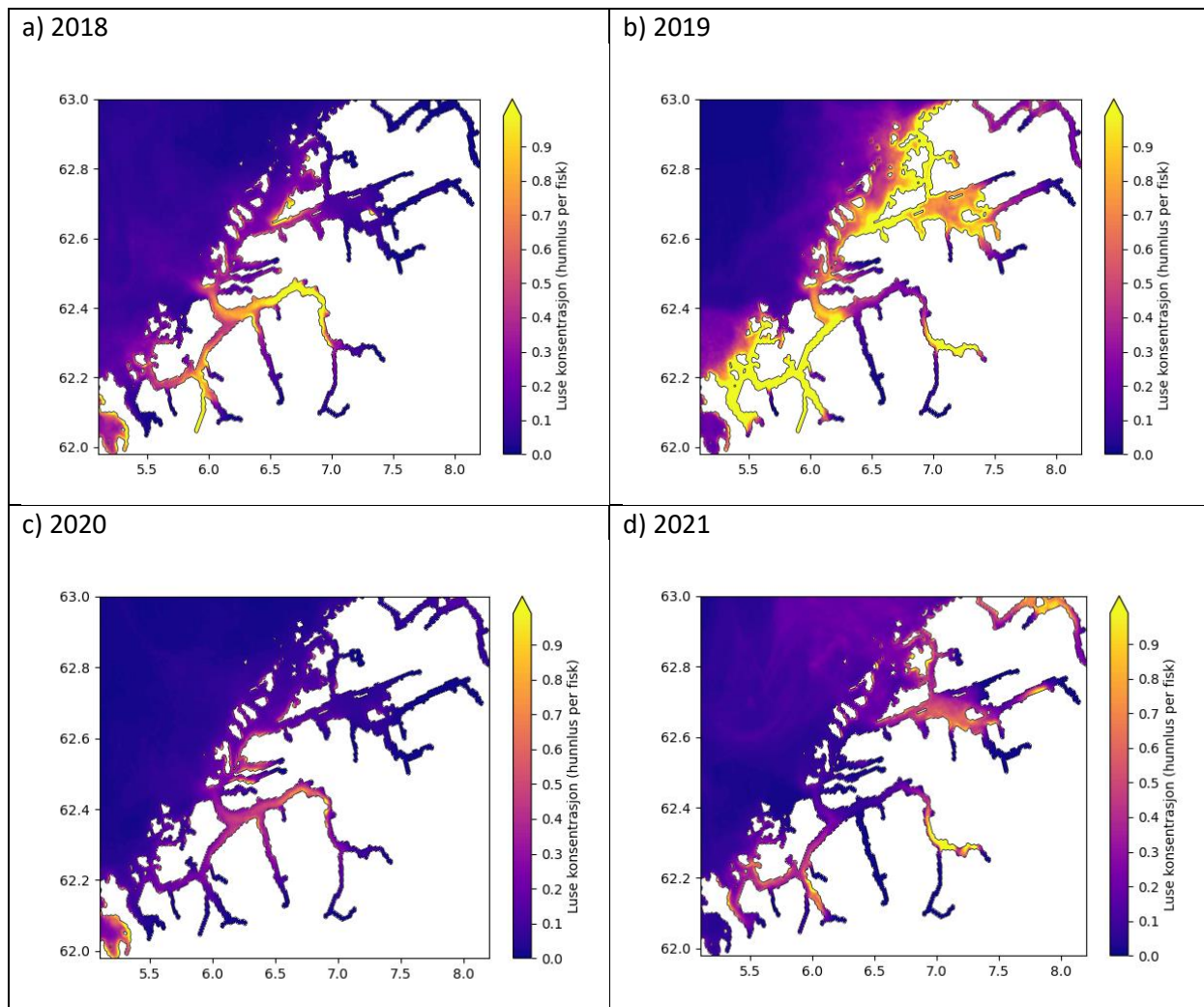


Figur 3.17: Totalt antall voksne hunnlus (antall fisk * antall hunnlus per fisk) i PO5 per år. Laget av Anne Dagrund Sandvik

3.3 Smittepress i utvandringsperioden

3.3.1 Gjennomsnittlig smittepress per år

Smittepresset i området for hvert år speiler dødeligheten fra VPS-modellen, hvor 2019 har et høyt antall hunnlus per fisk. I 2019 er det høye smittepresset relativt jevnt spredt ut i produksjonsområdet, med unntak av de indre delene av Romsdalsfjorden, Storfjorden og Voldsfjorden. Områdene hvor mindre fjorder møtes har et høyt smittepress, spesielt i Voldsfjorden. Verken 2019 eller 2020 har bemerkelsesverdig smitte i Romsdalsfjorden, disse har også lave utslag i VPS-modellen. Samtidig har begge økt smitte i Storfjorden, hvor smolten fra alle elvene som gav rødt utslag i modellen svømmer gjennom. I 2021 er den økte smitten spredt utover hele området, men mengden hunnlus per fisk er moderat. Smittepresset er illustrert i figur 3.18.



Figur 3.18 a-d: Gjennomsnittlig smittpress i utvandringsperioden per år

3.3.2 Ukentlige endringer per år

Appendiks A2 inneholder figurer som illustrerer smittesituasjonen og endringer i perioden som beskrevet under. De siste tre dagene av utvandringsperioden, 9. juni til 11. juni, var smitten tilnærmet lik uken før. Figur på dette er derfor ikke inkludert. Dette gjelder for alle år.

2018

I Romsdalsfjorden, med en fjordindeks over 100, holder smitten seg på et lavt nivå. Ytre deler av denne fjorden frem til fjordmunningen har forhøyet lusenivå mellom 19. mai og 25. mai. Denne økning er også til stede mellom 12. mai til 18. mai, og mellom 26. mai til 1. juni.

I Storfjorden øker smitten gradvis i hele fjorden og har smittehøyde mellom 2. juni og 8. juni. I Voldsfjorden er smittetrykket høyt gjennom hele utvandringsperioden. Etter 12. mai begynner

smitten i midtre del av Storfjorden å øke. Dette økes konstant de påfølgende ukene av utvandningsperioden, med toppunkt mellom 2. juni og 8. juni. Smitten i denne delen av fjordsystemet er lav i de innerste delene ved elvemunningene hele perioden.

2019

I Romsdalsfjorden øker smitten i midtre del allerede 5. mai. Denne øker og holder seg høy resten av utvandningsperioden med smittehøyde etter 2. juni.

I Voldsfjorden er smitten av lakselus høy ved start 28. april og øker videre gjennom hele utvandningsperioden. I Storfjorden er høye smittefelt konsentrert i ytre delen av fjorden, ved utgangen til kysten og i indre deler, fra fjordindeks 100, mot elvemunningen til Tafjordvassdraget.

2020

I Romsdalsfjorden er lusekonsentrasjonen lav gjennom hele utvandningsperioden, med en liten økning i de ytre delene langs kysten fra 19. mai.

Eneste del av Storfjorden med betraktelig smitteendring er øvre del fra fjordindeks 80 og innover i fjorden til krysningspunktet til Korsbrekk og Tafjordvassdraget. Dette området har økt smittepress mellom 5. mai til 11. mai, og mellom 2. juni til siste dag av utvandningsperioden.

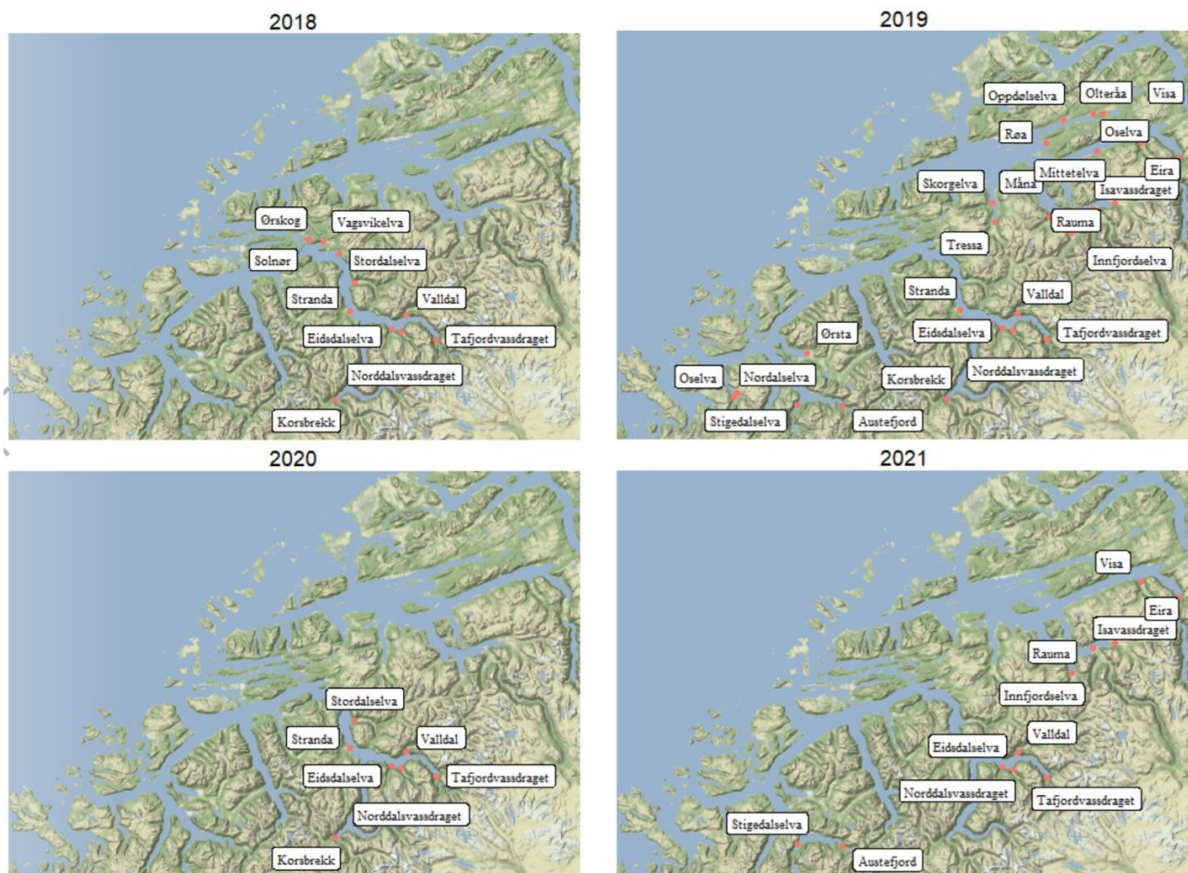
2021

I Romsdalsfjorden begynner lusekonsentrasjonen å øke 12. mai, og øker hver uke frem til slutten av utvandningsperioden hvor konsentrasjonene er høyest. Smittefeltet ligger i ytre og midte del av fjorden.

I Storfjorden i indre del mot Tafjordvassdraget er det økt smitte fra 5. mai. Denne øker litt videre i utvandningsperioden, men begrenser seg til samme del av utvandningsruten. I Voldsfjorden øker smitten 26. mai. Dette feltet øker påfølgende og siste del av perioden.

3.4 Anleggene med størst effekt på dødeligheten per år

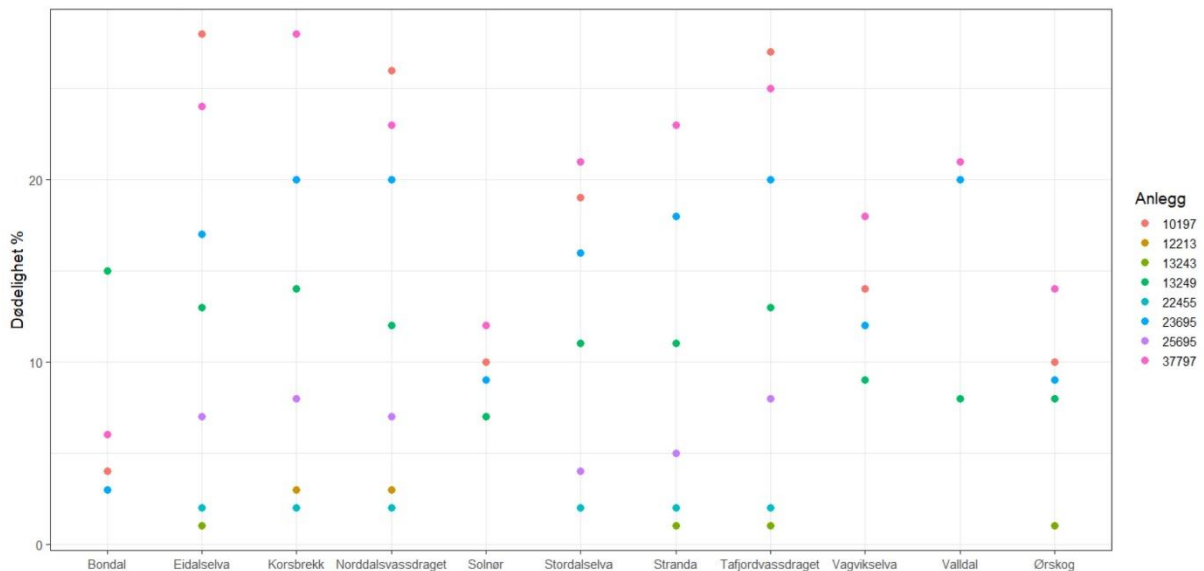
Etter referanseverdier er satt for hvert år, er det mulig å markere bestemte elver med rødt når dødeligheten er over 30%. I 2018 og 2020 er alle elvene, som ifølge VPS-modellen hadde over 30% dødelighet på villfisken, samlet i samme del av fjordsystemet i Storfjorden som leder inn mot Geiranger. I 2019 er elvene relativt jevnt spredt utover hele produksjonsområde 5, og i 2021 er elvene også spredt utover området, men i mindre skala. Det er et tydelig skille mellom partallsår og oddetallsår, avhengig av hvor i området det var en økt produksjon. Elvene som hadde en dødelighet høyere enn 30%, er illustrert i figur 3.19.



