



FFI-RAPPORT

18/01333

Innsamling av hydrografiske data i Oslofjorden

— FFIs bidrag i prosjektet FjordOs II

Petter Østenstad

Karina Bakkeløkken Hjelmervik¹

¹Universitetet i Sørøst-Norge (USN)

Innsamling av hydrografiske data i Oslofjorden – FFIs bidrag i prosjektet FjordOs II

Petter Østenstad
Karina Bakkeløkken Hjelmervik¹

Emneord

Oseanografi

Fjorder

Hydrografi

FFI-rapport

18/01333

Prosjektnummer

1405

ISBN

P: 978-82-464-3084-3

E: 978-82-464-3085-0

Godkjenner

Elling Tveit, *forskningsleder*

Trygve Sparr, *forsknings sjef*

Dokumentet er elektronisk godkjent og har derfor ikke håndskreven signatur

Opphavsrett

© Forsvarets forskningsinstitutt (FFI). Publikasjonen kan siteres fritt med kildehenvisning.

Sammendrag

Forsvarets forskningsinstitutt (FFI) er med i prosjektet FjordOs II som skal videreutvikle, kvalitetssikre og tilgjengeliggjøre resultater fra en høyoppløselig numerisk varslingsmodell for Oslofjorden. Prosjektet er finansiert med penger fra Oslofjordfondet og er oppfølger til FjordOs-prosjektet. Modellen beregner strøm og hydrografi i fjorden. Prosjektet eies av Kystverket, men ledes av Universitetet i Sørøst-Norge. Andre deltakere er blant annet Meteorologisk institutt (met.no) og Norsk institutt for vannforskning (NIVA).

Oslofjorden er blant områdene i Norge med høyest trafikk tetthet til vanns og har dermed en av de høyeste sannsynlighetene for akutte oljeutslipp fra skipstrafikk. Langs fjorden finnes det 88 verneområder og to nasjonalparker, og fjorden er et viktig rekreasjonsområde. En numerisk modell som beregner strøm og hydrografi er svært viktig med tanke på å gi bedre kunnskap om spredning av oljeutslipp og miljøgifter og fordeling av salt og temperatur i Oslofjorden.

I 2017 gjennomførte FFI fire måletokt langs fem snitt i Oslofjorden fra Færder i sør til Breiangen i nord. Toktene ble gjennomført i januar, mai, august og desember for å se på variasjon mellom årstidene. Toktene i januar og desember ble gjort med H.U. Sverdrup II, mens de to resterende toktene ble gjort med KV Nornen. Dataene viste svakere gradienter i saltholdighet i januar og desember enn i mai og august på grunn av økt ferskvannsavrenning om våren og sommeren. Vertikalgradientene var også kraftigere ved Breiangen enn ved Færder. Det kan forklares med at det er mer vind ytterst i fjorden, som fører til mer blanding av vannmassene. Man fant også ferskere vann i overflatelaget langs østsiden av fjorden enn langs vestsiden, noe som kan skyldes vindretningen i perioden før og under måletoktene.

Motivasjonen til FFI (og Forsvaret) for å delta er at FjordOs-prosjektet skal se på metoder og løsninger for å få en bedre beskrivelse av vertikalfordelingen av salt og temperatur. I havmodeller har det vært et problem at gradientene til vertikalprofiler av temperatur og salt ofte er for langt fra virkeligheten til at de kan brukes for akustiske beregninger. Målingene som FFI har bidratt til, er i så måte svært viktige for validering. Noen av metodene for å løse dette i modellen er allerede testet, og resultatene ser lovende ut.

Summary

The Norwegian Defence Research Establishment (FFI) is partner in the project FjordOs II, which is funded by the Oslofjordfondet. The goal of the project is to further develop, ensure the quality of and publish results from a high-resolution numerical ocean model for the Oslofjord. The model calculates currents and hydrography in the fjord. The project is owned by the Norwegian Coastal Administration, but administrated by the University of South-Eastern Norway (USN). Other partners in the project include the Norwegian Meteorological Institute, the Norwegian Institute for Water Research, the Østfold and Vestfold counties, Kongsberg Maritime and ESSO Norway.

