

Forhold for overlevelse av *Gyrodactylus salaris* i Oslofjorden



RAPPORT

Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00

Internett: www.niva.no

NIVA Region Sør

Jon Lilletuns vei 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

NIVA Region Innlandet

Sandvikaveien 59
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

NIVA Region Vest

Thormøhlensgate 53 D
5006 Bergen
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 55 31 22 14

NIVA Danmark

Ørestads Boulevard 73
DK-2300 Copenhagen
Telefon (45) 8896 9670

Tittel Forhold for overlevelse av <i>Gyrodactylus salaris</i> i Oslofjorden	Løpenummer 7814-2023	Dato 20.01.2023
Forfatter(e) André Staalstrøm (NIVA) Guttorm N. Christensen (Akvaplan-niva) Thron O. Haugen (NMBU)	Fagområde Hydrologi og oseanografi	Distribusjon Åpen
	Geografisk område Oslofjorden	Sider 31 + vedlegg

Oppdragsgiver(e) Vestfold og Telemark fylkeskommune	Oppdragsreferanse Lars Wilhelm Solheim
Oppdragsgivers utgivelse:	Utgitt av NIVA Prosjektnummer 16368

Sammendrag

I denne rapporten har modellkjøringer med FjordOs-modellen blitt kalibrert mot målinger av saltholdighet i overflatelaget i Oslofjorden. Disse modellresultatene er brukt for å vurdere muligheten for at vandrende laks kan overføre parasitten *Gyrodactylus salaris* fra elv til elv via sjøen. Det er en mulighet for *G. salaris* kan overføres fra Drammenselva til Aulivassdraget, selv om sannsynligheten for at dette skjer er liten. I en ekstrem flomsituasjon i fjordsystemet slik som den i juni 1995, vil det være stor sannsynlighet for at parasitter ville overleve på fisk hvis de hadde vandret mellom Glomma og Aulivassdraget, eller motsatt.

Fire emneord	Four keywords
1. Oslofjorden	1. Oslofjord
2. Saltholdighet	2. Salinity
3. <i>Gyrodactylus salaris</i>	3. <i>Gyrodactylus salaris</i>
4. FjordOs-modellen	4. FjordOs model

Denne rapporten er kvalitetssikret iht. NIVAs kvalitetssystem og godkjent av:

André Staalstrøm
Prosjektleder/Hovedforfatter

Louise Valestrand
Kvalitetssikrer

Ailbhe Lisette Macken
Forskningsleder

ISBN 978-82-577-7550-6

NIVA-rapport ISSN 1894-7948

© Norsk institutt for vannforskning. Publikasjonen kan siteres fritt med kildeangivelse.

**Forhold for overlevelse av *Gyrodactylus salaris* i
Oslofjorden**

Forord

I prosjektet Gyrofri har målet vært å dokumentere spredningsmekanismene av parasitten via fisk. Et viktig element har vært saltholdighet i overflatelaget i fjorden, som avgjør hvor lenge parasitten overlever, som igjen er avgjørende for smitterisikoen. I denne rapporten beskrives saltholdigheten i Oslofjordens overflatelag, både med målinger og med numerisk modellering. En havmodell utviklet i prosjektene FjordOs og FjordOsII har blitt benyttet. Modellen er utviklet i samarbeid mellom Universitetet i Sørøst-Norge, Meteorologisk institutt og NIVA. André Staalstrøm ved NIVA har hatt ansvar for modelleringsarbeidet i Gyrofri mens Guttorm Christensen har hatt ansvar for datainnsamling med saltholdighetsloggere. Guttorm N. Christensen og Thrond Haugen har i Gyrofri prosjektet arbeidet med lyttebøyer for å spore fiskens vandring. Dette arbeidet er utgitt i en egen rapport (Haugen et al. 2023).

Vestfold og Telemark fylkeskommune har vært oppdragsgiver og prosjektansvarlige for prosjekt Gyrofri. Arbeidet er utført gjennom interregional samhandling i samråd med Viken fylkeskommune og øvrige prosjekt- og samarbeidspartnere. Arbeidet i rapporten har vært utført av NIVA, Akvaplan-niva og NMBU. Mattilsynet og Miljødirektoratet har vært observatører i prosjektet. Rådgiver Lars Wilhelm Solheim i Vestfold og Telemark fylkeskommune har vært ansvarlig for koordinering av prosjektet. En særlig takk rettes til Oslofjordfondet og til Regionale Forskningsfond i Vestfold og Telemark for god støtte og oppfølging.

Forsidebildet er tatt av Jannicke Wiik-Nielsen.

Oslo, 20.1.2023

André Staalstrøm

Innholdsfortegnelse

1	Innledning	7
1.1	En parasitt blir innført i Oslofjordregionen.....	7
1.2	Breiangen – en saltholdighet barriere?	9
2	Observasjoner	10
2.1	Ferskvannstilførsel	10
2.2	Overvåkningsstasjoner i fjorden	10
2.3	Utplasserte loggere.....	11
2.4	Målinger av saltholdighet i fjorden under flommen i 1995.....	11
3	Havmodellen FjordOs	12
3.1	Generelt om havmodellering.....	12
3.2	Elver i FjordOs-modellen.....	14
4	Vannføring i Drammenselva	15
4.1	Historisk tilbakeblikk på vannføringen i Drammenselva	15
4.2	Fremtidig ferskvannstilførsel	16
5	Saltholdighet i Oslofjorden	17
5.1	Presentasjon av saltholdighet i forhold til overlevelsestid for lakseparasitten.....	17
5.2	Overflatesaltholdighetens respons på endringer i ferskvannstilførsel.....	17
5.3	Kalibrering av havmodellen	18
5.4	Saltholdigheten i fjorden etter flomepisoder	19
5.5	Saltholdigheten i en ekstrem situasjon.....	23
6	Analyse av mulig saltholdighetsvariasjon mellom elveutløp	26
6.1	Metode	26
6.2	Resultat	26
7	Diskusjon.....	28
7.1	Er fjorden en effektiv saltholdighetsbarriere?.....	28
7.2	Hvordan vil mulige endringer av klima kunne påvirke?	28
8	Referanser.....	29

Sammendrag

Oslofjorden, med fjordarmene Drammensfjorden og Indre Oslofjord, er et viktig fjordsystem i norsk sammenheng, siden dette området er det tettest befolkede i landet. Både selve fjorden og strendene brukes som rekreasjonsområder, som bidrar til at fjorden er den mest trafikkerte i Norge. Lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* (*G. salaris*) er en ca. 0,5 mm stor parasitt som lever i ferskvann og fester seg på laksens hud. Hvis *G. salaris* blir introdusert til et vassdrag som i utgangspunktet ikke har parasitten, vil dette føre til en reduksjon på opp mot 85 % av tettheten av lakseunger og av fangst av laks, og vurderes derfor som en trussel for de atlantiske laksestammene. *Gyrodactylus salaris* ble introdusert i Drammenselva i 1987 og deretter spredt til Lierelva samme år og senere til Sandeelva (2003). Parasitten medfører i prinsippet at disse tre elvene ikke oppnår god økologisk tilstand etter vannforskriften. Parasitten dør fort når infisert laks svømmer ut i saltvann, men kan overleve en stund hvis saltholdigheten er lav. For eksempel så kan parasitten overleve i 60-70 timer hvis saltholdigheten er 10 psu og temperaturen 12 °C.

I denne rapporten har modellkjøringer med FjordOs-modellen blitt kalibrert mot målinger av saltholdighet i overflatelaget i Oslofjorden. De kalibrerte modellresultatene kan estimere saltholdigheten på et gitt sted og tid med en nøyaktighet estimert til $\pm 3-4$ psu. Modellen er mer nøyaktig hvis en ser på statistiske parametere. I snitt så har de kalibrerte modellresultatene en nøyaktighet på 0,5 psu for det generelle saltholdighetsnivået og en nøyaktighet på 0,2 psu for variasjon rundt dette nivået. Modellen estimerer de laveste saltholdighetsverdiene med en nøyaktighet på 0,5 psu. Disse modellresultatene er brukt for å vurdere muligheten for at vandrende laks og til en viss grad sjøørret kan overføre parasitten fra elv til elv via sjøen. Resultatene av fiskedelen av prosjektet er utgitt i egen rapport (Haugen et al., 2023).

På strekningen mellom Drammensfjordens utløp og området ved Bolærne hvor det er tilgang til Aulivassdragets utløp innenfor Tønsberg, kan det i enkelte år være perioder med to til tre ukers varighet hvor saltholdigheten ligger mellom 12 og 18 psu. Lakseparasitter *G. salaris* som sitter på vandrende laks, kan da overleve fra et halvt til over to døgn. Dette betyr at det er en mulighet for *G. salaris* overføres fra Drammenselva til Aulivassdraget, selv om sannsynligheten for at dette skjer er liten.

I en ekstrem flomsituasjon i fjordsystemet slik som den i juni 1995, vil det være stor sannsynlighet for at parasitter ville overleve på fisk hvis de hadde vandret mellom Glomma og Aulivassdraget.

På strekningen fra Tønsbergfjorden til Larviksfjorden kan det i perioder med varighet opp mot to uker være en saltholdighet ned mot 18 psu, men saltholdigheten vil være høyere enn 24 psu mesteparten av tiden. Basert på saltholdighet vil det trolig være lav sannsynlighet for at lakseparasittene overføres fra Aulivassdraget til Numedalslågen. Området mellom Tønsberg og Larvik (Svennerbassenget) kan betraktes som en saltholdighetsbarriere.

Summary

Title: Conditions for survival of *Gyrodactylus salaris* in the Oslofjord

Year: 2023

Author(s): André Staalstrøm, Guttorm N. Christensen & Thrond Haugen

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN 978-82-577-7550-6

The Oslofjord, with the fjord arms the Drammensfjord and the Inner Oslofjord, is an important fjord system in the Norwegian context, since this area is the most densely populated in the country. Both the fjord itself and the beaches are used as recreational areas, which contributes to the fjord being the busiest in Norway. The salmon parasite *Gyrodactylus salaris* (*G. salaris*) is an approx. 0.5 mm large parasite that lives in fresh water and sticks to the salmon's skin. If *G. salaris* is introduced to a river that does not initially have the parasite, this will lead to a reduction of up to 85% in the density of juvenile salmon and the catch of salmon and is therefore considered a threat to the Atlantic salmon stocks. *Gyrodactylus salaris* was introduced in the Drammen river in 1987 and then spread to the Lier river the same year and later to the Sande river (in 2003). Due to the presence of the parasite these three rivers do not achieve good ecological status according to the water regulations. The parasite dies quickly when infected salmon swim out into saltwater but can survive for a while if the salinity is low. For example, the parasite can survive for 60-70 hours if the salinity is 10 psu and the temperature 12° C.

In this report, model runs with the FjordOs model have been calibrated against measurements of salinity in the surface layer in the Oslofjord. The calibrated model results can estimate the salinity at a given location and time with an accuracy estimated to $\pm 3-4$ psu. The model is more accurate if one looks at statistical parameters. On average, the calibrated model results have an accuracy of 0.5 psu for the general salinity level and an accuracy of 0.2 psu for variation around this level. The model estimates the lowest salinity values with an accuracy of 0.5 psu. These model results have been used to assess the possibility that migrating salmon and to some extent sea trout can transfer the parasite from river to river via the sea.

On the stretch between the outlet of the Drammensfjord and the area outside the outlet of the Aulie river, there may in some years be periods of two to three weeks where the salinity is between 12 and 18 psu. Salmon parasites *G. salaris*, which live on migratory salmon, can then survive from half a day to a day. This means that there is a possibility of *G. salaris* being transferred from the Drammen river to the Aulie river, even though the probability of this is small.

In an extreme flood situation in the fjord system such as that in June 1995, there will be a high probability that parasites will survive on fish if they wander between the river Glomma and the Aulie river.

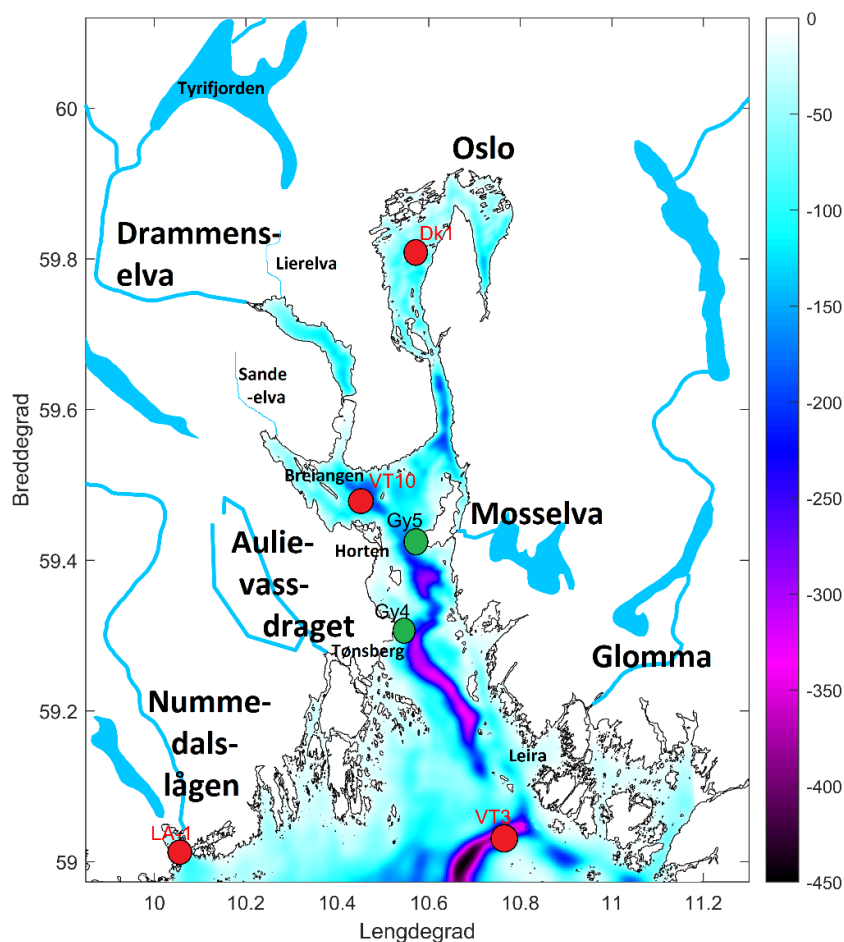
On the stretch from the Tønsbergfjord to the Larviksfjord, in periods with a duration of up to two weeks there may be a salinity as low as 18 psu, but the salinity will be higher than 24 psu most of the time. Based on salinity, there will probably be a low probability of the salmon parasites being transferred from the Aulivassdraget to Numedalslågen. The area between Tønsberg and Larvik (Svenner Basin) can be considered a salinity barrier.