Figur 3.19: Oversikt over alle elvene som hadde >30% dødelighet per år

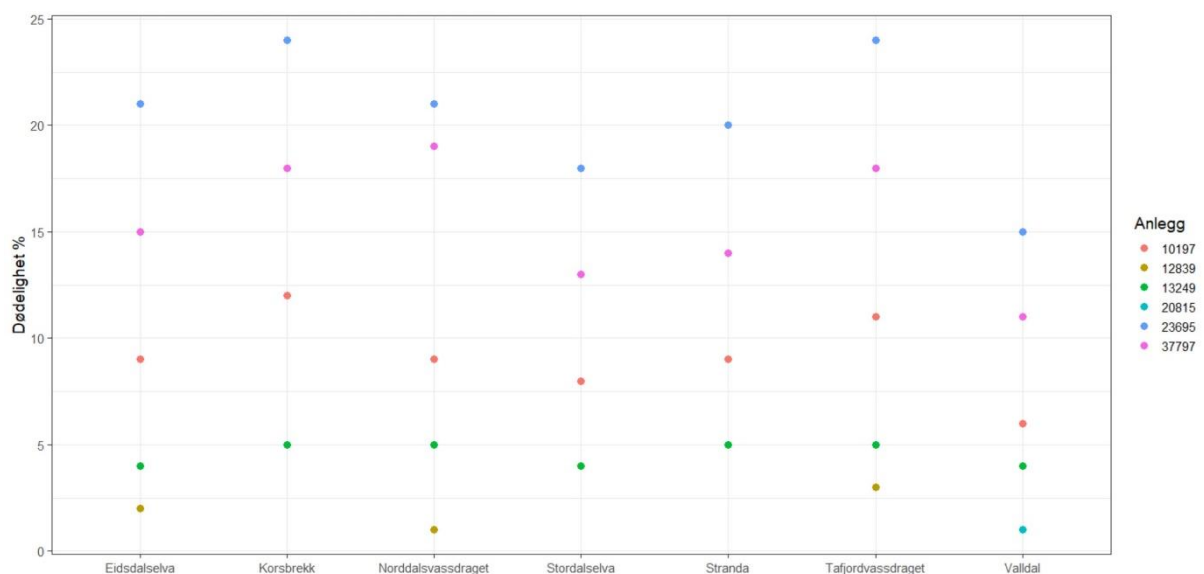
Figur 3.20 - 3.23 viser dødelighetsprosenten hvert anlegg utgjorde i de ulike elvene. Anleggene er fargekodet, for å enkelt finne hvilke som utgjorde betydelige prosenter. På x-aksen er elvene som hadde en høyere dødelighet enn 30%. Disse er i stigende rekkefølge, fra venstre til høyre, basert på elvens teoretiske smoltproduksjon. Den teoretiske smoltproduksjonen er oppsummert i Appendiks 1. Basert på dødelighetene i 2018, som er plottet i figur 3.20, blir første anlegg som skal fjernes fra VPS-modellen 37797, deretter 10197 og til slutt 23695. For å sikre at dette er riktige verdier og skape

samme grunnlag i hvert år, regnes den totale dødeligheten ut, i alle elvene anlegget har en effekt. Ettersom det undersøkes hvor mye som skal til før året får en gjennomsnittlig dødelighet på under 10%, vil 13249 fjernes ved behov. Disse vurderingene er tatt ut ifra figur 3.20, samt dataene denne er utformet fra.



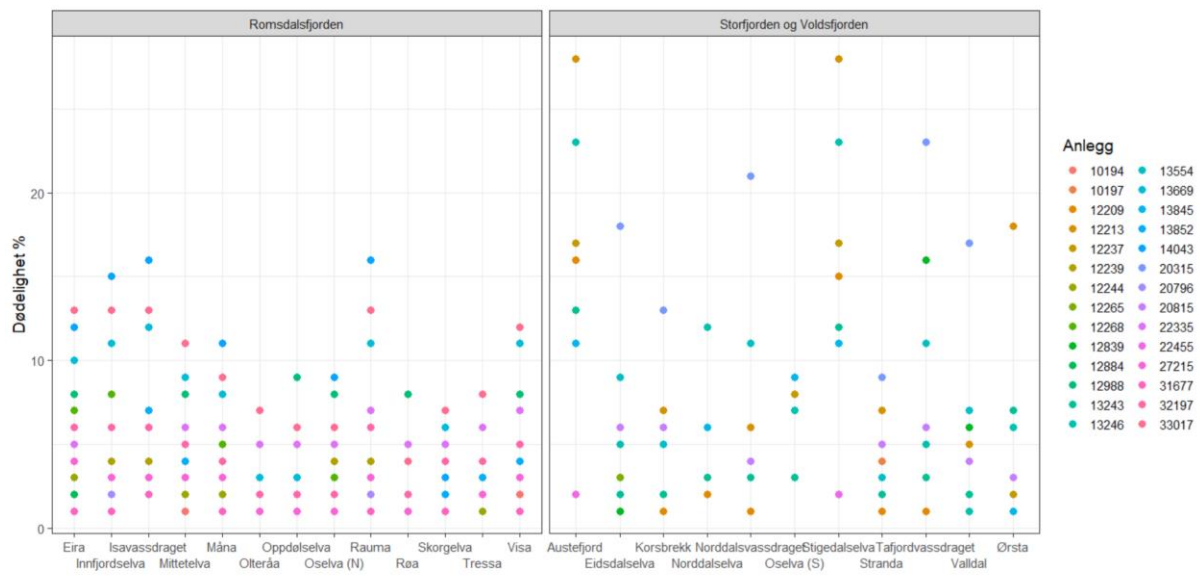
Figur 3.20: Dødeligheten (%) til anleggene i elver med dødelighet > 30% i 2018

I 2020 skiller anlegg 23695 seg ut i alle elvene og er forventet å være den første som blir ekskludert fra modellen dette året. Deretter forventes 37797 å skille seg ut. Ved behov vil 10197 og 13249 også fjernes. Selv om figur 3.21 tydelig viser dette, regnes dødelighetsprosentene ut for hvert anlegg. Dette året er mindre belastet av smittepresset, noe som reflekteres i antall elver og anlegg med høy påvirkning.



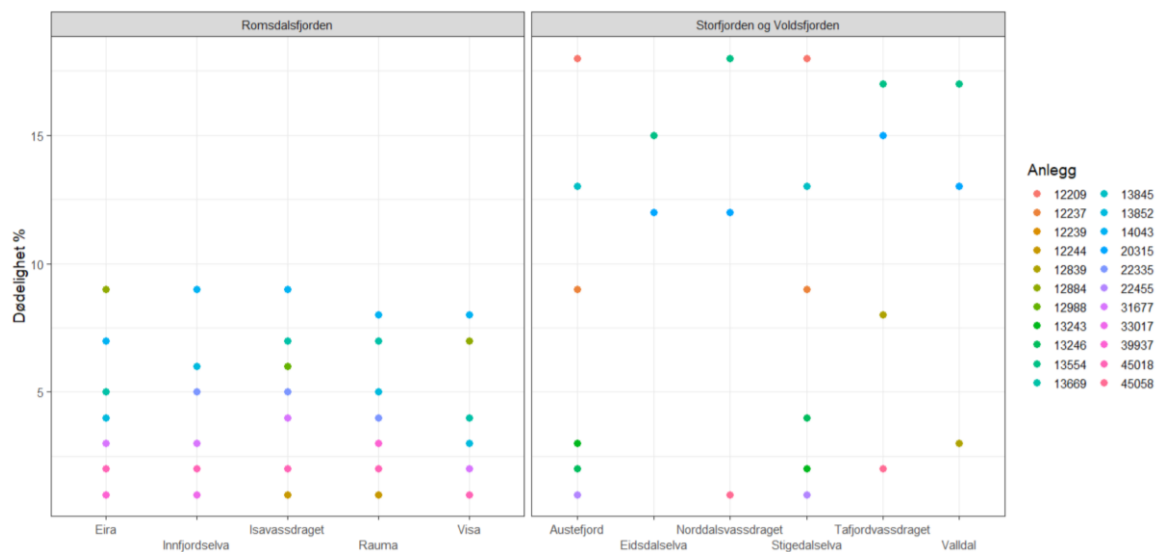
Figur 3.21: Dødeligheten (%) til anleggene i elver med dødelighet > 30% i 2020

I 2019 hadde området et høyt smittepress, noe som speiles i dataene. Mange elver og anlegg blir tatt i betraktning dette året, både i Romsdalsfjorden, Storfjorden og Voldsfjorden. Ettersom dette er et oddetallsår, som vil si en økt produksjon i nordlige del av produksjonsområdet, vil ett anlegg fra hvert fjordsystem bli fjernet fra VPS-modellen. Figur 3.22 er derfor delt inn i disse områdene. I Romsdalsfjorden er det første anlegget som fjernes 14043 og i Storfjorden er dette 12213. På grunn av mange anlegg i begge fjordene dette året, blir resten regnet ut. Dette kommer i tabell 3.1 under.



Figur 3.22: Dødeligheten (%) til anleggene i elver med dødelighet > 30% i 2019

I 2021 fjernes også ett anlegg fra hver fjor. Basert på figur 3.23 vil dette blant annet inkludere 14043 i Romsdalsfjorden, og 13554 og 20315 i Storfjorden og Voldsfjorden. Sammenliknet med 2019 er det forventet at antall anlegg som skal fjernes fra VPS-modellen er betraktelig mindre, på grunn av lavere lusekonsentrasjoner i ulike deler av området og gjennom utvandningsperioden.



Figur 3.23: Dødeligheten (%) til anleggene i elver med dødelighet > 30% i 2021

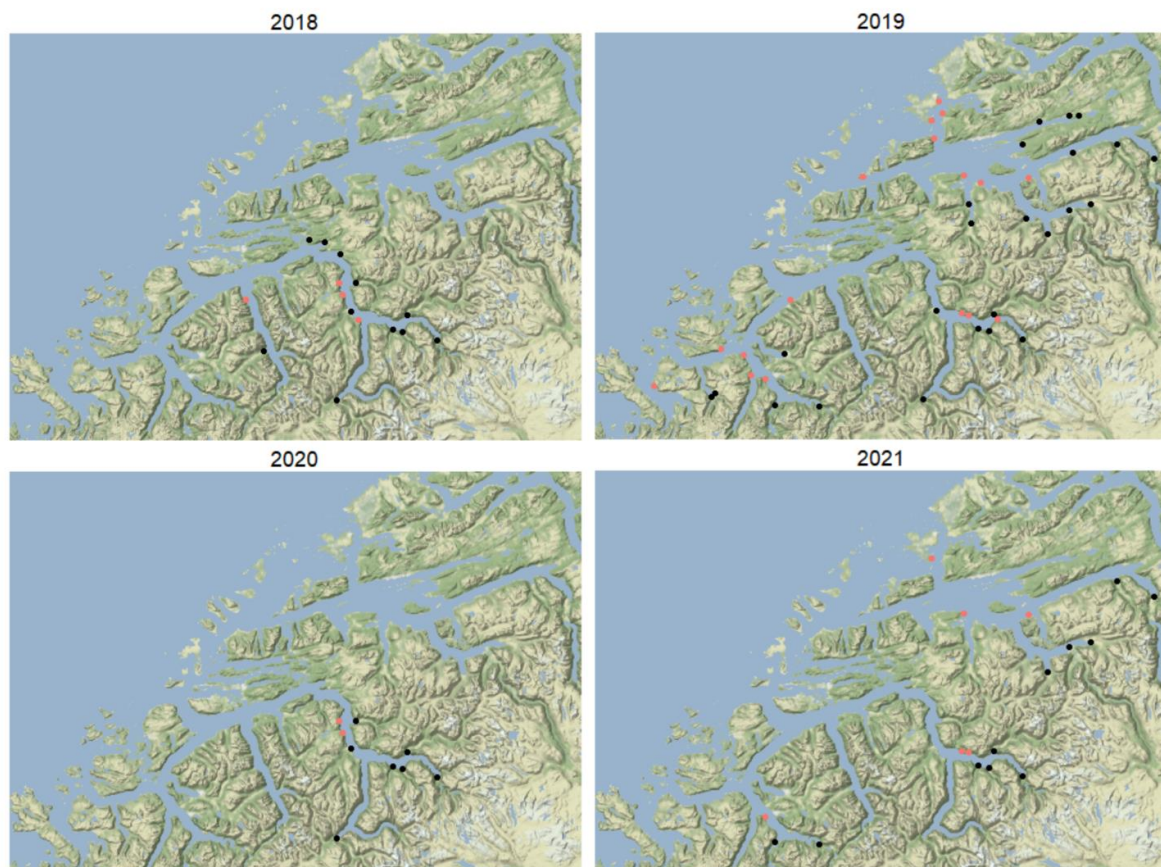
Tabell 3.1: Oversikt over anleggene med høyest dødelighet i alle elvene den påvirker, for hvert år

År	Område	Anlegg	Antall elver	Dødelighet i alle elvene
2018	Storfjorden og Voldsfjorden	37797	11	18.5%
		23695	11	14.7%
		10197	11	17.5%
		13249	11	11.0%
2019	Romsdalsfjorden	14043	13	12.6%
		33017	13	11.0%
		13669	13	9.4%
		12988	13	7.2%
		22335	13	6.1%
		12268	13	5.9%
		13852	12	5.1%
		32197	13	5.0%
		12239	13	3.9%
	Storfjorden og Voldsfjorden	12213	10	13.2%
		13243	11	5.2%
		13246	11	6.3%
		20315	6	15.4%
		13554	6	6.5%
		12237	5	5.5%
		12839	4	5.3%
		12209	10	4.7%
		20815	7	3.9%
2020	Storfjorden og Voldsfjorden	23695	7	18.1%
		37797	7	13.3%
2021	Romsdalsfjorden	14043	5	8.0%
		13669	5	6.5%
		12988	5	6.1%
	Storfjorden og Voldsfjorden	13554	4	16.8%
		20315	4	12.8%
		12209	2	9.9%

Gjennom beregningene fra kapittel 2.2.2 ble følgende anlegg bestemt til å ha størst effekt i området (se tabell 3.1). Kolonnen kalt «dødelighet i alle elvene» er beregnet antall drept fisk for hvert anlegg av den summerte teoretiske smoltproduksjonen i alle elvene anlegget gav utslag. Denne tabellen stemmer i stor grad overens med antagelsene basert på figur 3.20 - 3.23, hvor eneste unntak er anlegg nr. 20315 i 2019. Dette anlegget hadde høy effekt i et lite antall elver, og har dermed ikke blitt redusert av lave prosenter. Anlegg 12213 har også en høy dødelighet, men påvirker i flere elver.