The Oslofjord is one of the areas in Norway with highest sea traffic density and has one of the highest risks for acute oil spill from shipping. Along the fjord there are 88 protected areas and two national parks, and the fjord is an important recreation area. A numerical model that calculates currents and hydrography is very important to increase the knowledge of spreading of oil spills and environmental toxins and the distribution of temperature and salinity in the Oslofjord.

In 2017 FFI conducted four cruises along five transects in the Oslofjord from Færder in the south to Breiangen in the north. The cruises took place in January, May, August and December to cover different seasons. FFI's research vessel H.U. Sverdrup II was used in the January and December cruises, while the coast guard ship Nornen was used in May and August. The data showed weaker salinity gradients in January and December than in May and August due to higher fresh water runoff during spring and summer. The vertical gradients were sharper at Breiangen than at Færder due to mixing caused by more windy conditions in the outer parts of the fjord. The surface layer was found to be thicker and less saline along the eastern shore than the western shore. This might be explained by wind direction prior to and during the cruises.

FFI's (and the Norwegian Navy's) motivation to be a partner in FjordOs is because the project studies methods to better describe the vertical distribution of salinity and temperature in the ocean model. In ocean models a correct representation of vertical profiles and gradients is a challenge, and such profiles are therefore not sufficiently described to be used as input for acoustic modelling. The measurements described in this report will be of high value for validating the ocean model. Some of the methods are tested, and the results are promising.

Innhold

Sammendrag	3
Summary	4
Forord	6
1 Innledning	9
2 Området	11
3 Målingene	12
3.1 Januar	13
3.2 Mai	13
3.3 August	13
3.4 Desember	14
4 Resultater	14
4.1 Januar	14
4.2 Mai	15
4.3 August	15
4.4 Desember	16
5 Oppsummering	23
Vedlegg	23
Referanser	30



Forord

Vi takker mannskapet med kaptein Rune Gabrielsen om bord på KV Nornen for gjestfrihet og all hjelp i forbindelse med toktene i mai og august 2017. Vi takker også mannskap og FFlere om bord på HU Sverdrup II med hjelp til og gjennomføring av målingene i januar og desember.



1 Innledning

Oslofjorden er blant de områdene i Norge med høyest sannsynlighet for akutt oljeutslipp fra skipstrafikken [1, 2]. Den har landets høyeste trafikk tetthet av ferjer, lastebåter, charter- og fritidsbåter. Oljeraffineriet på Slagentangen alene har 800 årlige skipsanløp. Selv om rutinene skjerpes, er sannsynligheten for uønskede utslipp i Oslofjorden stor grunnet den høye trafikk tettheten. Sjøsikkerhet er spesielt viktig i denne regionen da en uønsket hendelse vil kunne ramme svært mange brukere. Ved utgangen av andre kvartal 2016, bodde ca. 42% av Norges befolkning en time eller mindre i reisevei fra Oslofjorden¹.

Oslofjorden har 88 verneområder og to nasjonalparker. Langs Oslofjorden finner vi et rikt plante- og dyreliv, og fjorden er et viktig rekreasjonsområde. Mange ulike myndigheter og etater har et ansvar for forvaltningen av arealer, miljø og ressurser i kystsonen. Både næringsvirksomhet og fritidsbruk er en belastning på fjorden. Enkelte fiskebestander er betydelig redusert [3], vannkvaliteten i Ytre Oslofjord er i endring [4], sjøfuglbestandene er i nedgang og ekstra sårbare for miljøskader [5] og det har vært flere skadelige oljeutslipp i den senere tid. Ifølge beregninger utført av DNV bør vi forvente et større oljeutslipp i regionen oftere enn hvert 20. år [1]. Fjorden er også utsatt for andre typer uønskede hendelser som for eksempel utslipp og spredning av mikroplast i avløpsvann. Selv om en del fanges opp av renseanleggene, kan utslippene fra anleggene fortsatt inneholde mikroplast [6].