1 Innledning

1.1 En parasitt blir innført i Oslofjordregionen

Norges hav- og kystområder og vassdrag utgjør i dag noen av de viktigste leveområdene for den atlantiske villaksen og Norge har derfor et særskilt internasjonalt ansvar for forvaltningen av bærekraftige villaksstammer. Den dødelige lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* (*G. salaris*) er en av de største truslene for villaksen. *Gyrodactylus salaris* er en ca. 0,5 mm stor parasitt som lever i ferskvann og fester seg på laksens hud. Hvis *G. salaris* blir introdusert til et vassdrag som i utgangspunktet ikke har parasitten, vil dette føre til en reduksjon på opp mot 85 % av tettheten av lakseunger og av fangst av laks (Artsdatabanken, 2012). Lakseparasitten er en uønsket art i Norge og vurderes i dag som en trussel for de atlantiske laksestammene (Solheim & Bjørnstad, 2015).

Gyrodactylus salaris ble introdusert i Drammenselva i 1987 som renner ut innerst i Drammensfjorden (Figur 1). Deretter ble den spredt til Lierelva samme år og senere til Sandeelva (2003). *G. salaris* ble også oppdaget i Selvikelva i 2018. Parasitten medfører i prinsippet at disse tre elvene ikke oppnår god økologisk tilstand etter vannforskriften.



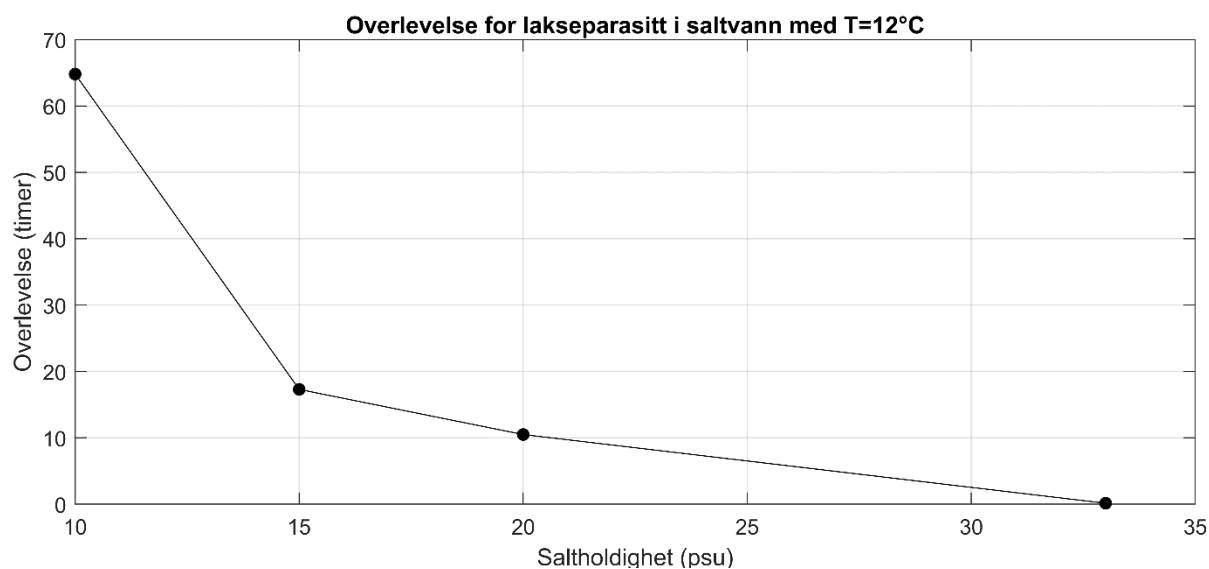
Figur 1. Kart over Oslofjorden med de CTD stasjoner (merket med rødt). Plassering av to loggere for saltholdighet er vist med grønne prikker (Gy4 og Gy5). Vanndybden som er vist på en fargeskala fra 0 til 450 m, er hentet fra FjordOs-modellen.

Oslofjorden (Figur 1) er en viktig fjord i norsk sammenheng siden dette området er det tettest befolkede i landet. Både selve fjorden og strendene brukes som rekreasjonsområder, som bidrar til at fjorden er den mest trafikkerte i Norge. Oslofjorden kan kalles et fjordsystem, som består av en rekke mindre fjorder, vikar og bukter og de to dominerende fjordarmene Drammensfjorden og Indre Oslofjord. Fjordsystemet Oslofjorden defineres ofte som området nord for Færder, som inkluderer Sandefjordsfjorden og Tjøme på vestsiden og Hvaler på østsiden, selv om dette strengt tatt er egne områder. I denne rapporten brukes denne vide definisjonen.

De to største elvene i landet renner ut i Oslofjorden. Drammenselva har en middelvannføring på rundt 400 m³/s, mens Glomma har en middelvannføring på rundt 800 m³/s. Resten av vassdragene bidrar med ytterligere ca. 100 m³/s, hvis man inkluderer området fra Hvaler til Sandefjord. Neste store vassdrag, Numedalslågen som renner ut i Larviksfjorden, har en middelvannføring på rundt 180 m³/s.

1.2 Breiangen – en saltholdighet barriere?

Gyrodactylus salaris kan spres med vandrende infisert fisk der saltholdigheten er lavere enn kritisk grense for parasittens overlevelse. Når en infisert laks svømmer ut i fjorden, overlever ikke parasitten lenger enn omtrent en dag hvis saltholdigheten er over 15 psu, se Figur 2. Blir saltholdigheten lavere enn 7-10 psu kan parasitten overleve i mange dager og uker (Soleng & Bakke, 1997).



Figur 2. Overlevelse av lakseparasitten *G. salaris* ved sjøtemperatur på 12°C som funksjon av saltholdighet (Soleng & Bakke, 1997).

Dagens forvaltningsstrategi for anadrom laksefisk har siden parasitten ble introdusert basert seg på at saltholdigheten har fungert som en effektiv saltbarriere mot spredning av parasitten. Tidligere risikovurdering av saltbarrieren for spredning fra Drammenselva (Brun & Høgåsen, 2003) var basert på en faglig oppfatning om at det eksisterer en gjennomgående høy nok saltholdighet i vestre Breiangen. Det har blitt dokumentert at det er endringer i klimaet, med mer nedbør (se f.eks. Hansen-Bauer, 2012). Dette kan føre til perioder med økt ferskvannssjikt og lavere saltholdighet. Hvis disse periodene sammenfaller med fiskevandring kan det tenkes at laks som bærer parasitten vandrer opp i elver hvor den ikke fins fra før. Aulivassdraget og Numedalslågen er i dag fri for *G. salaris*, og konsekvensene er svært store om disse elvene blir smittet.

I en rapport fra 2003 (Brun & Høgåsen, 2003), ble det estimert at det var 31 % sannsynlighet for at minst én smittet smolt vandrer opp i Sandeelva, gitt typiske infeksjonstall og smoltutvandringmengder for laks fra Drammenselva. Samme år som rapporten kom ut, altså i 2003, ble parasitten påvist i Sandeelva. De tvilte imidlertid på sine funn da de mente simuleringene var basert på mangelfulle observasjoner om særlig vandringsatferd hos smolten. En generelt økt kunnskap om vandringsadferd for smittet smolt i brakkevannssonen, vil gi verdifull informasjon som kunne redusere usikkerheten i estimatene i modellen. Sannsynligheten for smitte til andre vassdrag ble vurdert som svært liten, men datagrunnlaget om saltholdighet i fjorden var begrenset. I denne rapporten blir saltholdighetsforholdene i Oslofjordens overflatelag vurdert på nytt basert på både observerte og modellerte verdier, med tanke på risiko for spredning av lakseparasitten.

2 Observasjoner

2.1 Ferskvannstilførsel

Femten av Norges hovednedbørsfelt drenerer til fjordområdet mellom Stömstad og Stavern. Fem av de største vassdragene er tegnet inn på Figur 1, og det er Glomma, Mosseelva, Drammenselva, Aulivassdraget og Numedalslågen. Det fins målinger av vannføring i alle disse elvene, bortsett fra Aulivassdraget (se Tabell 1). I denne rapporten er data fra stasjonen i Drammenselva brukt i analysene. Havmodellen FjordOs bruker data fra alle målestasjonene i Tabell 1, i tillegg til modellert vannføring fra NVE.

Tabell 1. Målestasjoner for vannføring i de største vassdragene.

Stasjon	Vassdrag	Breddegrad	Lengdegrad
Sarpsborg	Glomma	59,284	11,132
Solbergfoss	Glomma	59,638	11,153
Moss dam ndf.	Mosseelva	59,439	10,666
Mjøndalen bru	Drammenselva	59,753	10,007
Døviksfoss	Drammenselva	59,886	9,910
Holmfoss	Numedalslågen	59,189	9,993

2.2 Overvåkningsstasjoner i fjorden

Vannmassene fra svenskegrensa til Jomfruland overvåkes i tre omfattende overvåkningsprogram som ledes av NIVA. Ett program tar for seg Oslofjorden innenfor Drøbaksundet (Lundsør & Beckmann, 2018), og ett program for områdene utenfor (Walday et al., 2019). Begge er finansiert av kommunene langs kysten. I tillegg har Miljødirektoratet Økokyst delprogram Skagerrak, som dekker sentrale deler av Oslofjorden og Grenland (Fagerli et al., 2019). I Tabell 2 vises et utvalg av stasjoner fra disse overvåkningsprogrammene, samt posisjonene hvor det i dette prosjektet har vært gjort målinger. Disse stasjonene brukes til å kalibrere beregnet saltholdighet fra FjordOs-modellen¹.

Tabell 2. Et utvalg av overvåkningsstasjonene.

Stasjonskode	Stasjonsnavn	Breddegrad	Lengdegrad	Program
Dk1	Vestfjorden	59,8150	10,5694	Overvåkning av indre Oslofjord
VT10	Breiangen	59,4867	10,4587	Økokyst
VT3	Torbjørnskjær	59,0407	10,7608	Økokyst
LA-1	Larviksfjorden	59,0190	10,0520	Overvåkning av ytre Oslofjord
Gy4	Slagentangen	59,3135	10,5406	Gyofri
Gy5	Gullholmen	59,4343	10,5679	Gyofri

¹ I denne rapporten er det hentet data fra en kjøring med FjordOs-modellen som kalles versjon 4. https://thredds.met.no/thredds/catalog/fjordos/fjordos2_hindcast/v4/catalog.html

2.3 Ut plasserte loggere

Målinger på faste overvåkningsstasjoner gjøres relativt sjeldent. I Økokyst-programmet gjøres det målinger hver måned, men det kan være store variasjoner i ferskvannstilførselen på mye kortere tidsskala enn dette. I dette prosjektet ble det derfor utplassert loggere for saltholdighet på noen posisjoner i fjordens overflatelag (se Figur 1 og Tabell 2). Disse registrerte saltholdigheten i overflatelaget hver time, og det er derfor mulig å se på hvordan forholdene endrer seg fra dag til dag. Det ble brukt loggere av typen HOBO.