Noen anlegg blir fjernet fra VPS-modellen i flere år. I Romsdalsfjorden gjelder dette 14043, 13669 og 12988, hvor 14043 ble fjernet først i både 2019 og 2021. I Storfjorden og Voldsfjorden blir 23695 og 37797 fjernet først i 2018 og 2020. I oddetallsårene 2019 og 2021 går 13554, 20315 og 12209 igjen. Blant disse har kun 20315 en større effekt i begge årene. De to andre anleggene gav større utslag i 2021.

Basert på resultatene i tabellen, ble anleggene fjernet fra modellen fra høyest til lavest dødelighet. Plasseringen til disse anleggene er markert i kartene i figur 3.24.



Figur 3.24: Elvene med dødelighet > 30% (markert med svarte prikker) og anleggene fjernet fra VPS-modellen (markert med røde prikker) med størst beregnet dødelighet på villfisken

3.5 Dødeligheten når anlegg fjernes fra modellen

Tabell 3.2 - 3.5 oppgir dødeligheter forårsaket av lakselus for elvene som hadde over 30% dødelighet. Dette inkluderer både referanseverdien og etter ulike anlegg ble fjernet fra modellen. Hvilke anlegg og rekkefølgen disse ble fjernet i er oppgitt i tabell 3.1.

3.5.1 Resultater fra 2018

Tabell 3.2 viser at i alle elvene ble dødeligheten gradvis mindre for hvert anlegg som ble fjernet. Seks av elvene endte med en verdi under 10 % og fem havnet rett over 10 %. Disse fem hadde høyest referanseverdier.

Tabell 3.2: Dødelighetsprosentene kalkulert av VPS-modellen i 2018

Elv	Referanse	Antall anlegg fjernet:			
		1 anlegg	2 anlegg	3 anlegg	4 anlegg
Bondal	31%	26%	25%	18%	4%
Stranda	50%	41%	33%	18%	10%
Korsbrekk	52%	46%	36%	23%	12%
Eidsdalselva	51%	46%	37%	21%	11%
Norrdalsvassdraget	48%	43%	36%	20%	12%
Tafjordvassdraget	51%	45%	37%	20%	13%
Stordalselva	45%	39%	32%	19%	8%
Vagsvikselva	35%	29%	24%	13%	3%
Valldal	44%	39%	32%	15%	5%
Ørskog	34%	27%	25%	14%	4%
Solnør	33%	27%	22%	15%	4%

3.5.2 Resultater fra 2019

Tabell 3.3 viser at hele området har en gradvis reduksjon i dødeligheten fra referanse til 9 anlegg fjernet. I Romsdalsfjorden er alle elvene under 30 % etter åtte anlegg er fjernet og ved slutt ligger alle mellom 19 % - 10 %, med unntak av Oppdølselva som har 9 %. I Storfjorden og Voldsfjorden er alle elvene under 30 % etter syv anlegg er fjernet. Ved slutt har halvparten av elvene en dødelighet under 10 %, mens de siste fem ligger rett over 10 %.

Tabell 3.3: Dødelighetsprosentene kalkulert av VPS-modellen i 2019

Romsdalsfjorden										
Elv	Referanse	Antall anlegg fjernet:								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Skorgelva	36%	37%	31%	24%	26%	24%	21%	20%	17%	11%
Tressa	38%	39%	35%	33%	28%	24%	20%	20%	17%	11%
Måna	47%	40%	39%	38%	31%	26%	25%	21%	19%	15%
Innfjordselva	47%	42%	41%	38%	35%	34%	29%	30%	23%	18%
Isavassdraget	47%	47%	43%	40%	34%	34%	31%	28%	22%	18%
Rauma	48%	46%	43%	41%	36%	34%	31%	28%	21%	19%
Mittetelva	43%	41%	40%	35%	34%	30%	26%	23%	21%	16%
Visa	45%	43%	40%	38%	36%	31%	28%	25%	24%	18%
Eira	45%	46%	43%	41%	33%	32%	29%	28%	22%	19%
Røa	36%	33%	29%	29%	23%	20%	16%	15%	14%	10%
Olterøa	36%	31%	31%	30%	24%	20%	19%	19%	13%	10%
Oppdøselva	33%	32%	29%	28%	24%	18%	18%	16%	14%	9%
Oselva (N)	40%	34%	33%	31%	26%	23%	21%	16%	16%	12%
Storfjorden og Voldsfjorden										
Elv	Referanse	Antall anlegg fjernet								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
Oselva (S)	33%	27%	23%	21%	19%	19%	11%	11%	10%	8%
Norrdalselva	37%	34%	28%	21%	22%	24%	10%	12%	10%	8%
Austefjord	54%	48%	40%	38%	36%	35%	30%	29%	15%	15%
Stigedalselva	51%	50%	44%	39%	37%	38%	27%	29%	14%	12%
Ørsta	35%	25%	21%	16%	16%	17%	14%	12%	7%	2%
Stranda	31%	30%	28%	26%	22%	18%	16%	18%	17%	8%
Korsbrekk	39%	35%	35%	35%	24%	21%	19%	20%	18%	12%
Eidsdalselva	41%	38%	38%	36%	28%	21%	21%	20%	17%	11%
Norrdalsvassdraget	39%	36%	41%	38%	29%	23%	21%	20%	17%	11%
Tafjordvassdraget	43%	43%	44%	44%	36%	30%	33%	19%	18%	9%
Valldal	34%	35%	33%	35%	25%	20%	19%	13%	13%	6%

I tabell 3.3 øker dødeligheten to ganger i Romsdalsfjorden; i Innfjordselva og Skorgelva. I Storfjorden og Voldsfjorden øker dødeligheten seks ganger; i Stigedalselva, Ørsta, Stranda, Korsbrekk, Tafjordvassdraget og Valldal. I nesten alle tilfellene økte dødeligheten med 1 % eller 2 %. Det eneste unntaket var i Tafjordvassdraget på 3 % økning.

3.5.3 Resultater fra 2020

Tabell 3.4 viser at alle elvene raskt får en dødelighet under 30 %, hvor kun 3 elver trenger å fjerne to for å oppnå samme resultater. Når den gjennomsnittlige dødeligheten i området er på 8.2 % etter to anlegg er fjernet, ligger fremdeles alle elvene rundt 20 %. Dette er høyere enn elvene i 2018 og de fleste elvene i 2019.

Tabell 3.4: Dødelighetsprosentene kalkulert av VPS-modellen i 2020

Elv	Referanse	Antall anlegg fjernet:	
		1 anlegg	2 anlegg
Stranda	36%	26%	19%
Korsbrekk	39%	30%	19%
Eidsdalselva	36%	32%	20%
Norddalsvassdraget	37%	29%	20%
Tafjordvassdraget	35%	31%	22%
Stordalselva	34%	26%	19%
Valldal	31%	24%	19%

3.5.4 Resultater fra 2021

Tabell 3.5 viser at dødeligheten reduseres gradvis i Romsdalsfjorden og ender mellom 23 % og 27 % i alle elvene. Austefjord og Stigedalselva ligger i Voldsfjorden og i nærheten til anlegg 12209, som var tredje anlegg fjernet. Utvandringstruten fra disse elvene passerer mest sannsynlig et smittefelt forårsaket av anlegget ettersom dødeligheten ikke ble påvirket da de første to anleggene ble fjernet. De siste fire elvene er plassert i Storfjorden og dødeligheten her ender på 7 %, 8 % og 14 %.

Tabell 3.5: Dødelighetsprosentene kalkulert av VPS-modellen i 2021

Romsdalsfjorden				
Elv	Referanse	Antall anlegg fjernet:		
		1	2	3
Innfjordselva	36%	32%	25%	24%
Isavassdraget	35%	31%	27%	27%
Rauma	36%	31%	29%	24%
Visa	33%	30%	27%	25%
Eira	36%	31%	28%	23%
Storfjorden og Voldsfjorden				
Elv	Referanse	Antall anlegg fjernet:		
		1	2	3
Austefjord	31%	34%	35%	25%
Stigedalselva	36%	35%	34%	24%
Eidsdalselva	31%	19%	6%	7%
Norddalsvassdraget	32%	21%	8%	7%
Tafjordvassdraget	35%	26%	14%	14%
Valldal	34%	23%	11%	8%

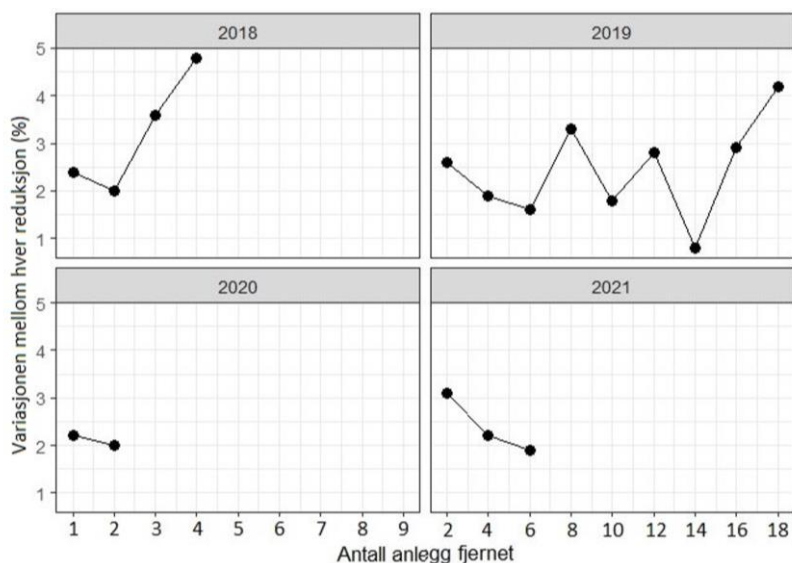
3.5.5 Gjennomsnittlige verdier for hvert år

I tabell 3.6 er den gjennomsnittlige dødeligheten for alle elvene i området regnet ut uvektet. Dette inkluderer både elvene i Romsdalsfjorden, Storfjorden og Voldsfjorden. Den viser at ved hvert anlegg som fjernes blir dødeligheten jevnt lavere. I oddetallsårene er flere anlegg fjernet, en i Romsdalsfjorden og en i Storfjorden. I 2018 måtte 4 anlegg blitt fjernet før dødeligheten hos villfisken var under 10 %. I 2019 måtte 9 anlegg i hver fjord blitt fjernet (totalt 18). I 2020 måtte 2 anlegg blitt fjernet. I 2021 måtte 3 anlegg blitt fjernet (totalt 6). Til tross for dette har partallsårene og oddetallsårene en relativt lik senkning etter anlegg fjernet.

Tabell 3.6: Gjennomsnittlig dødelighet i området per år for referanse og ved anlegg fjernet

Storfjorden og Voldsfjorden											
År	Referanse	Antall anlegg fjernet									
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	
2018	20.3%	17.9%	15.9%	12.3%	7.5%						
2020	12.4%	10.2%	8.2%								
Romsdalsfjorden, Storfjorden og Voldsfjorden											
År	Referanse	Antall anlegg fjernet									
		2	4	6	8	10	12	14	16	18	
2019	29.9%	27.3%	25.4%	23.8%	20.5%	18.7%	15.9%	15.1%	12.2%	8.0%	
2021	16.4%	13.3%	11.1%	9.2%							

Etter hver reduksjon av anlegg blir den totale dødeligheten lavere, men denne endringen varierer mellom 0.8 % og 4.8 %. Av 18 prosenter skiller tre seg ut; fjerde variasjon i 2018 på 4.8 %, syvende variasjon i 2019 på 0.8 % og niende variasjon i 2019 på 4.2 %. Både 2020 og 2021 viser en trend på lavere variasjon for hvert anlegg som fjernes. Variasjonene i 2019 tyder også på en slik trend i 5 av punktene. Dette året har derimot innslag av høyere verdier, som kan komme av ulike årsaker. For eksempel gjennom avvikene modellen naturlig gir eller valg av anlegg. Variasjonen i 2018 har i likhet med 2019 en kraftig økning i de to siste reduksjonene. Dette er mer å forvente i 2018 ettersom elvene med høy dødelighet ligger i umiddelbar nærhet til anleggene som hadde blitt fjernet. Smolten som vandrer ut fra disse har ingen alternative ruter forbi disse smittefeltene. Variasjonene i hvert år og endringen etter hvert anlegg har blitt fjernet, er illustrert i figur 3.25.



Figur 3.25: Variasjonen mellom hver reduksjon for hvert år

4 Diskusjon

4.1 Resultat

4.1.1 Kontraster mellom oddetallsår og partallsår

Det har fra start vært veldig tydelig at en vekselvis høy produksjon i nordlige og sørlige del av produksjonsområdet har ført til store forskjeller i smittesituasjonen mellom årene. Tydelige likheter mellom partallsårene og mellom oddetallsårene er synlig, både i forhold til plassering av elvene som viste en høy dødelighet og anleggene som påvirket dem. Kapittel 3.1 viser at partallårene har mindre antall fisk og summert biomasse, samtidig som smittesituasjonen er begrenset til en del av Storfjorden. Partallårene har også mindre lakselus enn oddetallsårene. Både 2019 og 2021 hadde mer fisk og biomasse enn året før. Dette kommer både av utsett av ny fisk og vekst fra fisken som ble satt ut forrige år. Produksjonssyklusen i sjø varer i 2 år. Første året når denne fisken blir satt ut har den oftest mindre lus. Andre året, når fisken er stor, er det generelt mer lus på fisken samtidig som det er vanskeligere å behandle den (Torrissen et al., 2013).