Når ulykken er ute, må vi være forberedt. Vi må ha et verktøy som raskt kan beregne pålitelige drivbaner slik at de kan brukes innen sikkerhet og beredskap. Behovet for varsling med tilstrekkelig detaljrikdom er nødvendig i fjorder med høy trafikk tetthet og høy miljørisiko. Både forvaltningen og lokal næringsutvikling (f.eks. lakseoppdrett og arealplanlegging) er avhengig av pålitelig kunnskap om både normale og ekstreme oseanografiske² forhold i fjorden.

I FjordOs-prosjektet (www.fjordos.no) ble det utviklet en ny havmodell for beregning av strøm og hydrografi i Oslofjorden. FjordOs-modellen bygger på den offentlig tilgjengelig ROMS koden [7, 8] og ble utarbeidet i et samarbeid mellom Høgskolen i Sørøst-Norge, Meteorologisk institutt, NIVA og FFI. Modellen har større detaljrikdom enn dagens varslingsmodell, som er for grov til å gi realistisk miljøinformasjon for trange sund og leder slik som det finnes svært mye av langs Norskekysten og i Oslofjorden. I FjordOs-prosjektet ble modellen anvendt på drivbaner og i forbindelse med utbyggingen av Moss Havn. Resultatene var lovende [9].

I prosjektet FjordOs II skal resultatene fra FjordOs-modellen gjøres tilgjengelig for både forvaltningen og allmenheten. Tilgjengelighet vil åpne for flere og nye muligheter for innovasjon, f.eks. vær-ruting for skip som kan medføre drivstoffbesparelse og tilhørende utslippsreduksjoner i både klima- og miljøskadelige gasser (green shipping), planlegging av nye maritime installasjoner, kunnskap om spredning av mikroplast og annet søppel, og drivbaner som kan brukes operasjonelt ved uønskede hendelser. Fylkeskommunene har behov for

¹ Tall fra Statistisk sentralbyrå (SSB) fra september 2016.

² Havstrøm (retning og styrke), saltholdighet, temperatur og vannstand.

kunnskap om de frie vannmassers bevegelse i forbindelse med kystzoneplanlegging. De har også ansvar for folkehelse og trygt friluftsliv i havet og skjærgården, samt oppfølging av regional plan for vannforvaltning. Gjennom økt kunnskap og kunnskapsspredning skal prosjektet bidra til en helhetlig og bærekraftig forvaltning av fjorden. Å gjøre resultater fra FjordOs-modellen tilgjengelig for forvaltningen og allmenheten forventes derfor å ha stor samfunnsøkonomisk betydning.

For å kunne si noe om kvaliteten på en modell, må den valideres mot observasjoner. I FjordOs-prosjektet lå fokuset på å utvikle modellen og validere mot eksisterende observasjoner, dvs. observasjoner av vannstand og overflatetemperatur i en del posisjoner over lengre tid, samt noe strømmålinger.

I denne rapporten presenteres salt- og temperaturmålinger i fem snitt (fra Færder i sør til Breiangen i nord) fire ganger i løpet av 2017. I tillegg til at disse målingene gir direkte informasjon om tilstanden i Oslofjorden, blir de sammen med målinger fra blant annet Økokyst programmet [10] sentrale i det videre arbeidet med å validere og korrigere FjordOs-modellen.

2 Området

Oslofjorden strekker seg fra Færder i sør og inn til Oslo med en side-arm til Drammen, og har en lengde på ca. 120 km fra Færder til innerst i Bunnefjorden. Den indre delen av fjorden har en maksimum bredde på rundt 7 km. Ved Drøbak er fjorden smalest med bredde på rundt 1 km. Fjorden vider seg ut og er bredest i Breiangen med bredde rundt 18 km. Videre utover smalner fjorden noe inn ved Bastøy og Slagen før fjorden åpner seg ut mot Skagerrak. Dybden i den indre delen går ned til rundt 160 m på det dypeste, mens det er rundt 20 meter dypt ved Drøbaktersekelen. I Breiangenbassenget er dybden rundt 200 meter. Lenger sør finner man Bastøyrenna (300 meter dyp). Lengst sør finner man Rauerdypet og Hvalerdypet, hvor det siste er det dypeste med maksimumsdyp på rundt 450 meter. Oslofjorden har tre store ferskvannkilder, Drammensvassdraget, Numedalslågen og Glomma, som påvirker sirkulasjonen og hydrografien i fjorden.