2.4 Målinger av saltholdighet i fjorden under flommen i 1995

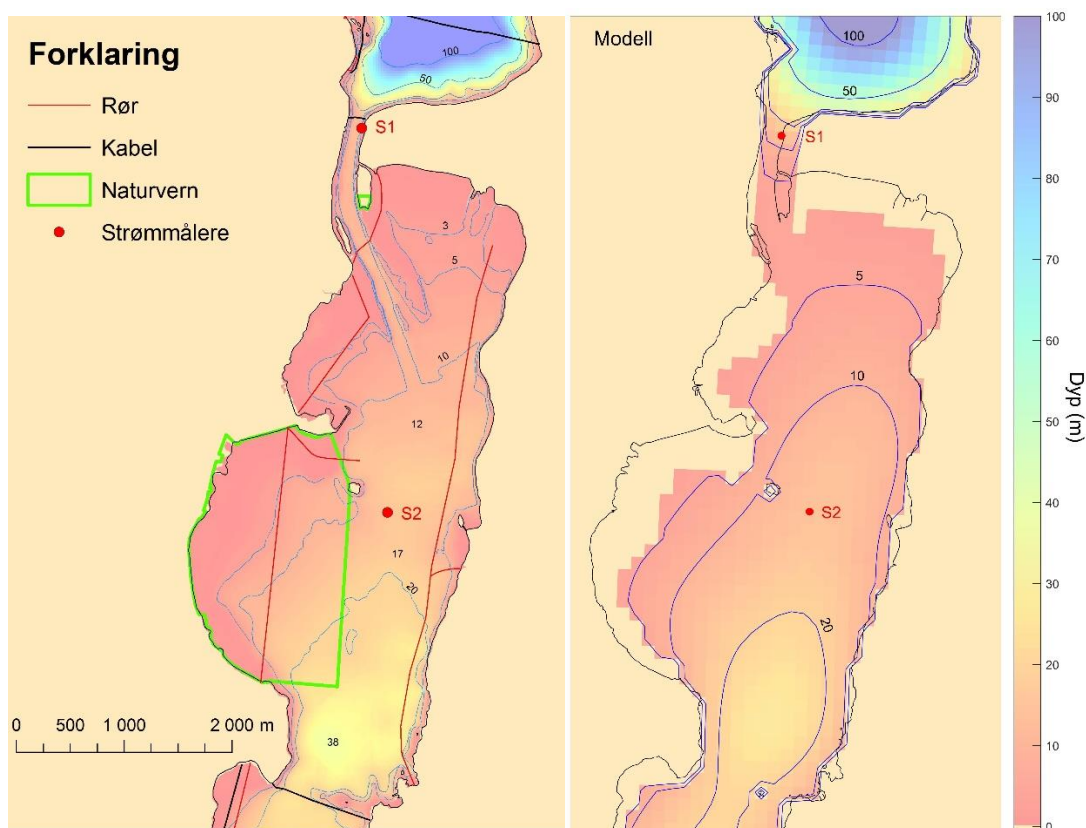
I juni 1995 var det storflom i både Glomma og Drammenselva. I den forbindelse ble saltholdigheten i fjordens overflatelag dokumentert i starten og i etterkant av flommen (Bjerkeng, 1998). Dette gir oss et unikt bilde på hvilke saltholdighetsforhold som kan opptre i fjorden, hvis slike ekstreme flomsituasjoner vil forekomme hyppigere. Disse observasjonene er presentert senere i rapporten, sammen med modellresultater fra FjordOs-modellen hvor det er brukt vannføring fra 1995 som inngangsdata.

3 Havmodellen FjordOs

3.1 Generelt om havmodellering

I en havmodell blir fjorden delt inn i ruter, omtrent som pikslene i et digitalt foto. Hvis modellen blir representert med få store ruter, sier vi at modellen har grov oppløsning. Hvis modellen blir representert av mange små ruter, sier vi at modellen har fin oppløsning. FjordOs-modellen har fin oppløsning, men på grunn av begrensninger i regnekraft, er selv ikke den fine oppløsningen alltid nok for å beskrive strømmen i trange sund.

I Figur 3 er den virkelige topografien i området nær Svelvikstrømmen sammenlignet med den topografien som er lagt inn i FjordOs-modellen. I modellen er det kun tre ruter på tvers av Svelvikstrømmen. Rutene er her 115 m brede som gjør at bredden av Svelvikstrømmen i modellen blir 345 m, mens bredden av det trange sundet i virkeligheten bare er 180 m. Det kan derfor forventes at modellen underestimerer strømstyrken i selve Svelvikstrømmen. Til tross for dette, kan likevel modellen gi en bra beskrivelse av strømforholdene i de områdene hvor fjorden er bredere og modellens oppløsning er tilstrekkelig til å gi en realistisk beskrivelse av topografien.

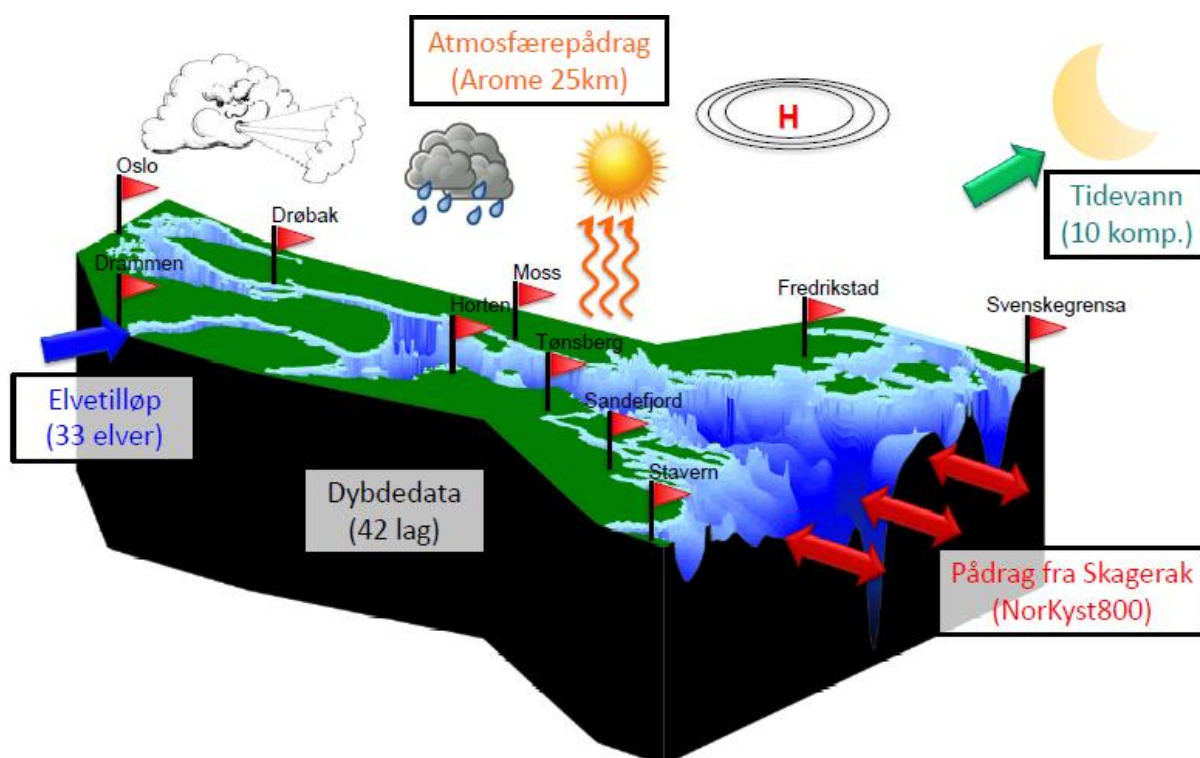


Figur 3. Kart over innløpet til indre Drammensfjorden. Til venstre vises bunntopografien i området. Et naturvernområde, samt kabler og rør er også tegnet inn. Til høyre vises bunntopografien slik den er representert i modellen.

Strømforholdene i en fjord kan ha flere årsaker. Tidevannsbølgene, som forårsakes av variasjon i gravitasjonskreftene fra månen og sola når jorda roterer rundt sin egen akse, er ofte den mest dominerende årsaken der hvor fjorden er trang. Når vannstanden går opp og ned med en periode på

rundt 12 timer, pumpes store mengder vann inn og ut av fjorden, og det settes opp strømmer fra overflaten til bunn. I tillegg har vær og vind, samt elvetilførsel en virkning på strømbildet. De forskjellige naturkreftene som påvirker strømbildet er illustrert i figur 4.

Styrken på tidevannsstrømmen avhenger av om effekten av sola og månen er i fase (springflo) eller i motfase (nippflo). Bortsett fra dette er tidevannsvariasjonene relativt konstante i tid, men vannstandsvariasjonene kan bli betydelig forsterket av meteorologiske forhold. Et eksempel er når kraftige atmosfæriske lavtrykk passerer. Det lave lufttrykket får vannstanden til å stige i tillegg til at vinden kan stue opp vann. Dette fenomenet kalles stormflo. Hvis stormfloen sammenfaller med tidevannsbølgen, vil forskjellen mellom høyvann og lavvann bli uvanlig stor, og det vil også bli uvanlig kraftige strømmer.



Figur 4. Skissen viser hvilke naturkrefter som påvirker strømforholdene i en fjord. Figuren er laget av Karina Hjelmervik.

3.2 Elver i FjordOs-modellen

I kartet i Figur 1 er bare de største elvene i Oslofjorden vist. I FjordOs-modellen er det lagt inn 37 elveutløp (se Tabell 3), hvor vannføringen er basert på størrelsen av nedbørsfeltet, der hvor det ikke fins måledata.

Tabell 3. Liste over elver som er lagt inn i FjordOs-modellen, med størrelse på nedbørsfeltet.

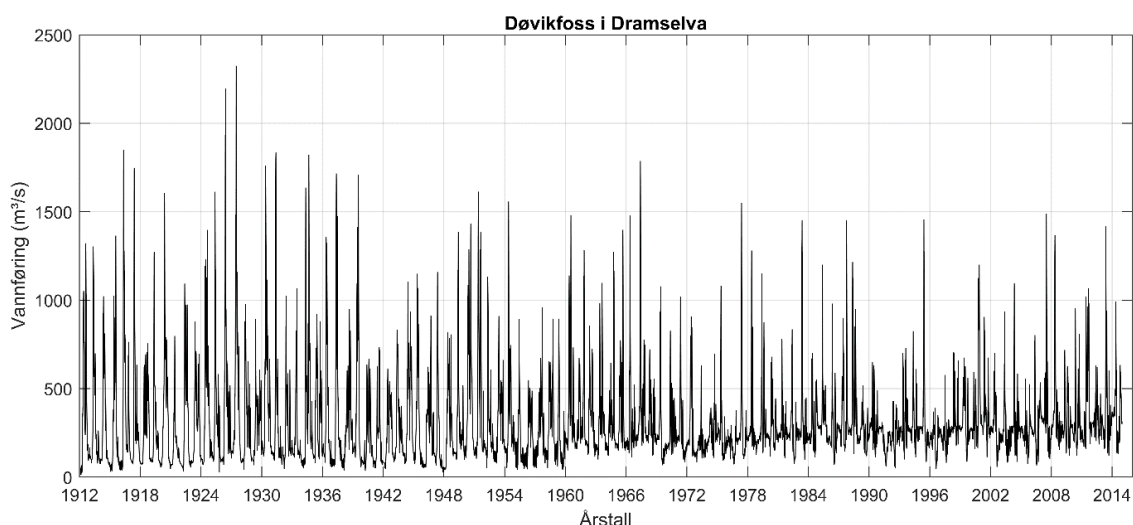
Elv	Nedbørsfelt (km ²)
Haldenvassdraget	2512.0
Glomma-Vesterelva	43119.0
Krokstadbekken	13.9
Heiabekken+Kureåa	25.9
Støvikbekken	7.6
Evjeåa	3.8
Gunnarbybekken	5.6
Mosseelva	688.3
Kambobekken	19.3
Hølenelva	138.5
Gloslibekken	6.9
Årungenelva	51.7
Gjersjøelva	86.0
Ljanselva	39.1
Alna	69.3
Akerselva	237.8
Frognerbekken	23.2
Hoffelva	14.5
Lysakerelva	176.3

Elv	Nedbørsfelt (km ²)
Sanvikselva	227.7
Neselva	21.7
Askerelva	37.6
Nærneselva	2.8
Årosvassdraget	113.0
Sætreelva	19.1
Tofteelva	18.0
Sageneelva	35.5
Lierelva	309.4
Drammenelva	17114.4
Ebbestadelva	8.1
Bergerelva	14.5
Sandobekken	6.6
Selvikelva	29.8
Sandevassdraget	193.2
Borreelva	33.7
Aulivassdraget	1115.0
Numedalslågen	6514.0

4 Vannføring i Drammenselva

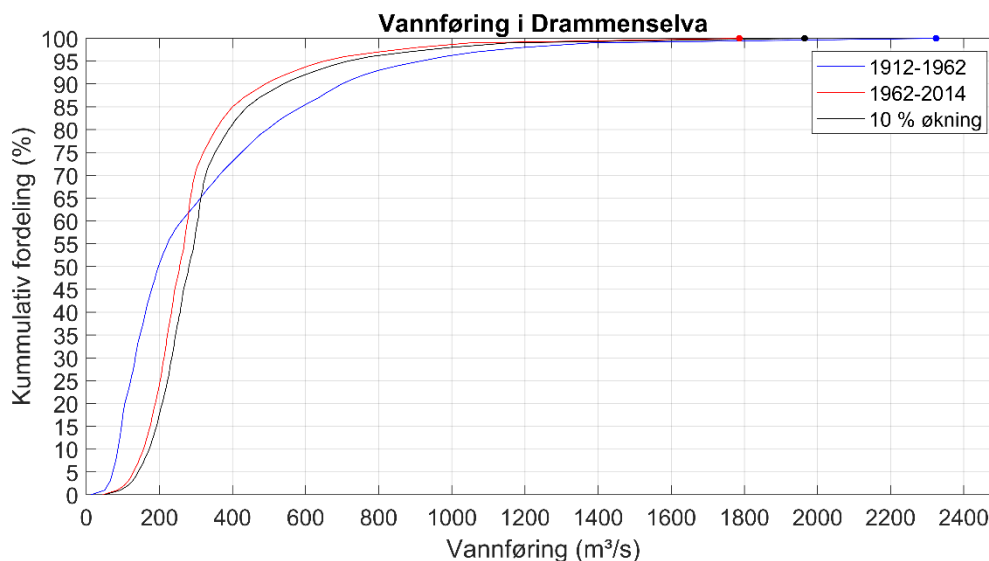
4.1 Historisk tilbakeblikk på vannføringen i Drammenselva

Drammenselva er Norges nest største elv med en gjennomsnittlig vannføring for perioden 1962-2014 på 298 m³/s målt ved Døvikfoss. Maksimal vannføring for den samme perioden var 1786 m³/s. I 90 % av tiden ligger vannføringen mellom 129 og 650 m³/s (mellom 5 og 95 persentil verdien).