I denne oppgaven har jeg definert området i to ulike deler; nordlige del, som består av Romsdalsfjorden, og sørlige del, som består av Storfjorden og Voldsfjorden. Dette er et naturlig skille å bruke i denne oppgaven på grunn av lav smitte på tvers av områdene, men er ikke inndelingen oppdrettsnæringen bruker for å dele inn nordlige og sørlige del. Dette skillet betyr heller ikke at det ikke vil forekomme produksjon i resten av området. Et lavere produksjonspress gir mindre belastning og forhindrer varige skader på miljøet (Sandvik et al., 2021). Når produksjonen er høy i nordlige del, vil dette inkludere Romsdalsfjorden og øvre del av Storfjorden. Disse tilfellene skiller seg tydelig ut i VPS-modellen hvor oddetallsår har sterke variasjoner i områder med høyt smittefelt. Ettersom det ikke var mulig å finne ett anlegg som hadde en effekt på både elver i Romsdalsfjorden og Storfjorden ble to anlegg fjernet disse årene, en i hver del av området. Til tross for at det blir fjernet dobbelt så mange anlegg i oddetallsår, har disse årene en reduksjon i de gjennomsnittlige dødelighetene som tilsvarer partallårene. Figur 3.25 i kapittel 3.3.5 viser at denne reduksjonen for hvert år og mellom antall anlegg fjernet, ofte ligger mellom 2 % og 4 %. Dette er primært et resultat av hvor stor spredningen er. Ettersom modellen velger korteste vei ut, vil utvandrende fisk i liten grad påvirkes av anlegg som ikke skaper et akkumulert smittepress i kort avstand til utvandningsruten.

Begge partallsårene har gode forutsetninger for at denne metoden skal ha en tydelig effekt. Alle elvene som skilte seg ut i modellen er lokalisert i indre del av Storfjorden, som er en smal fjord med høy fjordindeks. Fisken her har en av de lengste utvandningsrutene og passerer flere smittefelt på vei ut til havet, hvor flere av disse er uunngåelige på grunn av fjordens struktur (Johnsen et al., 2016). Å

fjerne spesifikke anlegg ved disse forholdene gir en stor forskjell på den gjennomsnittlige dødeligheten i området. Dette speiles på antall anlegg som totalt måtte fjernes. I 2018 ble 4 anlegg fjernet og i 2020 ble 2 fjernet.

Oddetallsårene viser en betraktelig dødelighet i elver på tvers av hele produksjonsområdet. På grunn av modellens funksjon i å velge kortest utvandningsrute, fører dette til at å fjerne ett enkelt anlegg resulterer i lavere dødelighet. For å simulere at hele området blir påvirket av en endring, ble det tatt et valg om å fjerne ett anlegg i Romsdalsfjorden og ett i Storfjorden/Voldsfjorden. Dette førte til en reduksjon i den gjennomsnittlige dødeligheten tilsvarende partallsårene og hadde dermed ønsket utfall på resultatene. Samtidig viser det hvor stor endringen må være når forutsetningene ikke er gunstige. For at 2019 skulle komme på et teoretisk grønt lys var det nødvendig å fjerne 9 anlegg i hver fjord, totalt 18 anlegg. I 2021 ble det fjernet 3 anlegg i hver fjord, totalt 6 anlegg. Altså vil 2021 som hadde lavere smittepress enn 2018 kreve en større endring for å redusere dødeligheten til under 10 %.

Det er kun i oddetallsår elvene i Romsdalsfjorden gir utslag i VPS-modellen. Basert på 2019 og 2021 blir elvene i dette området relativt jevnt påvirket av anleggene. Dette stemmer overens med Johnsen *et al.* (2016) som forklarer at fjorder med en større bredde vil skape bedre sirkulasjon innad i fjorden, som bidrar til et jevnt smittepress. Tabell 3.1 i kapittel 3.4 støtter dette. I denne tabellen har anleggene fjernet fra Storfjorden og Voldsfjorden høyere dødelighet, i tillegg til det er en større forskjell på disse sammenliknet med Romsdalsfjorden. Romsdalsfjorden har generelt lavere prosenter med mindre intervaller mellom. Unntaket til dette er i 2019 hvor to anlegg har en høyere dødelighet, på linje med Storfjorden og Voldsfjorden.

Inndelingen av produksjonsområdene ble gjort med hensyn til smitte og spredning av lakseluslarvene. Hvor produksjonsområde 5 er bestemt til å være best i henhold til en slik inndeling. Til tross for dette er det et tydelig skille mellom nordligste fjord, Romsdalsfjorden, og de to i sør, Storfjorden og Voldsfjorden, i forhold til smitte på tvers. Selv om modellen gir lav eller ingen økt dødelighet på utvandrende fisk fra motsatt område, gir den utslag på hvor mye smittsomme kopepoditter fisken har vært utsatt for i løpet av utvandringen. Lakselusen vil i begrenset grad bli fraktet til andre fjordssystemer ved hjelp av strømmer langs kysten. Det er en tydelig forskjell på partallsårene og oddetallsårene, på grunn av hvor mye av området det høye smittepresset brer seg utover. I 2015 utarbeidet Havforskningsinstituttet et forslag til inndelingen av produksjonsområdene. Ettersom en inndeling basert på fylkesgrensene ville resultert i høy utveksling av smitte, ble flere forslag formet av Ådlandsvik (2015). Disse ble bestemt ut ifra hvor det ville forekomme minst mulig lekkasje av smitte. Ved forslag til 13 produksjonsområder strakk PO5 seg fra Stadt til Hustadvika.

Denne rapporten inkluderte også forslag til 20 produksjonsområder, hvor det nåværende PO5 ble delt til to områder; Romsdal og Sunnmøre. Ifølge Ådlandsvik (2015) ville dette gitt lav forutsigbarhet for fremtidig drift, samt området ville vært sårbar for endringer vedrørende anleggenes geografiske fordeling. Selv om dette ville gitt en bedre kontroll i forhold til potensiell smitte, ville dette ført til kontinuerlige reguleringer i produksjonskapasiteten. En inndeling med 13 områder ble dermed vurdert til det beste forslaget.

4.1.2 Er det mulig å fjerne enkelte anlegg for å bedre situasjonen?

En ting som har kommet tydelig frem i denne studien er at det nødvendigvis ikke er mulig å finne ett anlegg som har mye større effekt på dødeligheten. Selv om reduksjonen av antall anlegg i et område fører til et lavere smittepress på anleggene rundt, blir dødeligheten på villfisken lavere enn forventet. Enkelte anlegg som ble kjørt alene i modellen fikk en høy dødelighet i elvene, men når disse ble fjernet fra det samlede smittefeltet ble effekten lavere enn forventet. For eksempel hadde 14043 en dødelighet på 16 % på utvandrende postsmolt fra Rauma i 2019, men da denne ble fjernet fra simuleringen for hele 2019 gikk dødeligheten fra 48 % til 46 %. Selv om fisken er smittet av lakselus, vil en andel av disse dø av andre årsaker (Thorstad et al., 2012). Utvandringen er en krevende del av fiskens livssyklus, som blant annet innebærer en rekke fysiologiske utfordringer (Hoar, 1976). Basert på studien av Thorstad *et al.* (2012) dør opp til 36% av smolten på vei til havet. Dette kommer av ulike årsaker, blant annet; infeksjoner, predasjon eller fisken ikke var robust nok til å overleve endringene. Dette er noe VPS-modellen ikke tar hensyn til, slik at alle fiskene som dør etter de er smittet vil ta del av dødelighetsprosenten. Selv om det har en tydelig effekt å fjerne enkeltanlegg, vil dette være avhengig av smittesituasjonen i det året. Basert på resultatene har det hatt en mye større effekt å fjerne enkeltanlegg i 2018 og 2020. Disse hadde best forutsetninger før anlegg ble fjernet.

I årene hvor smittepresset er økt i flere deler av produksjonsområdet, vil det kreves mer for å få smittesituasjonene under kontroll. Dette er synlig i oddetallsårene når produksjonen er høy i nordlige del av produksjonsområdet. Dobbelte så mange anlegg blir fjernet i disse årene, og effekten av dette varierer avhengig av hvor høy den totale belastningen i området er. I 2019 hadde PO5 høyest antall fisk og biomasse, som speiles i lusetallene. I 2021 var smittepresset på nivå med 2018 og 2020, selv om året hadde liknende forutsetninger til 2019. Dette i forhold til hvor området ble mest belastet av produksjonen. En av de største forskjellene mellom disse to årene er hvor stor produksjonen var, altså antall fisk og den totale biomassen. Å fjerne enkeltanlegg er ut ifra resultatene kun egnet hvis elver i et mindre og begrenset område har en høy dødelighet på den teoretiske smoltproduksjonen. Intensjonen med å innføre trafikklyssystemet i norsk havbruk var å sikre bærekraftig vekst. Hvis det

ikke er enkeltanlegg som forhindrer dette, kan det tyde på at en vekst ikke er mulig. Dette fordi produksjonsområde 5 ikke vil tåle mer biomasse enn det var i 2019 med den nåværende lokalitetsstrukturen.

4.2 Geografisk

4.2.1 Hydrografi og spredning

Hvordan lusens spres i et område er avhengig av både antall mulige verter og forholdene i det fysiske miljøet. Både temperatur og saltholdighet regulerer lusens utvikling og atferd. Disse sammen med strømmene avgjør derfor hvor og hvordan spredningen blir i et område. I tillegg til en høy biomasse i 2019, har miljøet gjort det vanskeligere å holde lusetallet nede i anleggene. Dermed er det mest sannsynlig en kombinert effekt som førte til at 2019 ble rødt. Temperaturen i 2019 er gjennomsnittlig høyere enn 2018, 2020 og 2021, som fremmer lusens vekst og reproduksjon. Hamre *et al.* (2019) utførte en studie på temperaturens effekt på lakselusens parasittiske livsstadium. Dette inkluderte temperaturer varierende mellom 3 °C til 24 °C. Ved økende temperatur produserer hunnlusen større mengder egg, samtidig som kopepodittene utvikler seg til neste stadiet raskere. Dette vil si at ved høyere temperaturer, som det var i 2019, vil flere nauplius bli frigjort ut i fjordens vannmasser. Når disse har gått gjennom de første to planktoniske stadiene og har blitt kopepoditter, har lusens kortere tidsperiode på å finne seg en vertsfisk. På grunn av dette påpeker Hamre *et al.* (2019) at en lavere temperatur ofte fører til et lavt smittepress over et større areal, mens høyere temperatur gir høyt lokalt smittepress. I en fjord vil ett høyt lokalt smittepress øke muligheten for at utvandrende fisk svømmer gjennom og blir infisert av kopepoditter. Temperaturen i fjorden overgår aldri 21 °C, som var den høyeste verdien lusens kunne være utsatt for og fremdeles ha en ordinær utvikling. Dette vil si at temperaturøkningen i 2019 aldri nådde en verdi som kunne ha negativ effekt på lusens utvikling. Øverste temperatur gjennom perioden lå på 15 °C, som fremdeles vil gi gode muligheter til å spre seg i fjorden. Ifølge studien av Skern-Mauritzen *et al.* (2020) vil denne temperaturøkningen også bistå til en god smitteevne for lusens. Resultatene i studien viser at yngre kopepoditter vil få en sterkere smitteevne ved høye temperaturer.

I 2019 er Romsdalsfjorden preget av en høy saltholdighet i midtre deler, noe som skiller seg ut fra 2018, 2020 og 2021. Området får tilførsel av ferskvann gradvis mellom 23. mai og 2. juni, til forskjell fra de andre årene som får tydelige minimumsverdier ved elvemunninger på bestemte datoer. Resultatene gir inntrykk av mindre mengder ferskvann blir tilført Romsdalsfjorden i 2019, som både gir høyere saltholdigheter innover i fjorden og svakere strømmer ut av fjorden som resultat av tilførselen. Nauplius (I og II) og kopepoditten har ulik atferd i møte med lavere saltholdigheter, som

ble testet av Crosbie *et al.* (2019). Nauplius foretrekker høye saltholdigheter og dermed unngår overflatevannet som har en lavere verdi. I 2019 er forholdene mer lagt til rette for disse stadiene i midtre og ytre deler av Romsdalsfjorden, men trolig vil større mengder nauplius fremdeles befinne seg under overflatevannet hvor det ikke er innslag av ferskvann. Kopepodittene derimot blir funnet i overflatevann med redusert saltholdighet, og på grunn av høye verdier i 2019 vil disse være til stede i større grad en 2018, 2020 og 2021. Både naupliusene (I og II) og kopepodittenes preferanse og atferd ved ulike saltholdigheter er inkludert i modellen.