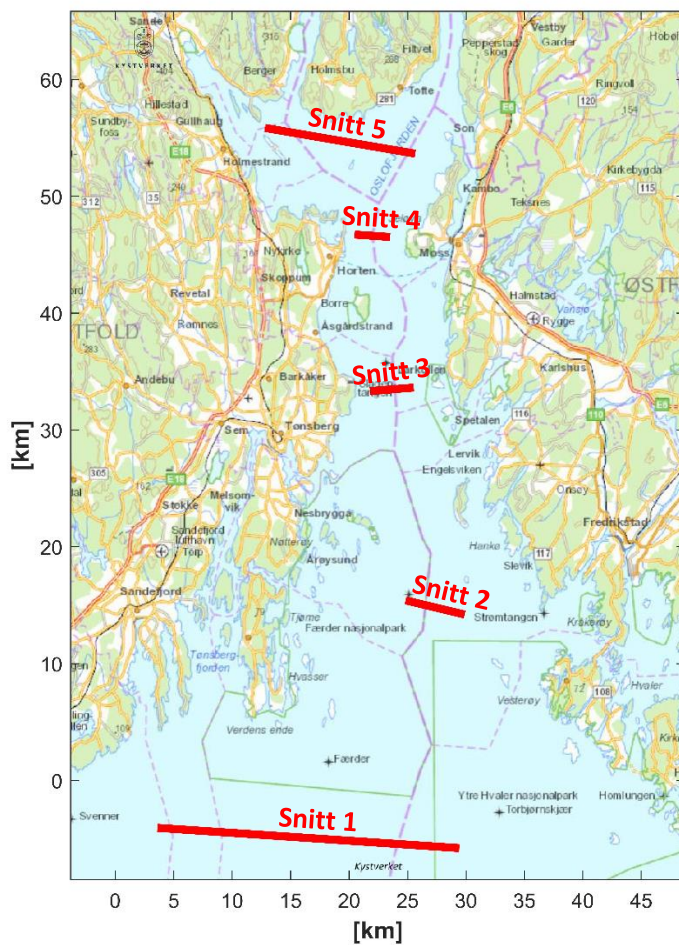
Vannmassene i Ytre Oslofjord og Skagerrak kan deles opp etter saltholdighet, se Tabell 2.1. Den vertikale fordelingen av vannmassene kan variere mye gjennom året.

Vannmasse	Saltholdighet (psu)
Brakkvann (BV)	< 25
Skagerrak kystvann (SKV)	25 – 32
Skagerrakvann øvre (SVØ)	32 – 34,5
Skagerrakvann nedre (SVN)	34,5 – 35
Atlantisk vann (AV)	> 35

Tabell 2.1 Vannmasser i Ytre Oslofjord og Skagerrak [11]

3 Målingene

Målinger av salt- og temperatur er tatt langs fem snitt på tvers av Oslofjorden i fire ulike tokt i løpet av 2017. For å gjøre målingene ble det brukt CTD-sonde. CTD står for 'Conductivity', 'Temperature' og 'Depth' og måler vannets ledningsevne, temperatur og dyp. Saltholdigheten beregnes fra ledningsevnen. Toktene ble gjennomført 6.-7. januar, 22.-23. mai, 28.-29. august og 20. desember. De fem snittene er markert i Figur 3.1.



Figur 3.1 De fem snittene CTD-målingene er tatt langs.