Figur 5. Målt vannføring ved Døvikfoss i Drammenselva for perioden 1912 til 2014. Posisjonen til målestasjonen er vist i Tabell 1.

Målt vannføring ved Døvikfoss er vist i Figur 5. Vannføringsregimet har endret seg fra tidligere tider med mindre regulering. I figuren ser det ut til å ha vært en endring i variabiliteten i vannføringen rundt 1960. I perioden 1912-1962 var middel vannføring noe høyere (316 m³/s) og maksimal vannføring var også høyere (2324 m³/s). I 90 % av tiden lå vannføringen mellom 72 og 914 m³/s, så ekstremverdiene har blitt betydelig mindre. Dette er illustrert med den kumulative fordelingen av vannføringen i de to periodene (Figur 6). Endringen i vannføring skyldes at Drammenelva etter ca. 1960 ble regulert. Tidligere hadde det ikke vært vannkraftverk som kunne magasinere store mengder vann. Før 1962 forekommer vannføring på over 1200 m³/s i ca. 2 % av tiden. Etter 1962 forekommer slike høye vannføringer bare i 0,8 % av tiden. I dag så kan vannføringer på over 1200 m³/s forekomme med et par års mellomrom, og ha en varighet på noen dager til en ukes tid.



Figur 6. Den kumulative fordelingen av vannføring i Drammenselva målt ved Døvikfoss. Figuren viser hvor mange prosent (y-aksen) av målingene som ligger under en viss verdi av vannføring (x-aksen). Måleserien er delt inn i to perioder, fra 1912 til 1962 (blå kurve) og fra 1962 til 2014 (rød kurve). I tillegg er det vist en mulig kumulativ fordeling hvis vannføringen i Drammenselva økte med 10 % i et varmere klima (svart kurve).

4.2 Fremtidig ferskvannstilførsel

Flommer i Norge skyldes snøsmelting, langvarig regnvær, intense skybrudd, eller kombinasjoner av disse. I Glomma var det for perioden 1900-2008 ingen trend i vannføringen, men det er store variasjoner mellom år (Hansen-Bauer, 2012). I Drammenselva har det heller ikke vært noen tydelig trend i vannføringen etter at elva ble regulert rundt 1960. Perioder med mye vannføring skyldes relativt mye nedbør. Det har også vært mange regnflommer på Østlandet i de senere årene, og det har vært rapportert en tendens til at økt temperatur fører til at vårflommene kommer noe tidligere (Hansen-Bauer, 2012).

Hansen-Bauer (2012) har beregnet mulig økning i nedbør for Østlandet, hvor perioden 2071-2100 sammenlignes med perioden 1961-1990. Det er beregnet at nedbøren vil øke med 10-20 % mellom disse to periodene, med mest økning på vinteren og minst på sommeren. Økning i fordampning i et mulig varmere klima, vil gjøre at vannføringen i elvene ikke vil øke like mye som nedbøren. Hvis en antar at vannføringen i Drammenselva midlet over året øker med 10 %, så kan en basert på målte data fra 1962-2014 beregne en mulig kumulativ fordeling av forekomst av forskjellige vannføringer. Dette er tegnet opp som en svart kurve i Figur 6. I perioden 1962-2014 forekom vannføring på over 1200 m³/s i 0,8 % av tiden. I et varmere klima kan dette muligens øke til ca. 1 % av tiden. Hvis en tenker seg at en slik flom forekommer hvert tredje år, så betyr denne økningen at varigheten til flommen vil øke fra 9 til 11 dager.







I et fremtidig varmere klima kan altså flommene komme enten noe oftere eller ha lengre varighet. Men økningen vil ikke være stor. Endring av vannføring på grunn av regulering av vassdraget var betydelig større enn en mulig endring på grunn av klimaendringer. Dette viser i hvor stor grad vi i Norge allerede har manipulert naturen, uavhengig av klimaendringer.

5 Saltholdighet i Oslofjorden

5.1 Presentasjon av saltholdighet i forhold til overlevelsestid for lakseparasitten

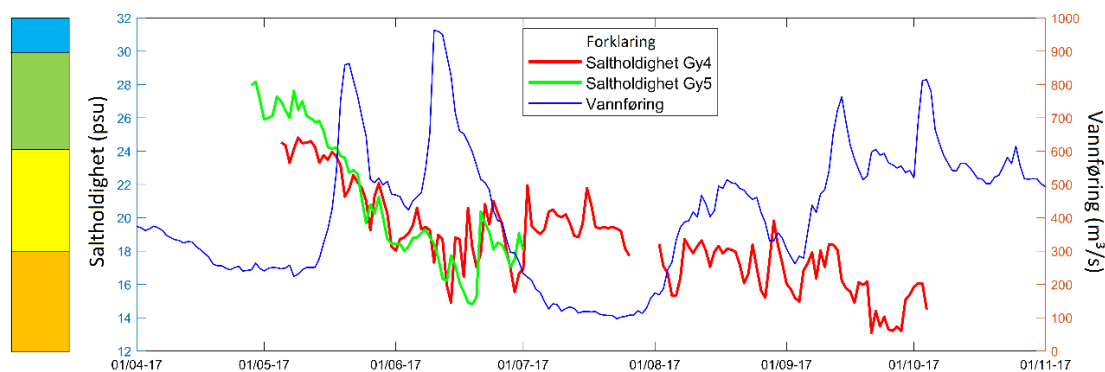
Basert på resultater for overlevelse av *G. salaris* fra Soleng & Bakke (1997) vist i **Feil! Fant ikke referanseilden.**, har det blitt utarbeidet en fargeskala for saltholdighet (Tabell 4). Fargeskalaen går fra blått som angir en saltholdighet hvor parasittene dør nesten med en gang til lilla hvor parasittene trives godt og til og med vokser.

Tabell 4. Fargeskala som angir saltholdighet og overlevelse for *G. salaris* fra Soleng & Bakke (1997).

Farge	Saltholdighet (psu)	Overlevelse ved T=12°C
	30-36	noen minutter
	24-30	et par timer
	18-24	9-12 timer
	12-18	15-24 timer
	6-12	3-33 dager
	0-6	vekst

5.2 Overflatesaltholdighetens respons på endringer i ferskvannstilførsel

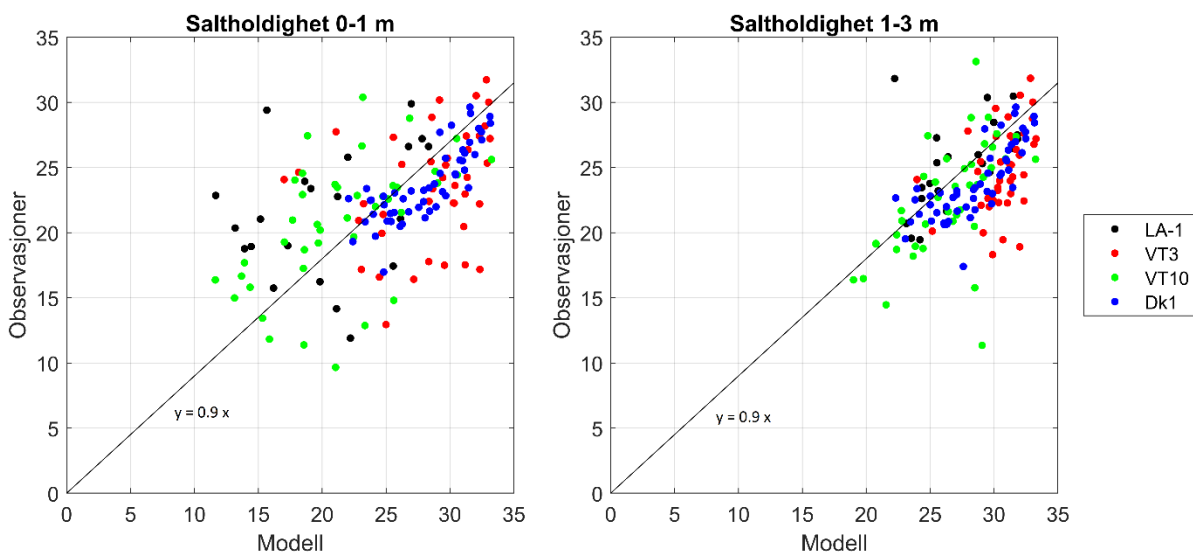
I Figur 7 er målinger fra de kontinuerlige loggerne vist sammen med vannføring i Drammenselva. Plassering av de to posisjonene Gy4 og Gy5 er vist i Figur 1. I starten av mai 2017 lå saltholdigheten i fjorden mellom Jeløya og Slagentangen på 24-28 psu. Fra midten av mai til midten av juni var det høy vannføring i Drammenselva, med to flomtopper. I løpet av denne perioden bygde det seg opp et betydelig ferskvannslag, og saltholdigheten i fjorden lå på 16-20 psu. I en tørrere periode økte saltholdigheten noe igjen. I august økte igjen ferskvannstilførselen og saltholdigheten gikk ned. I slutten av september lå den på 14-16 psu. Til venstre i figuren er fargeskalaen fra Tabell 4 tegnet inn. Disse målingene tyder på at saltholdigheten i fjorden mellom Horten og Slagentangen i perioder kan være så lav at lakseparasitten kan overleve opp til et døgn. Slike forhold er det innimellom i juni 2017 og i en lengre periode utover høsten.



Figur 7. Kontinuerlige målinger av saltholdighet på stasjonene Gy5 Gullholmen (grønn kurve) og Gy4 Slagentangen (rød kurve), sammenlignet med vannføring i Drammenselva (blå kurve).

5.3 Kalibrering av havmodellen

Data fra de fire stasjonene Dk1 (Steilene), VT10 (Breiangen Vest), VT3 (Torbjørnskjær) og LA-1 (Larviksfjorden) har blitt brukt til å kalibrere modellresultatene. Data fra modellen har blitt hentet ut fra disse fire posisjonene, og middelveiden for de to lagene 0-1 m og 1-3 m er beregnet. Observasjonene fra stasjonene er midlet for de samme to lagene. Observasjoner og modellresultater er plottet i Figur 8.



Figur 8. Sammenligning mellom modellert og observert saltholdighet på fire stasjoner i fjorden. Til venstre vises saltholdigheten i laget 0-1 m og til høyre i laget 1-3 m.

Modellresultatene gir generelt en høyere saltholdighet enn det som er observert. De observerte verdiene er omtrent 90 % av det modellresultatene gir. Dette er plottet som svarte linjer i figuren, og disse linjene går omtrent midt igjennom alle punktene. Det er derfor valgt å bruke en kalibreringsfaktor på 0,9, som modellresultatene blir multiplisert med.

$$S_{kalibrert} = 0,9 \cdot S_{modell} \quad (1)$$

Når formelen (1) benyttes på modellresultatene, kan den gjennomsnittlige feilen beregnes

$$\Delta S_{feil} = \sqrt{(S_{kalibrert} - S_{observert})^2} \quad (2)$$

Ut ifra ligning (2) kan de kalibrete modellresultatene estimere saltholdigheten i den øverste meteren med en feil på 4,6 psu i gjennomsnitt og i laget fra 1-3 m med 3,4 psu i gjennomsnitt. Disse feilestimatene kan virke høye, men det er svært stor variasjon i saltholdighet i overflatelaget, omtrent fra 10 til 30 psu. Dette feilestimatet er basert på at modellen skal gi den riktige saltholdigheten på en gitt dag og på et gitt sted i fjorden.

Modellen er mer nøyaktig hvis en ser på statistiske parametere. I Tabell 5 er gjennomsnittsverdi, standardavvik og 10 prosentilverdien beregnet for både estimert og observert saltholdighet i overflatelaget (0-3 m) for de fire stasjonene Dk1, VT10, VT3 og LA-1. Gjennomsnittsverdien angir det generelle nivået til saltholdigheten, mens standardavviket angir hvor mye variasjon det er rundt denne verdien. 10 prosentilverdien angir den saltholdigheten hvor nivået vil ligge under i 10 % av tilfellene. Dette er altså noen av de laveste saltholdighetsnivåene som vil være på stasjonen, og dette er derfor en viktig parameter når en skal vurdere overlevelse til lakseparasitten. I snitt så har de kalibrerte modellresultatene en nøyaktighet på 0,5 psu for det generelle saltholdighetsnivået og en nøyaktighet på 0,2 psu for variasjon rundt dette nivået. Modellen estimerer de laveste saltholdighetsverdiene med en nøyaktighet på 0,5 psu.

Tabell 5. Statistiske parametere for fire stasjoner i fjorden. Feilestimat for disse parametere er beregnet ved å bruke formel (2). Enhetene er psu.