Tilførselen av ferskvann fra elvene har både en effekt på saltholdigheten og strømmer utover i fjorden. Hvordan strømmene i utvandringsperioden oppfører seg har stor effekt på spredningen av lakselus. En økt styrke lar parasittene spre seg over et større område i et kort tidsrom, men påvirker også hvor raskt en utvandrende post smolt kommer seg ut av fjorden. Er retningen ut av fjorden vil dette øke fiskens svømmehastighet, mens en strøm innover reduserer den. Dette tar ikke VPS-modellen hensyn til og den virtuelle fisken har samme hastighet uavhengig av strøm. I 2019 er Romsdalsfjorden preget av lite og lave strømmer ut av fjorden frem til 26. mai, som er når denne delen begynner å få tilførsel av ferskvann. I brede fjorder, slik som Romsdalsfjorden, blir sterkere strømmer generert langs land. Dette beskriver Johnsen *et al.* (2016) at fører til virvler inne i fjorden, som igjen fører til at høyere tetthet av lakselus også kan bli funnet i midten av fjorden. Dette forklarer hvorfor dødeligheten på fisk som vandrer ut fra elver i dette området blir påvirket relativt likt av flere anlegg. Smitten som slippes fra hvert enkeltanlegg, spres rundt i hele midtre del av fjorden og skaper et større smittefelt med innslag fra flere lokasjoner. Utvandrende fisk klarer dermed ikke vike unna smittefeltene og får økt påslag. I smale fjorder, som Storfjorden og Voldsfjorden, dekker strømmene hele bredde, noe som fører til større mengder lus langs land. De fire årene viser en sterk gjennomgående strøm inn ved Voldsfjorden og ut nordlige kyståpning ved Storfjorden. Strømmen i fjordenes indre deler varierer retning og styrke, men har en tydelig strøm rettet mot kysten ved ferskvannstilskuddet.

4.2.2 Rauma og Ørsta – området nasjonale laksevasdrag

Produksjonsområde 5 inneholder som nevnt tidligere to nasjonale laksevasdrag; Rauma og Ørsta. Etersom disse er ansvarlige for store deler av den teoretiske smoltproduksjonen i området, kan det diskuteres at disse er sett på som de viktigste og burde være i fokus. Rauma er den desidert største elva med 20 % av den teoretiske smoltproduksjonen, mens Ørsta ligger på 8.5 %. Disse elvene har ulike plasseringer i området, med store forskjeller i forutsetningene på å påta seg smitte. Rauma ligger langt inne i Romsdalsfjorden med en høy fjordindeks på ca. 120. Ørsta derimot ligger nær

kysten mellom Voldsfjorden og Storfjorden, og har en fjordindeks på ca. 80. I forhold til plassering og avstand fra åpent hav har utvandrende post-smolt fra de to elvene en stor forskjell på utvandningsruten og tiden de vil trenge ut til havet. En lengre vei vil også føre til at fisken vil passere flere produksjonsområder og vil få flere muligheter til å bli infisert av mer kopepoditter. I Johnsen et al. (2021) fikk elvene lengst inne i fjorden et høyere lusepåslag. Ifølge studien var dette hovedsakelig forårsaket av den lange avstanden fra elv til kyst, som førte til en lengre eksponeringstid.

Utvandrende post-smolt fra hver av disse elvene svømmer gjennom veldig ulike forhold, som er beskrevet i kapittel 4.2.1. Fisken i Romsdalsfjorden blir møtt av et smittefelt som strekker seg over store deler av fjordens areal. Dette sammen med den lange ruten ut til kysten, gir gode muligheter for lakselusen å infisere store mengder post-smolt (Johnsen et al., 2016; Johnsen et al., 2021).

Utvandrende post-smolt fra elver i Storfjorden og Voldsfjorden svømmer ut i en del av fjordsystemet hvor det er en gjennomgående strøm som oftest er rettet nord. Med et større smittepress ved sidene av fjorden, minimeres sannsynligheten for høye påslag av lus.

Effekten utvandringsslengde og miljø de svømmer gjennom har på dødeligheten, gjenspeiles i resultatene fra VPS-modellen i 2019. I Rauma startet referanse verdien på 48 %, og etter syv anlegg var fjernet fra modellen lå dødeligheten på 28%. Når alle ni anlegg var fjernet lå Rauma på 19 %, mens hele området hadde en gjennomsnittlig dødelighet på 8 %. I Ørsta lå referanseverdien på 35 %, og allerede etter ett anlegg fjernet var elven kommet i gult, med 25 % dødelighet. Elven fikk en dødelighet på 7 % etter åtte anlegg ble fjernet, og endte på 2 % ved slutt. I disse elvene kommer forskjellene i dødeligheten av flere grunner, hvor avstand fra kysten og fjordens struktur antageligvis har spilt en stor rolle. Å fjerne anlegg fra en smal fjord som Storfjorden og Voldsfjorden vil ha en større effekt på dødeligheten, gitt at den utvandrende smolten fra Ørsta svømmer gjennom smittefelt forårsaket av anlegget. I 2019 ble anlegg 12213 først fjernet og basert på tabell 3.1 hadde dette anlegget en betraktelig større effekt på dødeligheten enn andre år. Anlegget var lokalisert i Voldsfjorden, i umiddelbar nærhet til Ørsta. Lakseluslarvene sluppet fra dette anlegget akkumulerte mest sannsynlig i vandningsruten til smolten fra denne elven, og hadde dermed stor effekt på resultatene når den ble fjernet. I Romsdalsfjorden fører den brede strukturen til at aktive anlegg har en jevnt og kollektiv effekt på dødeligheten. Å fjerne enkelte anlegg her vil dermed ha mindre effekt på smolt fra Rauma, som fremdeles svømmer gjennom større smittefelt forårsaket av de resterende aktive anleggene. I disse to tilfellene er det derfor en kombinasjon av flere faktorer som forårsaker forskjellene i resultatene; fjord struktur, avstand fra kysten og oppholdstiden i fjorden.

4.2.3 Hvorfor er det viktig å ta hensyn til de mindre elvene?

Produksjonsområde 5 har flere mindre elver, gjerne med teoretisk smoltproduksjon rundt 1000 fisk. Sammenliknet med de nasjonale laksevassdragene Rauma og Ørsta, som har henholdsvis 105 885 og 45 123 i teoretisk smoltproduksjon, er disse veldig små og bidrar lite til hele områdets smoltproduksjon. Viktigheten for å opprettholde også disse bestandene ligger ikke i mengdene de tilfører, men heller den genetiske variasjonen de tilbyr. Hver lakseelv har en egen bestand som er tilpasset dette livet. Disse tilpasningene har ført til endringer i det genetiske materiale som skiller dem fra hverandre (Norris et al., 1999). Laksefiskene er veldig tilpascningsdyktige arter, slik at genetikken endres raskt ved behov, ifølge Houston og Macqueen (2019). De forskjellige bestandene kan gjenkjennes ved genetiske markører. Dette brukes i den genetiske bestandsidentifikasjonen (GSI), som gjør det mulig å tilbakekoble en utvandrende smolt til elven den vandret ut fra (Harvey et al., 2019). Å vite både hvor en smolt svømmer ut fra fjorden og elven den har opphav i er kunnskaper som er nyttige når utvandningsruter skal kartlegges.

Blir de mindre elvene ikke tatt i betraktning vil dette føre til tap av genetisk materiale som bidrar i det biologiske mangfoldet i fjorden. Dette kan føre til en ubalanse i fjorden og kan ha konsekvenser på det eksisterende næringsnett. En sterk genetisk variasjon er viktig for alle artene, da det blir lettere å tilpasse seg miljøet ved endringer (Stachowicz et al., 1999). Fjernes tilskudd til denne variasjonen vil gjenværende arter være sårbare for kjente utfordringer som sykdom, konkurranse og endringer i det fysiske miljø. På grunn av et lavt antall individer er disse små bestandene sårbare om dødeligheten økes betraktelig på kort tid (Kaiser, 2011, s. 15). Både nettverkene i fjorden og elven vil ikke være i stand til å tilpasse seg endringen. Den biologiske diversiteten i økosystemet kan være avgjørende for dette. I mindre næringsnett vil enkelte arter spille en større rolle, såkalte nøkkelarter, og forandringer i slike bestander kan ha en kaskadeeffekt gjennom økosystemet (Power et al., 1996). Powel *et al.* (1996) forklarer derfor hvor stor rolle et stort næringsnett kan ha å si, i situasjoner hvor enkelte arter er sterkt belastet. I disse nettene lever der ofte flere arter i samme trofisknivå, som kan erstatte hverandre ved behov. Fiskene i produksjonsområde 5 svømmer ut fra 44 ulike elver og spiller en særskilt rolle i sitt tilhørende økosystem. Dette gir et potensial for konsekvenser i flere næringsnett- og kjeder.

4.3 Virtuelle Post-Smolt modellen

4.3.1 Utvandningsrute

VPS- modellen simulerer en forenklet versjon av virkeligheten sammenliknet med smitten i det fysiske miljøet. Modellen har tydelige begrensninger som må tas i betraktning. En av disse er utvandningsruten fisken velger å ta. En levende fisk vil mest sannsynlig bruke lengre tid på å vandre ut enn den gjør i modellen, og det vil føre til at den får et større lusepåslag. Ettersom den virtuelle post smolten svømmer den korteste avstanden fra elv til sjø med minimale endringer i vandringsrute, vil tallet beregnet fra VPS-modellen tilsvare minimums dødeligheter fra hver elv. Dette vil si at den faktiske dødeligheten i produksjonsområdet mest sannsynlig er tilsvarende eller høyere enn kalkulasjonene. Denne modellen vil fremdeles være et godt verktøy til å støtte opp kunnskapsbaserte avgjørelser, spesielt i situasjoner hvor dødeligheten blant villfisken er høy.

En utvandrende smolt svømmer som regel aldri rett til havet. Det er ikke mulighet å si med sikkerhet hvor lang tid den faktisk tar, bare danne antagelser basert på observasjoner og trålfangstdata. I 2018 ble det publisert en studie av Halttunen *et al.* (2018) som hadde undersøkt migrasjonen av Atlantisk laks post-smolt i fjorder med høyt smittepress. Post-smolt ble merket og sluppet fra 3 ulike elver i 2006, 2007 og 2014. Hvordan og hvor raskt fisken kom seg av ut av fjorden ble sporet i alle tilfellene, med mer nøyaktighet i 2014. Fisken fra Etne svømte ut fra fjorden både gjennom nærmeste rute og gjennom fjordåpninger lengre borte. Studien viste at det var store variasjoner i veien hvert individ valgte å ta ut til havet. Slike variasjoner i valg av utvandningsrute er ikke eksklusivt i dette fjordsystemet og er også tilfellet i Produksjonsområdet 5. Utvandrende post-smolt i Storfjorden, fra for eksempel elva Rauma, kan både vandre ut gjennom åpningen over eller forbi Ørsta. VPS-modellen vil, som nevnt, ikke ta hensyn til begge disse mulighetene. Tiden og hvordan denne er brukt inne i fjorden vil, i tillegg til valg av utvandningsrute, også bli påvirket av selve fisken. Halttunen *et al.* (2018) forklarte at en sterk svømmer som bruker like lang tid i fjorden som en svak svømmer, vil bli utsatt for mer lus. Selv om tiden for disse to individene er lik, vil den ene fisken svømme lengre. Avhengig av hvor dette er, er sannsynligheten for å svømme gjennom flere smittefelt betraktelig større. Studien gav ingen endelige svar på utvandningsrutene. Halttunen *et al.* (2018) konkluderte med at det var vanskelig å forutsi utvandringen og beste tiltak videre er å sørge for lavere smittepress i utvandningsperiodene.

Når utvalgte anlegg fjernes fra VPS-modellen vil ikke alle elvene få en effekt på dødeligheten. I Storfjorden og Voldsfjorden virket området delt, da elvene nord ble lite påvirket når anlegg i sør ble fjernet. Dette ble speilet i resultatene i kapittel 3.3.2 fra 2019 og kapittel 3.3.4 fra 2021. Dette var forårsaket av at den korteste ruten fisken valgte å svømme ikke hadde stor opphopning av

kopepoditter. I den virkelige verden er det mer realistisk at noen fisk også svømmer ned forbi Ørsta hvor smittekilden er lokalisert. Ville dette blitt tatt i betraktning ville dødeligheten mest sannsynlig vært høyere. Anleggene som har tydelig påvirkning på elvene, ligger ofte i umiddelbar nærhet til hverandre. Det er i disse tilfellene variabler i det fysiske miljøet, som har resultert i en akkumulering av lakseluslarver i vandringsruten til smolten.

4.3.2 Utvandringstidspunkt

Det er en rekke aspekter som påvirker det endelige resultatet, allerede før fisken er smittet. Lakselus er en naturlig parasitt i norske fjorder, som har hatt en økning på grunn av oppdrettsnæringens vekst. Smittekonentrasjonene som simuleres til ulike tidspunkt, er basert på smittetall samlet inn fra oppdrettsnæringen. Utslippet og spredningen av nauplius beregnes ut ifra disse. Nauplius I og II blir spredt med strømmene frem til de blir kopepoditter og begynner å smitte fisken. På denne måten vil modellen ta hensyn til variasjoner i tid når den virtuelle fisken svømmer gjennom området. Det finnes en uunngåelig usikkerhet knyttet til disse utslippsdataene. Med dette menes tidspunktet for tellingene, ettersom de kun oppgir ukenummer og ikke dato, og menneskelige begrensninger i form av avvik i innregistrerte tall. Dette inkluderer deriblant feil i tellingen, hvis lus har blitt oversett eller om lusen hopper av, til utvalget av fisk i telleprosessen. Uttak av hovedsakelig store, robuste fisk med mindre lusepåslag, vil gi et mindre representativt bilde av smitten. På samme måte kan telling på en svak fisk, såkalte «tapere», gi økte smittetall.

Ettersom data fra konsentrasjonsfilene brukt i VPS-modellen er basert på innrapporterte tall, vil disse speile smittesituasjonen ved ulike tidspunkt. Tidspunktet for utvandring vil derfor være viktig. Både utvandringstidspunktet og utvandringsruten er faktorer som bærer med seg usikkerhet. I denne oppgaven er utvandringstidspunktene fra tabell A1.1 i Appendiks 1. Starttidspunktene i elvene varierer mellom 28. april og 2. mai, og siste utvandringsdag varierer mellom 7. juni og 11. juni. Dette er kalkulert og kalibrert i VPS-modellen ved hjelp av tilgjengelige data angående smoltutvandringen i Norge (Ugedal, Vollset, et al., 2021). Tabellen oppgir også tidspunkt for hovedutvandringen som i 2020 varierer mellom 2. mai og 25. mai. I 2021 var tidspunktet for hovedutvandringen opp mot 3 uker tidligere enn i 2020 i elva Sylte (Ugedal, Vollset, et al., 2021). Usikkerheten på utvandringstidspunktet gjelder derfor både innad i og mellom år. Utvandringsintervallet er satt til en flat kurve over 40 dager, ettersom det vanskelig å gjenskape utvandringen i modellen. Utvandringen vil i virkeligheten variere mellom de ulike elvene, hvor enkelte vil ha kortere eller lengre perioder (Johnsen et al., 2021).

4.3.3 Standardavvik

I modellen vil like konsentrasjoner av lus i vannmassene gi forskjellige påslag på den virtuelle fisken. Denne påslagsmodellen bruker reelle trålfangster og reelle effekter til å beregne hvor mange lus som faktisk fester seg på fisken. Dette er for å simulere variasjonen av påslag som forekommer i naturen, slik at noen fisk har mer eller mindre lus enn andre. Derfor kan antall lus på forskjellige fisker med relativt like forutsetninger være ulik. Modellen velger tilfeldig en prosent innenfor intervallet som er mest sannsynlig til å forekomme basert på antall lus på fisken og tettheten av smittsomme kopepoditter i det fysiske miljø. Dette fører til en naturlig variasjon i resultatene på maks 3 %. Denne variasjonen er årsaken til at åtte elver i tabell 3.3 og to elver i tabell 3.5, får en liten økning i dødeligheten når anlegg er fjernet. Det er viktig å være klar over at når anlegg fjernes vil ikke den fullstendige responsen speiles i resultatene. Ved mindre endringer når anlegg fjernes fra modellen kan det ikke bli konkludert med sikkerhet at denne handlingen hadde en redusert effekt. Når modellen kjøres én gang med de ulike variablene kan resultatet ligge i enten øvre eller nedre sikt av avviksintervallet. I situasjoner hvor alle elvene reduseres litt, er det derimot tydelig at handlingen hadde en positiv effekt selv om omfanget ikke er sikkert.

På grunn av disse variasjonene i dødeligheten i modellen, fører dette til flere anlegg som varierer mellom 0 % og 1 % utslag. Derfor vil andre anlegg utenom de oppgitt i figurene i kapittel 3.2, også kunne gi utslag. I utregningen av anlegg som skulle fjernes fra VPS-modellen hadde de fleste elvene som regel like mange eller nesten like mange anlegg med dødelighetsprosent nær 0 %. Unntakene fra dette hadde en eller flere høye prosent i flere elver, og selv med noen lave dødelighetsprosent ville de fremdeles utgitt en forskjell.

5 Konklusjon

Hovedfokuset i denne oppgaven har vært på reduksjonen av anlegg og effekten dette har for de ulike elvene. Metoden brukt, som fjerner anlegg enkeltvis, er kun egnet hvis elver i et mindre og begrenset område har en høy dødelighet på den teoretiske smoltproduksjonen. Dette er fordi denne metoden er avhengig at all utvandrende smolt, uavhengig av hvilken elv de vokste opp i, svømmer forbi smittefeltet produsert av anlegget fjernet.

Fjordens oppbygging avgjør om metoden brukt er effektiv. I en smal fjord slik som Storfjorden og Voldsfjorden viser 2018 og 2020 en effektiv reduksjon, så lenge smitten er innad i et avgrenset område. Når elver med høy dødelighet spredt utover dette geografisk, vil ikke endringen påvirke all utvandrende post-smolt. I en bred fjord slik som Romsdalsfjorden utgjør ikke ett eller to anlegg en større forskjell på dødeligheten. Påvirkningen fra alle anleggene i området summerer seg opp til en betraktelig dødelighet. I et slikt område må aktive lokasjoner samarbeide kollektivt for å komme noen vei og muligens bedre en høy smittesituasjon.

Smitten per år er avhengig av forholdene i det fysiske miljø. Det er derfor viktig å ta hensyn til det faktiske øyeblikksbildet i område, og øke når forholdene er gunstige. En god drift i en fjord krever bra utveksling av vann. I år hvor denne er lavere vil det være lite gunstig å øke produksjonskapasiteten. For å ha en bærekraftig drift er det viktig å ta kunnskapsbaserte valg.

6 Veien videre

En spennende vei å ta videre er å undersøke dødeligheten i sammenheng med biomasse i området. Denne oppgaven har undersøkt effekten av å redusere biomassen ved spesifikke koordinater, gjennom å fjerne enkelte anlegg fra VPS-modellen. Ettersom dette kun gir positive resultater ved bestemte forhold i miljøet og begrenset, lokal smitte burde muligheter som benytter en reduksjon eller omfordeling av biomassen i hvert enkelt anlegg utforskes. Et naturlig steg videre fra dette vil være å redusere biomassen innenfor et bestemt radius i område med høyt smittepress, for å skape et mindre smittefelt langs utvandningsruten. Basert på reduksjonen produksjonsområde 5 gjennomførte mellom 2019 og 2020 på grunn av trafikklysvurderingen gir dette lavere smittetall. En annen fremgang på dette, som kun reduserer i belastede områder, vil være aktuelt å teste ut.

Å senke produksjonen er derimot mindre ønskelig for oppdrettsnæringen. Utfordringene forblir å finne mulige løsninger som tillater ordinær drift med lavere smittetall, enn det som er registrert de siste årene. Hvilken effekt en omfordeling av biomassen gir kan derfor være interessante resultater. Viser enkelte områder tegn på overbelastning, ville det vært spennende å undersøke hva som ville hendt om biomasse fra disse områdene ble flyttet til områder med lavt smittepress. Er det mulig å jevne ut trykket i et område på denne måten?

Både ved å redusere og omfordele biomassen vil størrelsen på fisken spille en viktig rolle, ettersom dette avgjør antall fisk som blir fjernet og mengde lus per individ. En stor slakteklar fisk vil ha et større lusepåslag enn nylig utsatt post-smolt. Dette skaper spørsmål om det kan påvises mer lus ved mer antall fisk eller mer tonn fisk. Det vil det være interessant å undersøke dette nærmere, for å få en forståelse på hvilken forskjell manipulering av biomasse i forhold til mengde og lokasjon utgjør.

Referanser

- Albretsen, J., Sperrevik, A. K., Staalstrøm, A., Sandvik, A. D., Vikebø, F., & Asplin, L. (2011). NorKyst-800 Rapport nr. 1: Brukermanual og tekniske beskrivelser.
- Arff, J., Forbord, S., & Steinhovden, K. (2016). Avlusing med hydrogenperoksid og miljøfaktorer.
- Asplin, L., Sandvik, A. D., & Albretsen, J. (2011). Kystmodellen NorKyst-800—en strømmmodell for hele norskekysten.
- Aure, J., Asplin, L., & Sætre, R. (2007). Kapittel 9 Coast/fjord water exchange. In R. Sætre (Ed.), *The Norwegian Coastal Current: Oceanography and Climate*. tapir academic press.
- Aure, J., & Danielssen, D. S. (2011). Miljøundersøkelser i norske fjorder: Grenlandsfjordene 2000-2009.
- Biering, E., Boxaspen, K. K., & Næsje, T. F. (2021). Styringsgruppens oppsummering og vurdering av lakseluspåvirkning på ville laksefisk 2021. *Styringsgruppen for vurdering av lakseluspåvirkning*.
- Birkeland, K., & Jakobsen, P. J. (1997). Salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis*, infestation as a causal agent of premature return to rivers and estuaries by sea trout, *Salmo trutta*, juveniles. *Environmental Biology of Fishes*, 49(1), 129-137. <https://doi.org/10.1023/a:1007354632039>
- Björnsson, B. T., Stefansson, S. O., & McCormick, S. D. (2011). Environmental endocrinology of salmon smoltification. *General and comparative endocrinology*, 170(2), 290-298.
- Bron, J., Sommerville, C., & Rae, G. (1993). Aspects of the behaviour of copepodid larvae of the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837). *Pathogens of wild and farmed fish: sea lice*, 125-142.
- Bron, J. E., Sommerville, C., Jones, M., & Rae, G. H. (1991). The settlement and attachment of early stages of the salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae) on the salmon host, *Salmo salar*. *Journal of Zoology*, 224(2), 201-212. <https://doi.org/10.1111/j.1469-7998.1991.tb04799.x>
- Brooker, A. J., Skern-Mauritzen, R., & Bron, J. E. (2018). Production, mortality, and infectivity of planktonic larval sea lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837): current knowledge and implications for epidemiological modelling. *ICES Journal of Marine Science*, 75(4), 1214-1234. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsy015>
- Costello, M. J. (2006). Ecology of sea lice parasitic on farmed and wild fish. *Trends Parasitol*, 22(10), 475-483. <https://doi.org/10.1016/j.pt.2006.08.006>
- Crosbie, T., Wright, D., Oppedal, F., Johnsen, I., Samsing, F., & Dempster, T. (2019). Effects of step salinity gradients on salmon lice larvae behaviour and dispersal. *Aquaculture Environment Interactions*, 11, 181-190. <https://doi.org/10.3354/aei00303>
- Dawson, L., Pike, A., Houlihan, D., & McVicar, A. (1999). Changes in physiological parameters and feeding behaviour of Atlantic salmon *Salmo salar* infected with sea lice *Lepeophtheirus salmonis*. *Diseases of aquatic organisms*, 35, 89-99. <https://doi.org/10.3354/dao035089>

- Denholm, I., Devine, G. J., Horsberg, T. E., Sevatdal, S., Fallang, A., Nolan, D. V., & Powell, R. (2002). Analysis and management of resistance to chemotherapeutants in salmon lice, *Lepeophtheirus salmonis* (Copepoda: Caligidae). *Pest Management Science*, *58*(6), 528-536. <https://doi.org/10.1002/ps.482>
- Farmer, D. M., & Freeland, H. J. (1983). The physical oceanography of Fjords. *Progress in Oceanography*, *12*(2), 147-219. [https://doi.org/10.1016/0079-6611\(83\)90004-6](https://doi.org/10.1016/0079-6611(83)90004-6)
- Fjørtoft, H. B., Nilsen, F., Besnier, F., Stene, A., Bjørn, P. A., Tveten, A.-K., Aspehaug, V. T., Finstad, B., & Glover, K. A. (2019). Salmon lice sampled from wild Atlantic salmon and sea trout throughout Norway display high frequencies of the genotype associated with pyrethroid resistance. *Aquaculture Environment Interactions*, *11*, 459-468.
- Folmar, L. C., & Dickhoff, W. W. (1980). The parr—Smolt transformation (smoltification) and seawater adaptation in salmonids: A review of selected literature. *Aquaculture*, *21*(1), 1-37.
- Grefsrud, E. S., Karlsen, Ø., Kvamme, B. O., Glover, K. A., Husa, V., Hansen, P. K., Grøsvik, B. E., Samuelsen, O. B., Sandlund, N., & Stien, L. H. (2021). Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2021-kunnskapsstatus-Kunnskapsstatus effekter av norsk fiskeoppdrett. *Rapport fra havforskningen*.
- Grøntvedt, R. N., Nerbøvik, I.-K. G., Viljugrein, H., Lillehaug, A., Nilsen, H., & Gjerve, A. (2015). Termisk avlusing av laksefisk—dokumentasjon av fiskevelferd og effekt. *Rapport 13, 2015. Veterinærinstituttets rapportserie*.
- Halttunen, E., Gjelland, K.-Ø., Glover, K. A., Johnsen, I. A., Serra-Llinares, R.-M., Skaala, Ø., Nilsen, R., Bjørn, P.-A., Karlsen, Ø., & Finstad, B. (2018). Migration of Atlantic salmon post-smolts in a fjord with high infestation pressure of salmon lice. *Marine Ecology Progress Series*, *592*, 243-256.
- Hamre, L. A., Bui, S., Oppedal, F., Skern-Mauritzen, R., & Dalvin, S. (2019). Development of the salmon louse *Lepeophtheirus salmonis* parasitic stages in temperatures ranging from 3 to 24°C. *Aquaculture Environment Interactions*, *11*, 429-443. <https://doi.org/10.3354/aei00320>
- Harvey, A. C., Quintela, M., Glover, K. A., Karlsen, Ø., Nilsen, R., Skaala, Ø., Sægrov, H., Kålås, S., Knutar, S., & Wennevik, V. (2019). Inferring Atlantic salmon post-smolt migration patterns using genetic assignment. *Royal Society Open Science*, *6*(10), 190426. <https://doi.org/10.1098/rsos.190426>
- Henderson, I. F., & Lawrence, E. (2016). *Henderson's dictionary of biology* (16th edition. ed.). Pearson.
- Heuch, P. A., Parsons, A., & Boxaspen, K. (1995). Diel vertical migration: a possible host-finding mechanism in salmon louse (*Lepeophtheirus salmonis*) copepodids? *Canadian Journal of Fisheries and Aquatic Sciences*, *52*(4), 681-689.
- Hoar, W. S. (1976). Smolt transformation: evolution, behavior, and physiology. *Journal of the Fisheries Board of Canada*, *33*(5), 1233-1252.
- Houston, R. D., & Macqueen, D. J. (2019). Atlantic salmon (*Salmo salar* L.) genetics in the 21st century: taking leaps forward in aquaculture and biological understanding. *Animal Genetics*, *50*(1), 3-14. <https://doi.org/10.1111/age.12748>