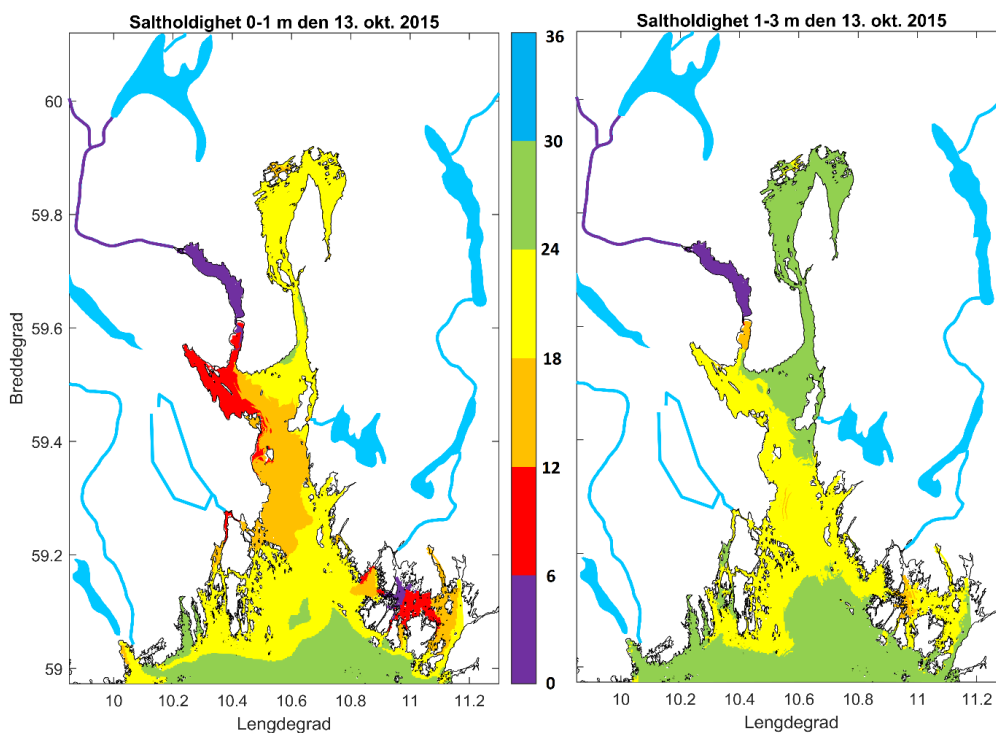
Stasjon	Gjennomsnittsverdi		Standardavvik		10 prosentilverdien	
	Estimat	Observasjon	Estimat	Observasjon	Estimat	Observasjon
Dk1	25.45	23.80	2.72	2.81	21.09	20.25
VT10	21.48	21.59	4.52	4.75	12.76	12.45
VT3	26.57	24.16	3.03	3.93	20.68	17.17
LA-1	21.27	23.43	4.99	4.63	12.27	15.11
Feilestimat	0.45		0.22		0.46	

5.4 Saltholdigheten i fjorden etter flomepisoder

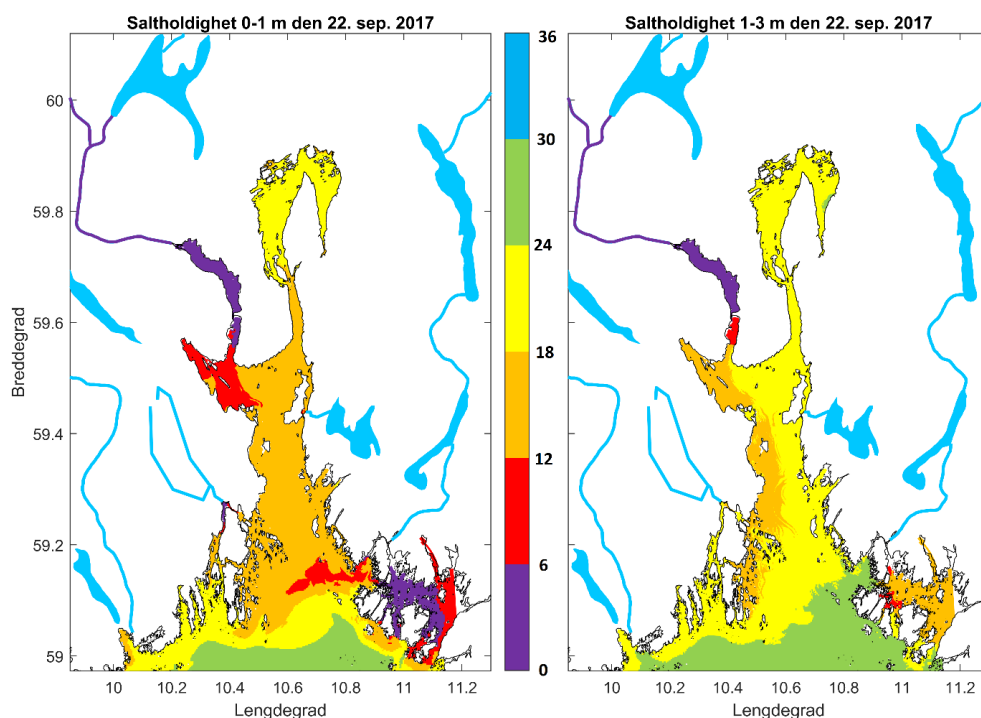
Resultater fra FjordOs-modellen har blitt kalibrert etter formel (1). Modellen har blitt kjørt for perioden 2015-2018, og i dette delkapitlet har det blitt plukket ut episoder når saltholdigheten var lavest. Den første episoden som er plukket ut er fra oktober 2015. I denne situasjonen hadde det i forkant vært stor vannføring til fjorden i forbindelse med uværet Petra. I Figur 9 vises kalibret saltholdighet fra overflaten (0-1 m) og fra laget rett under (1-3 m). I en slik situasjon som vist i Figur 9 vil det være en korridor med saltholdighet lavere enn 18 psu fra Drammenelva og til utløpet av Aulivassdraget i den øverste meteren. I laget fra 1 til 3 m, er det høyere saltholdighet. I området fra vestre del av Breiangen og helt ned til Tjøme er saltholdigheten 18-24 psu.

Selv om Petra var et såkalt ekstremvær², så vil det være lignende saltholdighetsforhold noen ganger i året. I Figur 10 er det vist en situasjon fra september 2017, hvor saltholdigheten var enda lavere enn etter Petra. I forkant av denne situasjonen hadde det vært høy vannføring uten at dette kan knyttes til en bestemt navngitt storm. På strekningen fra Rødtangen til Tønsberg var saltholdighetene under 18 psu også i dybdeintervallet 1-3 m.

² https://no.wikipedia.org/wiki/Liste_over_ekstremvær_i_Norge



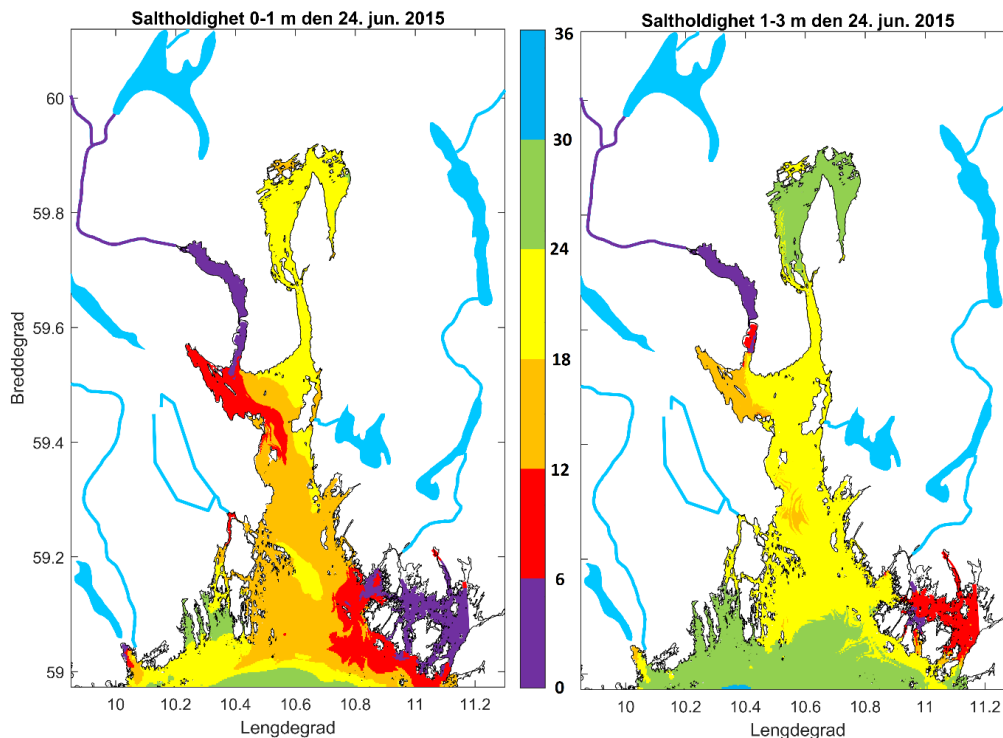
Figur 9. Saltholdigheten i fjorden 13. oktober 2015, basert på kalibrerte modellresultater fra FjordOs-modellen. Kartet til venstre viser saltholdigheten i den øverste meteren, mens kartet til høyre viser verdiene i dybdeintervallet 1-3 m. Drammenselva er farget lilla for å markere at det fins *G. salaris* i denne elva.



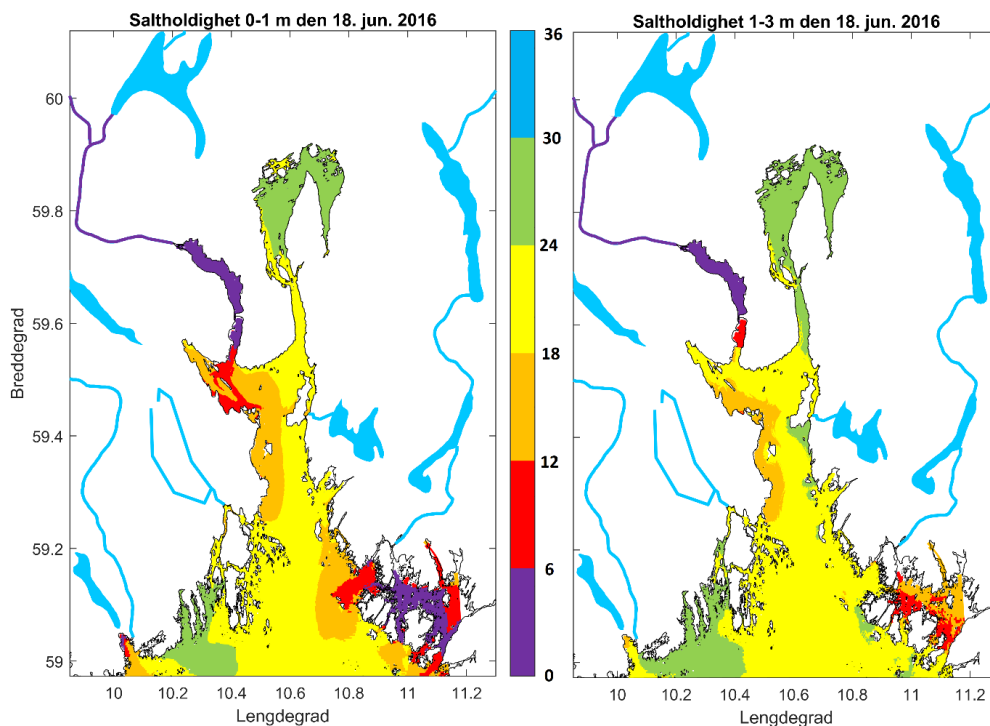
Figur 10. Saltholdigheten i fjorden 22. september 2017, basert på kalibrerte modellresultater fra FjordOs-modellen. Kartet til venstre viser saltholdigheten i den øverste meteren, mens kartet til høyre viser verdiene i dybdeintervallet 1-3 m.

De to episodene som er vist, er fra høsten. Det kan også være lave saltholdighetsforhold andre tider på året. I juni forekommer det typisk episoder med høy vannføring i elvene som resultat av snøsmelting. I Figur 11, Figur 12 og Figur 13 vises situasjonsbilder fra perioden med lavest saltholdighet fra årene 2015, 2016 og 2017. Dette viser at det kan forventes slike saltholdighetsforhold i kortere perioder hvert år. Av disse tre somrene var det lavest saltholdighetsforhold i juni 2017 (Figur 13), hvor det nesten var en korridor med saltholdighet i intervallet 12-18 psu fra Drammen og til Hvaler.