- Inall, M., & Gillibrand, P. (2010). The physics of mid-latitude fjords: a review. *Geological Society, London, Special Publications*, 344(1), 17-33.
- Jobling, M., Arnesen, A.-M., Benfey, T., Carter, C., Hardy, R., Le Francois, N. R., O'Keefe, R., Koskela, J., & Lamarre, S. G. (2010). The salmonids (family: Salmonidae). *Finfish aquaculture diversification*, 234-288.
- Johnsen, I., Asplin, L., Sandvik, A., & Serra-Llinares, R. (2016). Salmon lice dispersion in a northern Norwegian fjord system and the impact of vertical movements. *Aquaculture Environment Interactions*, 8, 99-116. <https://doi.org/10.3354/aei00162>
- Johnsen, I. A., Harvey, A., Sævik, P. N., Sandvik, A. D., Ugedal, O., Ådlandsvik, B., Wennevik, V., Glover, K. A., & Karlsen, Ø. (2021). Salmon lice-induced mortality of Atlantic salmon during post-smolt migration in Norway. *ICES Journal of Marine Science*, 78(1), 142-154.
- Johnsen, I. A., & Ådlandsvik, B. (2017). Virtuell utvandring av postsmolt. *Rapport fra havforskningen*.
- Jonsson, B., & Jonsson, N. (2009). Migratory timing, marine survival and growth of anadromous brown trout (*Salmo trutta*) in the River Imsa, Norway. *Journal of Fish Biology*, 74(3), 621-638. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2008.02152.x>
- Kaiser, M. J. (2011). *Marine ecology : processes, systems, and impacts* (2nd ed.). Oxford University Press.
- Klemetsen, A., Amundsen, P. A., Dempson, J. B., Jonsson, B., Jonsson, N., O'Connell, M. F., & Mortensen, E. (2003). Atlantic salmon *Salmo salar* L., brown trout *Salmo trutta* L. and Arctic charr *Salvelinus alpinus* (L.): a review of aspects of their life histories. *Ecology of Freshwater Fish*, 12(1), 1-59. <https://doi.org/10.1034/j.1600-0633.2003.00010.x>
- Ljungfeldt, L. E. R., Quintela, M., Besnier, F., Nilsen, F., & Glover, K. A. (2017). A pedigree-based experiment reveals variation in salinity and thermal tolerance in the salmon louse, *Lepeophtheirus salmonis*. *Evolutionary Applications*, 10(10), 1007-1019. <https://doi.org/10.1111/eva.12505>
- McCormick, S. D., Farrell, A. P., & Brauner, C. J. (2013). *Fish physiology: euryhaline fishes*. Academic Press.
- Myksvoll, M. S., Sandvik, A. D., Albretsen, J., Asplin, L., Johnsen, I. A., Karlsen, Ø., Kristensen, N. M., Melsom, A., Skardhamar, J., & Ådlandsvik, B. (2018). Evaluation of a national operational salmon lice monitoring system—From physics to fish. *PLOS ONE*, 13(7), e0201338. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0201338>
- Nilsen, F., Ellingsen, I., Finstad, B., Helgesen, K. O., Karlsen, Ø., Sandvik, A. D., Sægrov, H., Ugedal, O., Vollset, K. W., & Qviller, L. (2018). Vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet per produksjonsområde i 2018. *Rapp. Fra Ekspertgruppe Vurder. Av Lusepåvirkning Append*, 2, 62.
- Norris, A., Bradley, D., & Cunningham, E. (1999). Microsatellite genetic variation between and within farmed and wild Atlantic salmon (*Salmo salar*) populations. *Aquaculture*, 180(3-4), 247-264.
- Power, M. E., Tilman, D., Estes, J. A., Menge, B. A., Bond, W. J., Mills, L. S., Daily, G., Castilla, J. C., Lubchenco, J., & Paine, R. T. (1996). Challenges in the Quest for Keystones. *BioScience*, 46(8), 609-620. <https://doi.org/10.2307/1312990>

- Rikardsen, A., & Dempson, J. (2011). Dietary life-support: the food of Atlantic salmon at sea. In (pp. 115-136): Blackwell Publishing, Oxford.
- Sandvik, A. D., Asplin, L., Albretsen, J., Bjørn, P. A., Johnsen, I. A., Skardhamar, J., Myksvoll, M. S., & Ådlandsvik, B. (2017). Hydrodynamisk spredningsmodell for lakselus og konsentrasjon av smittsomme copepoditter. *Rapport fra havforskningen*.
- Sandvik, A. D., Bui, S., Huserbråten, M., Karlsen, Ø., Myksvoll, M. S., Ådlandsvik, B., & Johnsen, I. A. (2021). The development of a sustainability assessment indicator and its response to management changes as derived from salmon lice dispersal modelling. *ICES Journal of Marine Science*, 78(5), 1781-1792. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab077>
- Schram, T. A. (1993). Supplementary descriptions of the developmental stages of *Lepeophtheirus salmonis* (Krøyer, 1837)(Copepoda: Caligidae). *Pathogens of wild and farmed fish: sea lice*, 1, 30-47.
- Serra-Llinares, R., Bøhn, T., Karlsen, Ø., Nilsen, R., Freitas, C., Albretsen, J., Haraldstad, T., Thorstad, E., Elvik, K., & Bjørn, P. (2020). Impacts of salmon lice on mortality, marine migration distance and premature return in sea trout. *Marine Ecology Progress Series*, 635, 151-168. <https://doi.org/10.3354/meps13199>
- Skern-Mauritzen, R., Sissener, N. H., Sandvik, A. D., Meier, S., Sævik, P. N., Skogen, M. D., Vågseth, T., Dalvin, S., Skern-Mauritzen, M., & Bui, S. (2020). Parasite development affect dispersal dynamics; infectivity, activity and energetic status in cohorts of salmon louse copepodids. *Journal of Experimental Marine Biology and Ecology*, 530, 151429.
- Sommerset, I., Walde, C. S., Jensen, B. B., Wiik-Nielsen, J., Bornø, G., Oliveira, V. H. S., Haukaas, A., & Brun, E. (2022). Fiskehelserapporten 2021. *Fiskehelserapporten*.
- Stachowicz, J. J., Whitlatch, R. B., & Osman, R. W. (1999). Species diversity and invasion resistance in a marine ecosystem. *Science*, 286(5444), 1577-1579.
- Stigebrandt, A. (2012). Hydrodynamics and Circulation of Fjords. In L. Bengtsson, R. W. Herschy, & R. W. Fairbridge (Eds.), *Encyclopedia of Lakes and Reservoirs* (pp. 327-344). Springer Netherlands. https://doi.org/10.1007/978-1-4020-4410-6_247
- Sundh, H., Nilsen, T. O., Lindström, J., Hasselberg-Frank, L., Stefansson, S. O., McCormick, S. D., & Sundell, K. (2014). Development of intestinal ion-transporting mechanisms during smoltification and seawater acclimation in Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Journal of Fish Biology*, 85(4), 1227-1252. <https://doi.org/10.1111/jfb.12531>
- Sævik, P. N., Agnalt, A.-L., Samuelson, O. B., & Myksvoll, M. (2022). Modelling chemical releases from fish farms: impact zones, dissolution time, and exposure probability. *ICES Journal of Marine Science*, 79(1), 22-33. <https://doi.org/10.1093/icesjms/fsab224>
- Thorstad, E. B., Whoriskey, F., Uglem, I., Moore, A., Rikardsen, A. H., & Finstad, B. (2012). A critical life stage of the Atlantic salmon *Salmo salar*: behaviour and survival during the smolt and initial post-smolt migration. *Journal of Fish Biology*, 81(2), 500-542. <https://doi.org/10.1111/j.1095-8649.2012.03370.x>
- Torrissen, O., Hansen, P. K., Aure, J., Husa, V., Andersen, S., Strohmeier, T., & Olsen, R. E. (2016). Næringsutslipp fra havbruk—nasjonale og regionale perspektiv.

- Torrissen, O., Jones, S., Asche, F., Guttormsen, A., Skilbrei, O. T., Nilsen, F., Horsberg, T. E., & Jackson, D. (2013). Salmon lice - impact on wild salmonids and salmon aquaculture. *Journal of Fish Diseases*, 36(3), 171-194. <https://doi.org/10.1111/jfd.12061>
- Ugedal, O., Fiske, P., & Finstad, B. (2021). *Appendiks I a: Oversikt over laksevassdrag*. Trondheim
- Ugedal, O., Vollset, K. W., Sægrov, H., & Karlsen, Ø. (2021). *Appendiks 1 b: Utvandringstidspunkt for laksesmolt i Norge ved vurdering av lakselusindusert dødelighet på smolt av villaks*.
- Vollset, K. W., Nilsen, F., Ellingsen, I., Finstad, B., Helgesen, K. O., Karlsen, Ø., Sandvik, A. D., Sægrov, H., Ugedal, O., & Qviller, L. (2019). Vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet per produksjonsområde i 2019. *Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av lusepåvirkning*, 84.
- Vollset, K. W., Nilsen, F., Ellingsen, I., Finstad, B., Karlsen, Ø., Myksvoll, M. S., Stige, L. C., Sægrov, H., Ugedal, O., Qviller, L., & Dalvin, S. (2021). Vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet per produksjonsområde i 2021. *Rapport fra ekspertgruppe for vurdering av lusepåvirkning*.
- Ådlandsvik, B. (2015). Forslag til produksjonsområder i norsk lakse-og ørretoppdrett.

Appendiks

A1 Oversikt over Elver, teoretisk smoltproduksjon og utvandringstidspunkter

Tabell A1.1: Oversikt over elver, teoretisk smoltproduksjon og utvandringstidspunkt i PO5.

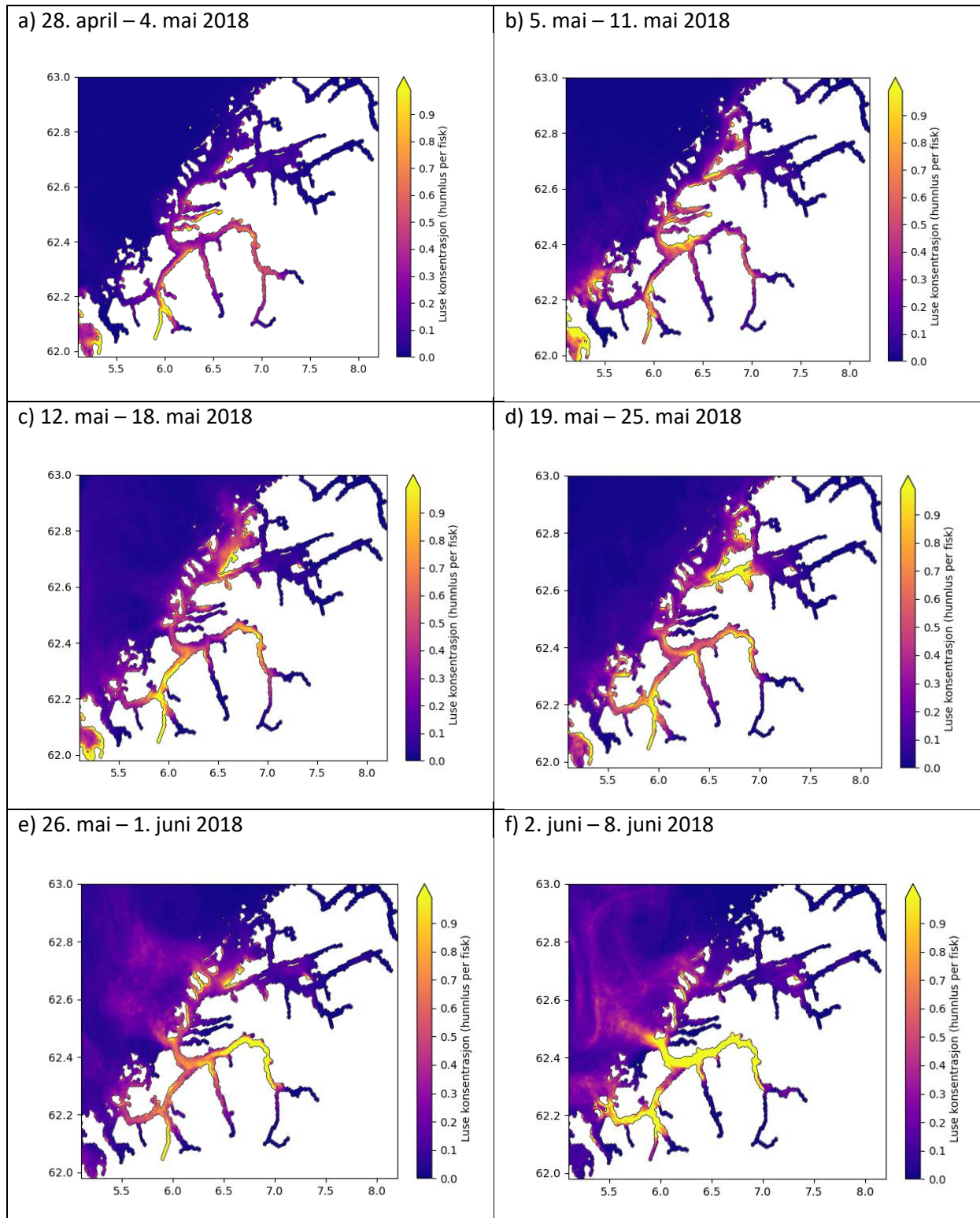
Fra Ugedal et al. (2021)

Produksjonsområde 5: Stad - Hustadvika

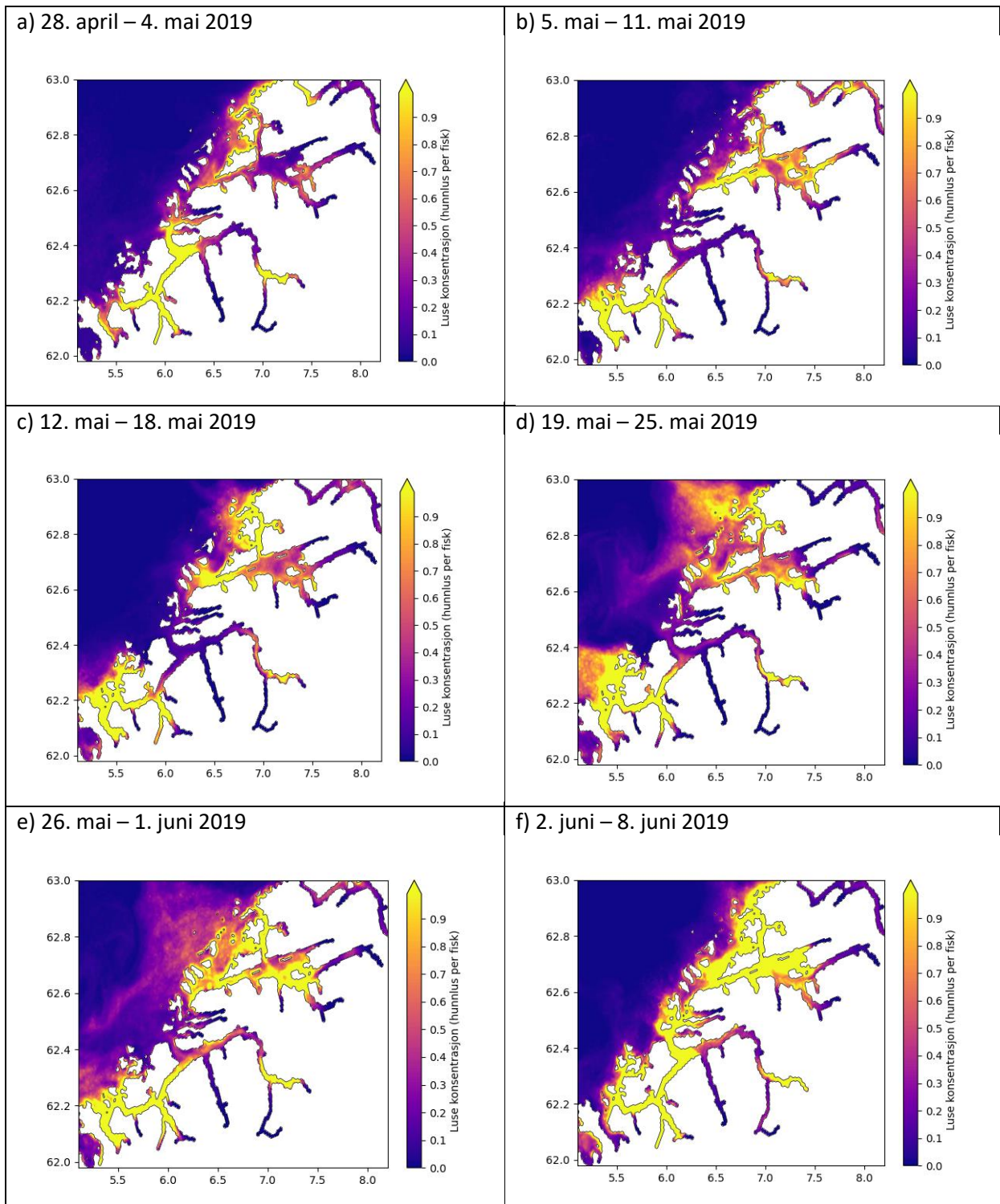
Vassdrags nr.	Vassdrag	GBM (kg laks)	Teoretisk smoltprod.	T_Andel i region (%)	Avs_Gru (m)	NLV	SD	Tidspunkt for utvandring				
								Start	25 %	50 %	Midtp.	Slutt
092.Z	Åheim	468	15608	3,0	32896	0	0	28. apr.	8. mai.	15. mai.	18. mai.	7. jun.
093.2Z	Oselva	173	5770	1,1	38040	0	0	29. apr.	9. mai.	15. mai.	19. mai.	8. jun.
093.3Z	Norddalselva	32	1076	0,2	37734	0	0	29. apr.	9. mai.	15. mai.	19. mai.	8. jun.
094.4Z	Austefjord	233	7771	1,5	65571	0	0	29. apr.	9. mai.	16. mai.	19. mai.	8. jun.
094.Z	Stigedalselva	121	4026	0,8	57403	0	0	29. apr.	9. mai.	16. mai.	19. mai.	8. jun.
095.3Z	Storelva (Ørsta)	324	10805	2,0	36677	0	0	29. apr.	9. mai.	16. mai.	19. mai.	8. jun.
095.41Z	Storelva	145	4849	0,9	35099	0	0	29. apr.	9. mai.	16. mai.	19. mai.	8. jun.
095.4Z	Barstadvik	165	5503	1,0	36890	0	0	30. apr.	10. mai.	16. mai.	20. mai.	9. jun.
095.Z	Ørsta	1353	45123	8,5	48181	1	0	29. apr.	9. mai.	16. mai.	19. mai.	8. jun.
096.1Z	Hareid	388	12940	2,4	27993	0	0	29. apr.	9. mai.	16. mai.	19. mai.	8. jun.
096.41Z	Vågselva	26	859	0,2	24549	0	0	29. apr.	9. mai.	15. mai.	19. mai.	8. jun.
097.1Z	Bondal	582	18566	3,5	62253	0	0	30. apr.	10. mai.	16. mai.	20. mai.	9. jun.
097.2Z	Vikelva	169	5391	1,0	75265	0	0	30. apr.	10. mai.	16. mai.	20. mai.	9. jun.
097.4Z	Norangdal	127	4051	0,8	69538	0	0	30. apr.	10. mai.	17. mai.	20. mai.	9. jun.
097.72Z	Aureelva	323	10304	1,9	50814	0	0	30. apr.	10. mai.	16. mai.	20. mai.	9. jun.
097.7Z	Velledal	484	15440	2,9	56202	0	0	30. apr.	10. mai.	16. mai.	20. mai.	9. jun.
098.3Z	Stranda	343	10942	2,1	79822	0	0	30. apr.	10. mai.	17. mai.	20. mai.	9. jun.
098.6Z	Korsbrekk	161	5136	1,0	109335	0	0	30. apr.	10. mai.	17. mai.	20. mai.	9. jun.
099.1Z	Eidsdalselva	172	5486	1,0	91682	0	0	1. mai.	11. mai.	17. mai.	21. mai.	10. jun.
099.2Z	Norddalsvassdraget	86	2755	0,5	94937	0	0	1. mai.	11. mai.	17. mai.	21. mai.	10. jun.
099.Z	Tafjordvassdraget	37	1183	0,2	105504	0	0	1. mai.	11. mai.	18. mai.	21. mai.	10. jun.
100.2Z	Stordalselva	724	23096	4,4	73375	0	0	1. mai.	11. mai.	17. mai.	21. mai.	10. jun.
100.3Z	Vagsvikelva	25	798	0,2	66445	0	0	30. apr.	10. mai.	17. mai.	20. mai.	9. jun.
100.Z	Vallidal	808	25775	4,9	95571	0	0	1. mai.	11. mai.	18. mai.	21. mai.	10. jun.
101.1Z	Ørskog	99	3158	0,6	63692	0	0	30. apr.	10. mai.	17. mai.	20. mai.	9. jun.
101.2Z	Solnør	128	4083	0,8	59815	0	0	30. apr.	10. mai.	17. mai.	20. mai.	9. jun.
101.6Z	Tennfjord	346	11037	2,1	41056	0	0	30. apr.	10. mai.	17. mai.	20. mai.	9. jun.
102.11Z	Hildre	20	638	0,1	19678	0	0	30. apr.	10. mai.	16. mai.	20. mai.	9. jun.
102.2Z	Storelva	31	979	0,2	34586	0	0	30. apr.	10. mai.	17. mai.	20. mai.	9. jun.
102.5Z	Skorgelva	152	4844	0,9	50722	0	0	1. mai.	11. mai.	17. mai.	21. mai.	10. jun.
102.6Z	Tressa	262	8358	1,6	56470	0	0	1. mai.	11. mai.	17. mai.	21. mai.	10. jun.
103.1Z	Måna	363	11580	2,2	63834	0	0	1. mai.	11. mai.	17. mai.	21. mai.	10. jun.
103.2Z	Innfjordselva	275	8763	1,7	70655	0	0	1. mai.	11. mai.	18. mai.	21. mai.	10. jun.
103.4Z	Isavassdraget	566	18069	3,4	78559	0	0	1. mai.	11. mai.	18. mai.	21. mai.	10. jun.
103.Z	Rauma	5216	105885	20,0	72640	1	0	1. mai.	11. mai.	18. mai.	21. mai.	10. jun.
104.1Z	Mittetelva	64	1297	0,2	69125	0	0	1. mai.	11. mai.	18. mai.	21. mai.	10. jun.
104.2Z	Visa	185	6170	1,2	82818	0	0	2. mai.	12. mai.	18. mai.	22. mai.	11. jun.
104.Z	Eira	761	25379	4,8	95331	0	2	2. mai.	12. mai.	19. mai.	22. mai.	11. jun.
105.1Z	Røa	224	7480	1,4	54077	0	0	1. mai.	11. mai.	18. mai.	21. mai.	10. jun.
105.3Z	Olteråa	36	1209	0,2	67846	0	0	2. mai.	12. mai.	18. mai.	22. mai.	11. jun.
105.4Z	Oppdøselva	252	8417	1,6	59055	0	0	1. mai.	11. mai.	18. mai.	21. mai.	10. jun.
105.Z	Oselva	892	29748	5,6	69982	0	0	2. mai.	12. mai.	18. mai.	22. mai.	11. jun.
107.3Z	Sylte/Moelva	406	13540	2,6	32382	0	1	1. mai.	11. mai.	17. mai.	21. mai.	10. jun.
107.6Z	Hustad	445	14841	2,8	12974	0	2	1. mai.	11. mai.	17. mai.	21. mai.	10. jun.

A2 Ukentlige endringer i smittepresset gjennom perioden for alle år

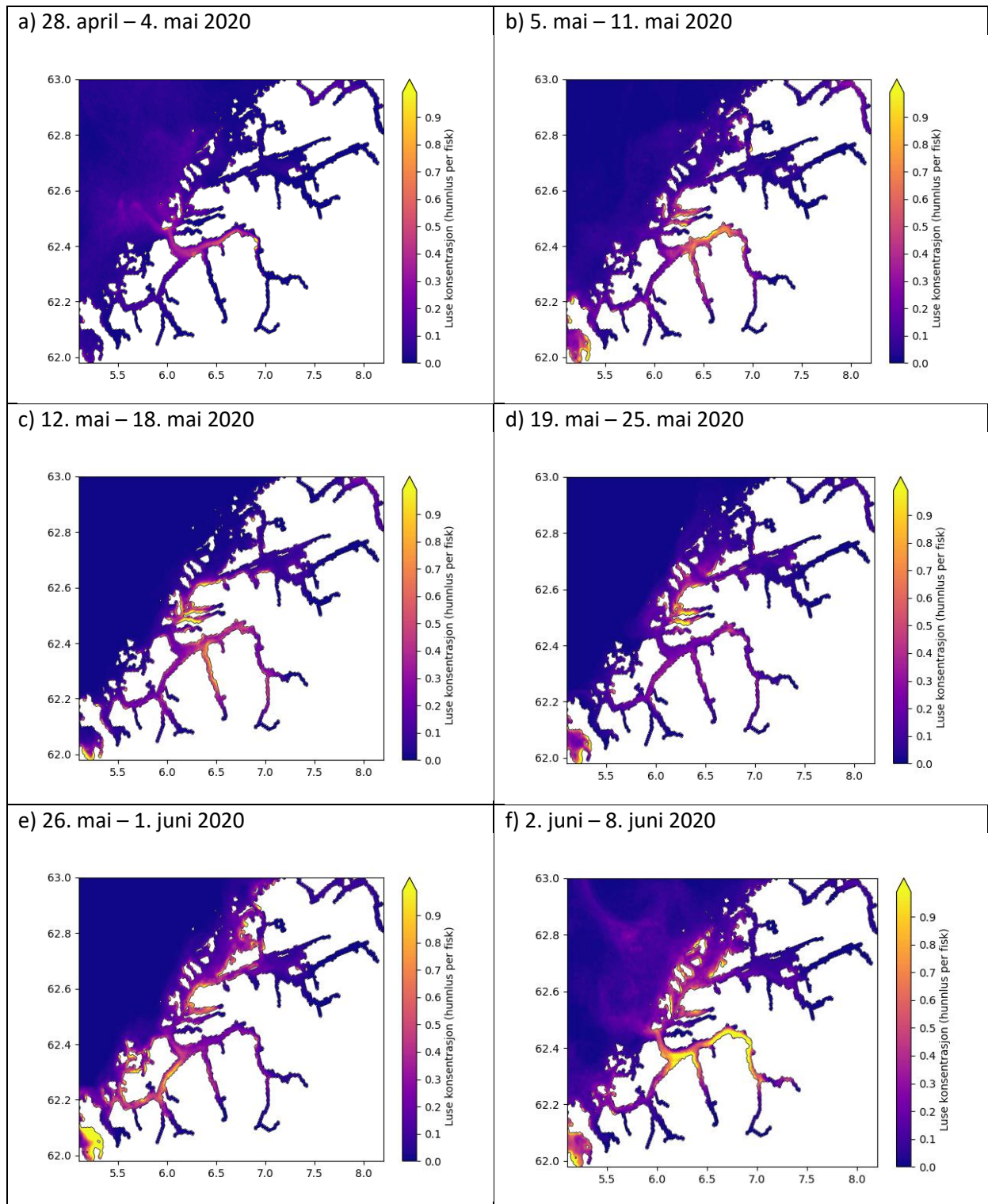
Tabell A2.1: Ukentlige endringer på smittepresset i 2018. Tabellen inneholder figur A2.1 a-f



Tabell A2.2: Ukentlige endringer på smittepresset i 2019. Tabellen inneholder figur A2.2 a-f



Tabell A2.3: Ukentlige endringer på smittepresset i 2020. Tabellen inneholder figur A2.3 a-f



Tabell A2.4: Ukentlige endringer på smittepresset i 2021. Tabellen inneholder figur A2.4 a-f