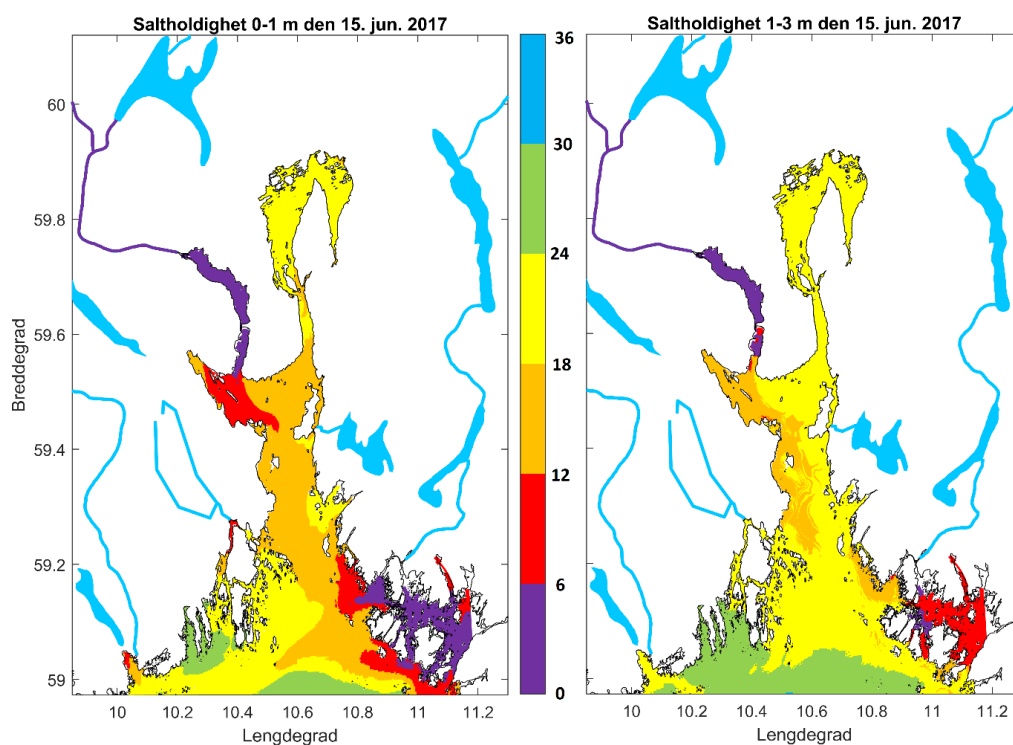
I alle de fem episodene som er vist, er det i den øverste meteren saltholdighet under 12 psu fra Drammen til Horten. I slike forhold tyder resultatene fra Soleng & Bakke (1997) på at parasitten kan overleve i flere døgn. Det er derfor store muligheter for at laks som vandrer ut fra Drammenselva etter en flomepisode, vil ha levende parasitter på seg når de befinner seg ved Horten. Derfra er det omtrent 28 km til Aulivassdragets utløp. Hvis fisken oppholder seg i den øverste meteren, er det etter flomepisoder sannsynlig at parasittene kan overleve opp til et døgn på denne strekningen. Med en svømmehastighet på en kroppslengde per sekund, kan fisken tilbakelegge denne distansen i løpet av denne tiden, gitt at de er 30 cm lange. Det kan derfor ikke utelukkes at parasitten overlever på denne strekningen. Hvis fisken vandrer opp i Aulivassdraget, vil parasitten igjen få gode vekstforhold .



Figur 11. Saltholdigheten i fjorden 24. juni r 2015, basert på kalibrerte modellresultater fra FjordOs-modellen. Kartet til venstre viser saltholdigheten i den øverste meteren, mens kartet til høyre viser verdiene i dybdeintervallet 1-3 m.



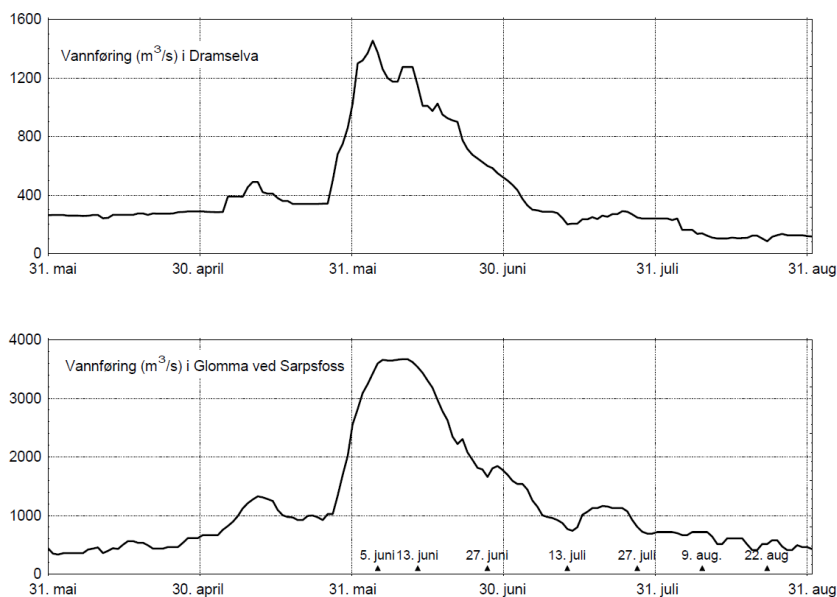
Figur 12. Saltholdigheten i fjorden 18. juni 2016, basert på kalibrerte modellresultater fra FjordOs-modellen. Kartet til venstre viser saltholdigheten i den øverste meteren, mens kartet til høyre viser verdiene i dybdeintervallet 1-3 m.



Figur 13. Saltholdigheten i fjorden 15. Juni 2017, basert på kalibrerte modellresultater fra FjordOs-modellen. Kartet til venstre viser saltholdigheten i den øverste meteren, mens kartet til høyre viser verdiene i dybdeintervallet 1-3 m.

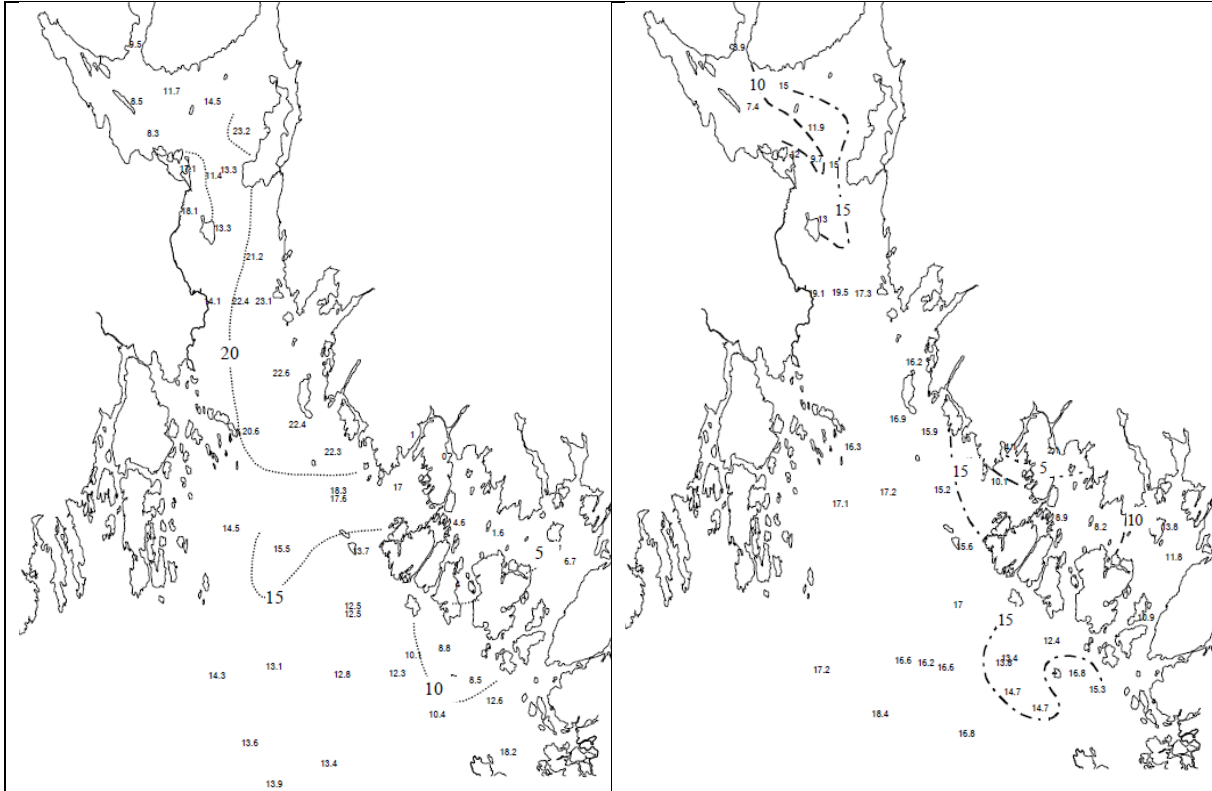
5.5 Saltholdigheten i en ekstrem situasjon

I juni 1995 var det storflom i Glomma, og i denne flomepisoden var vannføringen i Glomma på over 3500 m³/s, som er den høyeste som har blitt målt i denne elva i perioden 1964-2015. Vannføringen i Drammenselva på over 1400 m³/s var også svært høy, og forekommer kun i 0,5 % av tiden i perioden 1964-2014. Målt vannføring i de to elvene sommeren 1995 er vist i Figur 14, og Oslofjorden fikk i denne episoden en svært stor tilførsel av ferskvann. Her skal vi se på hva denne ekstremisituasjon gjør for saltholdighetsforholdene i fjorden, og for mulig overlevelse av *G. Salaris*.



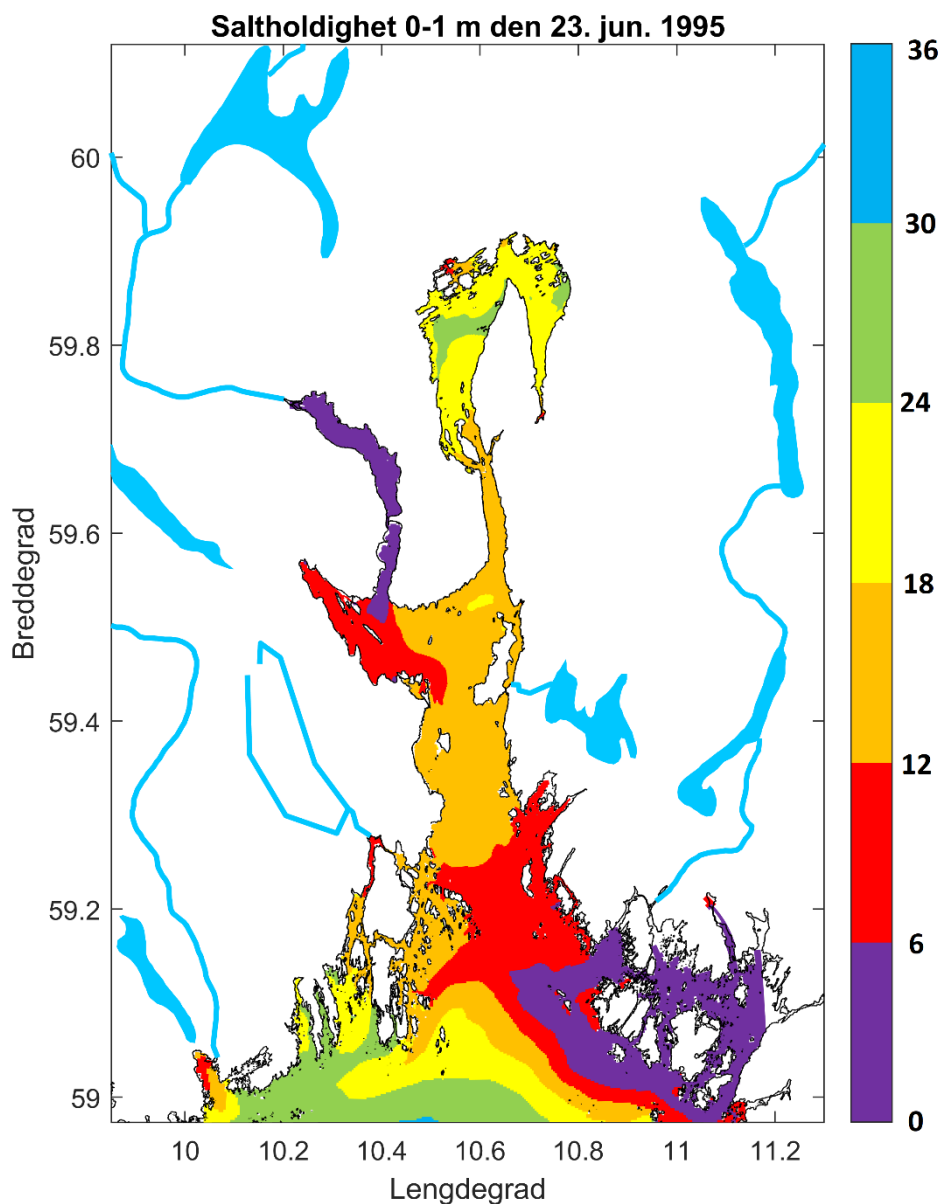
Figur 14. Målt vannføring i Drammenselva (øverst) og i Glomma (nederst) under storflommen i 1995. Figuren er hentet fra Bjerkeng (1998).

I forbindelse med denne flomepisoden ble saltholdighetsforholdene i fjorden observert ved to anledninger. I Figur 15 er saltholdigheten i fjorden i starten og i slutten av flomperioden vist. I midten av juni 1995 var det mest sannsynlig en korridor fra Drammenselva til Aulivassdraget hvor saltholdigheten var under 15 psu. I slutten av juni var den høyeste saltholdigheten mellom Drammenselva og Aulivassdraget ca. 19 psu målt ved Slagentangen. Slike saltholdighetsforhold forekommer ganske ofte, slik som vist i figurene i forrige delkapittel. En vannføring i Drammenselva på 1200-1400 m³/s er også noe som kan forekomme ganske ofte. Derfor vil ikke nødvendigvis en flomepisode som den i 1995 føre til større sannsynlighet for å overføre parasitten fra Drammenselva til Aulivassdraget.



Figur 15. Til venstre vises målt saltholdighet i overflatelaget 13-14. juni 1995. Til høyre vises saltholdigheten den 27-28. juni 1995. Figurene er hentet fra Bjerkeng (1998).

FjordOs-modellen har blitt kjørt med vannføring i Drammenselva og Glomma fra 1995. De laveste saltholdighetsforholdene som forekommer i denne modellkjøringen er vist i Figur 16. Igjen ser vi at saltholdigheten mellom Horten og Bolærne ikke er spesielt lavere enn det som kan forekomme hvert år. I Hvaler og i østre del av fjorden er derimot saltholdigheten svært lav. Hvis laksefisk vandrer mellom elvene i Hvaler og til omtrent midt i ytre Oslofjord, så ville lakseparasittene mest sannsynlig overleve, siden saltholdigheten er under 6 psu (lilla farge på kartet). Det er også stor sannsynlighet for at parasitter ville overleve på fisk hvis de hadde vandret mellom Glomma og Aulivassdraget eller motsatt.



Figur 16. Saltholdigheten i fjorden etter storflommen i 1995, basert på kalibrerte modellresultater fra FjordOs-modellen.

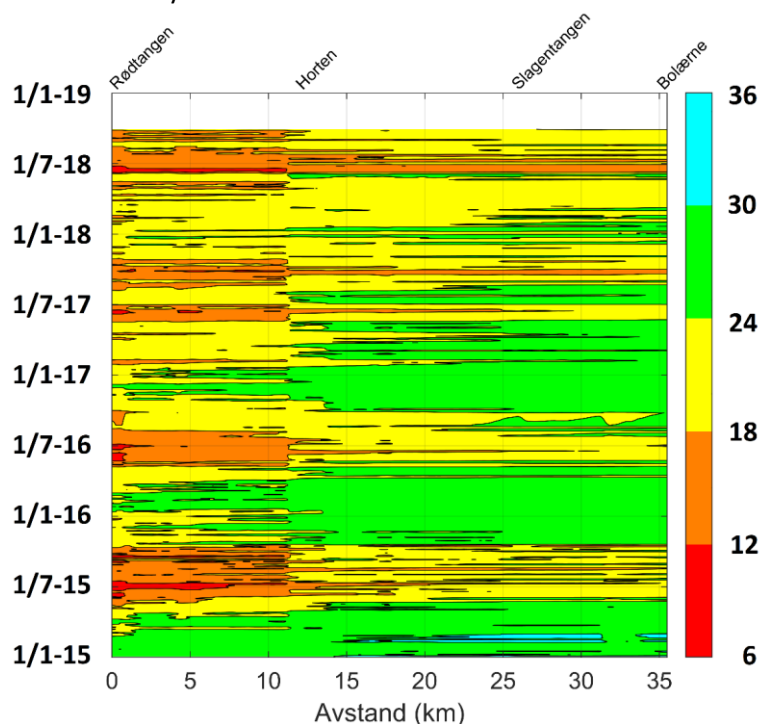
6 Analyse av mulig saltholdighetsvariasjon mellom elveutløp

6.1 Metode

I kapittel 5 ble det vist en rekke øyeblikksbilder av hvor lave saltholdighet kan være i fjorden. Her vil vi se på hvor ofte episoder med lav saltholdighet forekommer. To strekninger i fjorden har blitt analysert:

1. Strekningen fra Drammensfjorden munning ved Rødtangen til Bolærne hvor det er tilgang til Aulivassdragets utløp.
2. Strekningen fra Tønsbergfjorden hvor det også er tilgang til Aulivassdragets utløp og til Larviksfjorden, hvor Numedalslågen renner ut.

Den laveste saltholdigheten på tvers av fjorden på disse strekningene har blitt plukket ut, og plottet som konturplott med avstand på x-aksen og tidsforløpet på y-aksen (Figur 17). Det er blitt brukt kalibrerte modellresultater fra dybdeintervallet 1-3 m.



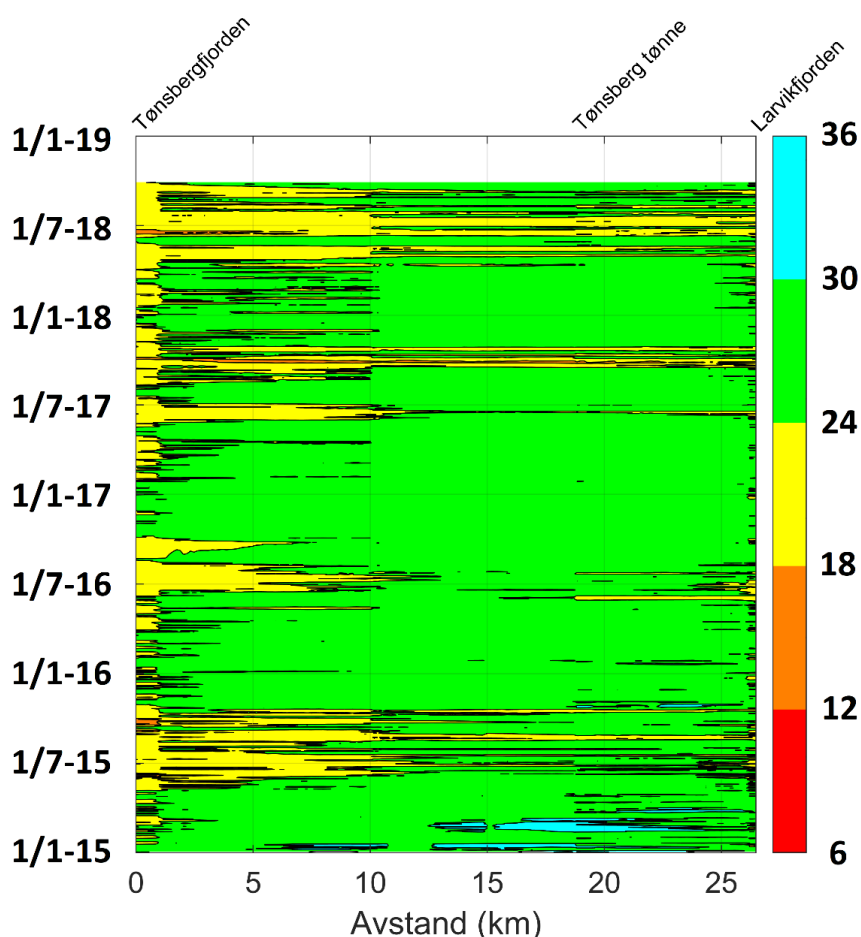
Figur 17. Minste saltholdighet på tvers av Oslofjorden i dybdeintervallet 1-3 m. Fargeskalaen angir saltholdighet i psu. På x-aksen vises avstanden fra Rødtangen til Bolærne. På y-aksen vises datoen fra 2015 til 2018.

6.2 Resultat

Figur 17 viser minste saltholdighet på tvers av fjorden i dybdeintervallet 1-3 m, fra Rødtangen til Bolærne. I den øverste meteren er saltholdigheten lavere, men det er valgt å bruke intervallet 1-3 m. På denne strekningen kan det i enkelte år være perioder med to til tre ukers varighet hvor saltholdigheten ligger mellom 12 og 18 psu. Lakseparasitter *G. salaris* som sitter på vandrende laks,

kan da overleve fra et halvt til over to døgn. Dette betyr at det er en liten mulighet for *G.salaris* overføres fra Drammenselva til Aulivassdraget, selv om sannsynligheten for at dette skjer er svært liten. Hvis klimaet endrer seg og vannføringen i Drammenselva øker med 10 %, slik som vist i som en svart kurve i Figur 6, så vil varigheten av perioder med vannføring på over 1200 m³/s muligens øke med omtrent 20 % (fra forekomst i 0,8 % av tiden til 1,0 % av tiden). Det vil si at perioden hvor det er en viss sannsynlighet for at parasitter overlever kan bli noen dager lengre. En slik mulig økning i vannføring vil kanskje bli en realitet, hvis en ser 50 år fram i tid.

På strekningen fra Tønsbergfjorden til Larviksfjorden kan det i perioder med varighet opp mot to uker være en saltholdighet ned mot 18 psu, men saltholdigheten vil være høyere enn 24 psu mesteparten av tiden (Figur 18). Det er derfor usannsynlig at lakseparasittene eventuelt kunne overføres fra Aulivassdraget til Numedalslågen. Området mellom Tønsberg og Larvik kan betraktes som en saltholdighetsbarriere.



Figur 18. Minste saltholdighet på tvers av Oslofjorden i dybdeintervallet 1-3 m. Fargeskalaen angir saltholdighet i psu. På x-aksen vises avstanden fra Rødtangen til Bolærne. På y-aksen vises datoen fra 2015 til 2018.

7 Diskusjon

7.1 Er fjorden en effektiv saltholdighetsbarriere?

Tidligere har det blitt antatt at saltholdigheten i Breianger er så høy at det er liten risiko for at lakseparasitten transporteres fra Drammenselva og til elver lenger sør. Den vurderingen av saltholdigheten i Oslofjorden som er gjort i denne rapporten, viser at saltholdigheten periodevis er så lav at en del lakseparasitter mest sannsynlig overlever på vandrende laks fra Drammenselva og helt ned til området rundt Horten. Slike perioder forekommer gjerne i juni og utover høsten. Dette er perioder hvor laksesmolt og vinterstøinger (gytelaks som overvintrer i elva etter gyting) er på vandring ut fjorden (Haugen m fl 2023).

Laks som skal nå Aulivassdragets munning må passere strekningen fra Horten til Bolærne, og det er en teoretisk mulighet for at lakseparasittene overlever, hvis laksen ikke vandrer for dypt, svømmer direkte og ikke tar avstikkere, samt at den er stor nok slik at farten er tilstrekkelig. Fisken må nok være opp mot 30 cm lang hvis den skal klare denne strekningen på et døgn med en fart på en kroppslengde per sekund. Simuleringene i Haugen mfl. (2023) viser at seint utvandrende simulerte smolt i 2018 hadde individer som bar med seg parasitten forbi Bolærne. Det gjaldt smolt både fra Drammenselva, Lierelva og Sandeelva.

Basert på modellert saltholdighet er det usannsynlig at lakseparasittene eventuelt kan overføres fra Aulivassdraget til Numedalslågen. Området mellom Tønsberg og Larvik kan derfor betraktes som en saltholdighetsbarriere slik situasjonen er nå.

7.2 Hvordan vil mulige endringer av klima kunne påvirke?

Under storflommen i 1995 var det ekstremt mye vann i Glomma. Vannføringen i Drammenelva var også høy, men ikke høyere enn at slike vannføringer kan opptre med en til to års mellomrom. Slike episoder som i 1995 vil derfor først og fremst øke risikoen for overføring av parasitten på tvers av fjorden.

I et varmere klima med 10 % høyere vannføring i Drammenselva, så kan muligens risikoen for å overføre parasitten fra Drammenselva og sørover øke noe. Det er lite sannsynlig at et varmere klima vil føre til økt risiko for å overføre parasitten fra Aulivassdraget, om den skulle komme hit, og sørover til Numedalslågen.

8 Referanser

- Artsdatabanken (2012) Faktaark *Gyrodactylus salaris*, Artsdatabanken faktaark ISSN 1504-9140 nr. 217, 3 sider.
- Gaarder, T. (1916) De vestlandske fjordes hydrografi. I: Surstoffet i fjordene. Meddelelse nr. 47 fra Bergens Museums Biologiske Station. 200 sider.
- Haugen, T. O., Christensen, G. J., Jenny, Hawley, K., Gjerde, K. & Staalstrøm, A. (2023). Kombinering av akustisk telemetridata fra laks og sjøørret og hydrodynamisk modeller til estimering av spredningsrisiko av *Gyrodactylus salaris* fra Drammensfjorden og Sandebukta til områder sør for antatt saltbarriere. NMBU-MINA- fagrapport XX, X s. *Under ferdigstillelse*.
- Mo, T.A., Museth, J., Bremset, G. & Finstad, B. 2018. Har laksunger opphold i Drammensfjorden og i områder utenfor elvemunningene? NINA Rapport 1450. Norsk institutt for naturforskning. 30 sider.
- Solheim, W. S. & Bjørnstad, A. B. (2015) Risiko for spredning av *Gyrodactylus salaris* i Oslofjorden, Vestfold fylkeskommune, 12. januar 2015, 33 sider.
- Soleng, A. & Bakke T. A. (1997) Salinity tolerance of *Gyrodactylus salaris* (Platyhelminthes, Monogenea): laboratory studies, Can. J. Fish. Aquat. Sci., 54, 1837-1845.
- Lundsør, B. & Bechmann, P. (2018) Miljøovervåkning i indre Oslofjord 2018, Vedleggsrapport. Norconsult Rapport, Dokumentnr. 5145099-11. 79 sider.
- Walday, M. et al. (2019, in press.) Overvåking av Ytre Oslofjord i 2011-2018 5-årsrapport. NIVA Rapport. 105 sider.
- Fagerli, C. W., Tranum, H. C., Staalstrøm, A., Eikrem, W., Gitmark, J., Marty, S. & Søresen, K. (2019) ØKOKYST – delprogram Skagerrak, Årsrapport 2018. NIVA Rapport 7384-2019. M1336. 113 sider.
- Bjerkeng, B. (1998) Vannkvaliteten i ytre Oslofjord ved storflommen i Glomma og Dramselva våren 1995. NIVA Rapport 3869-98. Overvåkningsrapport nr. 723/98. TA-1518/98. 105 sider.
- Faafeng, B., Berge, J. A., Bjerkeng, B., Helland, A., Holtan, G., Kjellberg, G., Källqvist, T. S., Moy, F., Skulberg, O. M., Sørensen, K., Walday, M. (1996) Flommen på Østlandet våren 1995, Sammenstilling av NIVAs undersøkelser med spesiell vekt på måleprogrammet i Glomma og Vorma. NIVA Rapport 3480-96. 80 sider.
- Røed, L. P., Kristensen, N. M., Staalstrøm, A. & Hjelmervik, K. B. (2016) A high-resolution, curvilinear ROMS model for the Oslofjord. MET Report no. 4/2016, Norwegian Meteorological Institute, Norway
- Hansen-Bauer, I. (2012) Klima i det 21. århundre i sydøstlige Norge med fokus på kystområdene, HiT Skrift 6/2012, Länsstyrelsen i Västra Götalands län, rapport 2012:81, www.havmoterland.se. 52 sider.
- Mattilsynet og Miljødirektoratet 2014, Handlingsplan mot lakseparasitten *Gyrodactylus salaris* for perioden 2014-2016.

- Direktoratet for naturforvaltning (DN)(2008). Evaluering av bekjempelsesmetoder for *Gyrodactylus salaris*. Rapport fra ekspertgruppen, Utredning 2008-7.
- NINA, 2008: Evaluering av metodikk for bekjempelse av *Gyrodactylus salaris*. Brev til DN, 01.07.2008.
- DN og Mattilsynet(2014), Kart over infisert område for *Gyrodactylus salaris*,06/2014
- Mattilsynets rapport fra overvåkings- og kartleggingsprogram juni-juli 2014
- Klima- og miljødepartementet, Om opprettelse av nasjonale laksevassdrag og laksefjorder, St.prp 79 (2001-2002)
- Berge, J. A., Konieczny, R. og Magnusson, J.,1989. Beskrivelse av strøm og temperatur i Ytre Oslofjord i forbindelse med utslipp av kjølevann fra gasskraftverk. NIVA rapport 2258-1989.
- Walday, M., Gitmark, J. Naustvoll, L. J., Norling, K.,Selvik, J. R. og Sørensen, K. (2012) Overvåking av Ytre Oslofjord i 2007-2011. 5-års rapport. NIVA rapport 6352-2012.
- Albretsen, J., Sperrevik, A. K., Staalstrøm, A., Sandvik, A. D., Vikebø, F. og Asplin, L. (2011) NorKyst-800 Report No. 1. User Manual and technical descriptions, Fisken og Havet, nr. 2/2011.
- J. Tengdelius Brunell, 2012, SMHI. HOME Vatten for Yttre Oslofjorden, rapport nr. 2012-21.
- J. T. Brunell, E. Marmefelt,2012, (SMHI). Et integrerat modellsystem för yttre Oslofjorden og dess avrinningsområde. Rapport från Hav møter land 2012:56
- Hytterød S, Lie Linaker M, Hansen H, Mo TA, Tavoranpanich S. The surveillance programme for *Gyrodactylus salaris* in Atlantic salmon and rainbow trout in Norway. Surveillance programmes for terrestrial and aquatic animals in Norway. Annual report 2013. Oslo: Norwegian Veterinary Institute 2014.
- Brun og Høgåsen 2003. *Gyrodactylus salaris* i Drammensvassdraget: Risiko for spredning til nye elver via migrasjon av laks. Rapport Veterinærinstituttet.
- Vitenskapskomiteen for mattrygghet (VKM), 2005, Vurdering av risiko for spredning av *Gyrodactylus salaris* knyttet til ulike potensielle smitteveier, Uttalelse fra faggruppe 05/804-8 endelig.
- P. A. Jansen, H. R. Høgåsen, E. Brun, 2005. En vurdering av risiko for spredning av *Gyrodactylus salaris* knyttet til ulike potensielle smitteveier. Rapport Veterinærinstituttet, 20.05.2005.
- Miljødirektoratet (2014) FNs klimapanel femte hovedrapport, Faktaark.M254/2014.
- Inger Hanssen-Bauer, HiT/MET(2012). Klima I det 21. Århundre I sydøstlige Norge med focus på kystområdene. Rapport fra Hav møter land, 2012 -81,
- H.A. Urke, J. Koksvik, J.V Arnekleiv, K. Hindar, F. Kroglund, T. Kristensen, 2009. Seawater tolerance in Atlantic salmon, *Salmo salar L.*, brown trout, *Salmo trutta L.*, and *S. salar* x *S. trutta* hybrids smolt. Fish Physiol Biochem, 2009.
- NRK Distriktsnyheter 2004, Sandeelva infisert; www.nrk.no/nyheter/distrikt

Lensstyrelsen i Vestra Götelands len, Sverige(2013), Hav møter land; Tre år i Kattegat og Skagerrak, 2013;81

Robinson Hordoir, Germa Väli og Karin Borenäs, SMHI, Hav møter land; Framtidens Kattegat og Skagerrak- temperatur, salt og havsvattenstand. En havsmodell for klimamodellering, 2013; rapportnr 2013:75.

Norges offentlige utredninger (NOU) 1999: 9, Til laks åt alle kan ingen gjera? 1999.

Soleng, A. 1993. Atlantisk laks (*Salmo salar* L.) og *Gyrodactylus salaris* Malmberg, 1957 (Platyhelminthes, Monogenea): Laboratorieundersøkelse over parasittens salinitetstoleranse og smolts mottakelighet for infeksjon i ferskvann. Cand. Scient.- oppgave, Universitetet i Oslo.

Urke, H. A., T. Kristensen, J. V. Arnekleiv, T. O. Haugen, G. Kjærstad, S. O. Stefansson, L. O. E. Ebbesson, and T. O. Nilsen. 2013. Seawater tolerance and post smolt migration of wild Atlantic salmon x brown trout hybrid smolts *Journal of Fish Biology* 82:206-227.

M. Walday, J. Gitmark, L. Naustvoll (HI), K. Norling. Overvåking av ytre Oslofjord 2013. Årsrapport. NIVA, Nr 6680-2014.

Haugen, T. O, Jansen, P. A., Staalstrøm, A., Viljugrein. H., Kristensen, T., Daae, K.L, Molvær, J. Nilsen, T.O., Arnekleiv, J.V. og Urke, H. A. 2014. «GyroSim:Sannsynlighet for spredning av *Gyrodactylus salaris*: Kobling av 3D sirkulasjonsmodell og biologisk smittespredningsmodell «. INAQ AS Rapport til Miljødirektoratet. 38 sider.

Hjelmervik, K., Kristensen, N. M., Røed, L. P. & Staalstrøm, A. (2017, June) Evaluation of the FjordOs-model. ISSN2387-4201, MET-report(11/2017)

Røed, L. P., Kristensen, N. M., Hjelmervik, K. & Staalstrøm, A. (2016, July) A high-resolution, curvilinear ROMS model for the Oslofjord. ISSN2387-4201, MET-report(04/2016)

Vedlegg A. Saltholdighet i overflatelaget

Det er av interesse å se hva saltholdigheten er i snitt for de øverste meterne av vannsøylen. Her beskrives metodikk for å beregne saltholdigheten midlet over hhv. de øverste 2, 5 og 10 meterne. Vi innfører operatoren under for dette formålet

$$\langle S \rangle_H = \frac{1}{H} \int_{-H}^0 S(z) dz \quad (\text{A1})$$

Her er S saltholdigheten som funksjon av dypet z , som er positiv oppover. H er det dypet det skal midles fra.

Når saltholdigheten er målt med CTD sonde så betegnes det her med en hevet «o» for «observert», og når saltholdigheten er beregnet med havmodellen så betegnes dette med en hevet «m» for «modellert». I tillegg til dette vil vi estimere saltholdigheten basert på lineær regresjon mellom observerte og modellerte verdier. Dette vil betegnes med en hevet «e» for «estimert». Vi har derfor disse tre betegnelsene:

S^o	Observert saltholdighet fra CTD sonde
S^m	Modellert saltholdighet fra havmodell
S^e	Estimert saltholdighet fra lineær regresjon

For observerte saltholdighet fra CTD sonde er det under bearbeidelse av rådata beregnet middelverdier fra hver meter, hvor verdien i 0 m er midlet over den øverste halve meteren (fra 0 til 0,5 m dyp). Verdien i 1 m dyp er midlet over dybdeintervallet fra 0,5 til 1,5 m, og så videre nedover i dypet. For å vise hvilket dyp den observerte verdien gjelder for er dette betegnet med en senket verdi, slik at S_z^o er den observerte saltholdigheten i dypet z . Saltholdigheten midlet over hhv. de øverste 2, 5 og 10 meterne basert på CTD målinger beregnes derfor på følgende måte

$$\langle S^o \rangle_2 = \frac{1}{4} (S_0^o + 2S_1^o + S_2^o) \quad (\text{A2})$$

$$\langle S^o \rangle_5 = \frac{1}{10} (S_0^o + 2\sum_{z=1}^4 S_z^o + S_5^o) \quad (\text{A3})$$

$$\langle S^o \rangle_{10} = \frac{1}{20} (S_0^o + 2\sum_{z=1}^9 S_z^o + S_{10}^o) \quad (\text{A4})$$

Når data hentes fra databaser kan det hende at det bare er lagret data for noen standarddyp, som typisk er 0, 2, 5 og 10 m. Noen ganger mangler data fra 2 m. For middelverdien over de to øverste meterne bør det være data tilgjengelig fra 2 m. Hvis data er tilgjengelig på 0, 2, 5 og 10 m kan A2-A4 skrives

$$\langle S^o \rangle_2 = \frac{1}{2} (S_0^o + S_2^o) \quad (\text{A5})$$

$$\langle S^o \rangle_5 = \frac{2}{10} S_0^o + \frac{5}{10} S_2^o + \frac{3}{10} S_5^o \quad (\text{A6})$$

$$\langle S^o \rangle_{10} = \frac{2}{10} S_0^o + \frac{5}{10} S_2^o + \frac{8}{10} S_5^o + \frac{5}{20} S_{10}^o \quad (\text{A7})$$

Hvis data er tilgjengelig kun på 0, 5 og 10 m kan A3-A4 skrives

$$\langle S^o \rangle_5 = \frac{1}{2} (S_0^o + S_5^o) \quad (\text{A6})$$

$$\langle S^o \rangle_{10} = \frac{1}{4} (S_0^o + 2S_5^o + S_{10}^o) \quad (\text{A7})$$

Det har liten hensikt å beregne $\langle S^o \rangle_2$ hvis det kun er data fra 0 og 5 m, men det kan gjøres et anslag.

$$\langle S^o \rangle_2 = \frac{8}{10} S_0^o + \frac{2}{10} S_5^o \quad (\text{A8})$$

For de modellerte saltholdighetene fra havmodellen, vil disse gjelde for et lag som har varierende dybde og tykkelse. Havmodellen ROMS har terrengfølgende lag, og det vil si at uansett vanddybden i en gridcelle i modellen, så er det like mange lag. I modellresultatene som er brukt i denne rapporten er det 42 lag. Dybden og tykkelsen til et gitt lag i en gitt gridcelle beregnes ut ifra en såkalt strekkfunksjon som strekker og presser lagene sammen slik at det oppnås høy vertikal oppløsning der det er ønskelig. Strekkfunksjonen er foruten vanddybden og antall lag (K), avhengig av fem parametere, hvor to bestemmer type funksjon som skal brukes ($Vtransform$ og $Vstretsching$), tre som bestemmer vertikal oppløsning ($thetas$, $thetab$ og $Tcline$).

Vi skal ikke gå nærmere inn på strekkfunksjonen her. Uansett hvilken strekkfunksjon som er valgt vil det ved en gitt gridcelle være en vektor med dypet z_k og tykkelsen Δz_k for hvert lag k . Bunnlaget har indeks $k = 1$, mens laget nærmest overflata har indeks $k = K = 42$. (Modellen ROMS opererer med indekser som starter på 0, men det kan vi se bort ifra i denne sammenheng.)

Når saltholdigheten midlet over hhv. de øverste 2, 5 og 10 meterne skal beregnes fra modellerte verdier finner man først de lagene som er over det aktuelle dypet, ved å finne den første indeksen k_H hvor $z_k \geq -H$, hvor H er det dypet det skal midles fra. Middelerdien beregnes deretter på følgende måte

$$\langle S^m \rangle_H = \frac{\sum_{k=k_H}^K S_k^m \Delta z_k}{\sum_{k=k_H}^K \Delta z_k}$$

Her er S_k^m modellert saltholdighet i laget k . Her beregnes det middelerdi kun over hele lag, og det antas at det er nok lag i overflaten til at det kan neglisjeres at laget nærmest dypet H kan ha utstrekning noe under dette dypet.

Det er ønskelig å sammenligne $\langle S^m \rangle_H$ og $\langle S^o \rangle_H$ for å se hvor godt modellen representerer den observerte saltholdigheten i overflatelaget. Derfor plukkes det data fra modellen fra de stasjonene og fra de tidspunktene det fins observasjoner. Det vil brukes data fra 16 stasjoner. Stasjonene er plassert hvor det fins regelmessige målinger er godt spredd over hele modellområdet (se Figur X). Det vil benyttes data fra sesongene far 2015 til 2018.

De modellert verdiene plottes på x-aksen og de observerte verdiene på y-aksen. En rett linje vil tilpasses gjennom punktene ved hjelp av lineær regresjon. Ut ifra dette kommer det fram en estimert saltholdighet

$$\langle S^e \rangle_H = a_H \cdot \langle S^m \rangle_H + b_H$$

Under utvikling av havmodellen har målet vært at de modellerte verdiene skal være mest mulig lik de observerte verdiene. Derfor er det ønskelig at a_H har en verdi nær 1 og b_H har en verdi nær 0. Det vil beregnes korrelasjon mellom modellerte og observerte verdier. Hvis det er god korrelasjon vil modellen likevel være brukbar selv om a_H avviker fra 1 og b_H avviker fra 0. En kan si at S^e er et kalibrert modellresultat.

For å anslå hvor godt denne metodikken representerer den observerte saltholdigheten beregnes feilen på følgende måte.

$$\varepsilon_H = \sqrt{(\langle S^e \rangle_H - \langle S^o \rangle_H)^2}$$

Dette kalles gjerne «root mean square (RMS)»-feilen, siden det er kvadratrotdverdien av middelverdien til den kvadrerte differansen mellom estimert og observert verdi.

NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no