Det første og siste toktet ble gjennomført med H.U. Sverdrup, mens toktene i mai og august ble gjennomført med KV Nornen. Målingene fra H.U. Sverdrup ble gjort med en Moving Vessel Profiler 200 (MVP-200) fra AMLOceanographic (amloceanographic.com), mens det på KV Nornen ble brukt en SD204 CTD fra SAIV (saiv.no). MVP'en kan ta profiler mens skipet er i bevegelse, noe som er tidseffektivt, mens skipet må ligge i ro når man måler med SD204.

Dermed ble det tatt flere profiler fra H.U. Sverdrup enn fra KV Nornen. Antall profiler er listet i Tabell 3.1.

Tabell 3.1 Antall profiler i hvert tokt fordelt på snittene.

No.	Beskrivelse	Antall profiler			
		Januar	mai	august	desember
1	Sør for Færder	34	8	8	30
2	Tjøme – Strømtangen	12	4	4	11
3	Slagen – Eldøya	7	5	5	4
4	Horten – Moss	7	4	4	5
5	Breiangen	13	9	10	25
Totalt		73	30	31	73

3.1 Januar

6. – 7. januar ble målingene utført fra H.U. Sverdrup og det ble tatt totalt 80 profiler med MVP. I tillegg til de 73 profilene som ble tatt i snittene, ble det tatt fire profiler nær snitt to og tre profiler mellom snitt to og tre. Posisjonene er listet i Tabell 5.1 i vedlegget.

Toktet startet i Horten og man jobbet seg sørover i Oslofjorden og endte opp i Larvik. Været under toktet var krevende. Sterk kuling blåste opp fra sørvest i Ytre Oslofjord og det var høy sjø, rundt 3-4 meter. Skipet ble liggende værfast noen timer natt til 7. januar før målingene sør for Færder ble tatt.

3.2 Mai

22. – 23. mai ble målingene utført fra KV og det ble tatt totalt 31 profiler med SD204 CTD. Toktet startet fra Larvik og avsluttet i Horten. Været var stille og fint begge dagene. Posisjonene er listet i Tabell 5.2 i vedlegget. I tillegg til de 30 målingene som ble utført i snittene, ble det tatt en måling nær land ved Ertsvika.

Skipet drev under selve målingene grunnet strømmen i vannet. I enkelte tilfeller ble baugpropellen brukt for å holde skipet i posisjon. Hvor mye skipet forflyttet seg mens målingene ble tatt, er listet i Tabell 5.2. Baugpropellen ble også brukt for å posisjonere skipet i forkant av målingene. En del omrøring i øvre lag er derfor forventet.

3.3 August

28 – 29. august ble det gjort en ny runde med målinger fra KV Nornen og det ble tatt totalt 31 profiler med SAIV CTD. Det var sørvestlig vind under toktet og vinden økte på utover den første dagen. Posisjonene er listet i Tabell 5.3 i vedlegget.

Skipet drev under selve målingene grunnet vinden og strømmen i vannet. Hvor mye skipet forflyttet seg mens målingene ble tatt, er listet i Tabell 5.3. Baugpropellen ble også brukt for å posisjonere skipet i forkant av målingene. En del omrøring i øvre lag er derfor forventet.

3.4 Desember

20. desember ble det gjort en ny runde med målinger fra Sverdrup og det ble tatt totalt 75 profiler med MVP. Posisjonene er listet i Tabell 5.4 i vedlegget.

Det blåste frisk bris fra sørvest ved Færder. Temperaturen lå på rundt fem grader. Ut over dagen roet vinden seg. Da målingene i Breiangen ble tatt, hadde temperaturen sunket til rundt en grad og det blåste det svak vind fra nordvest.

4 Resultater

Det er valgt å fokusere på resultatene fra snitt 1 og 5, siden disse representerer ytterpunktene i området som er målt. Resultatene fra snitt 2 – 4 viser oseanografiske forhold som ligger mellom det vi finner i snitt 1 og 5. Saltholdighet er angitt i practical salinity unit (psu).

4.1 Januar

I januar var det skarpe gradienter i både salt og temperatur i snitt 5 ned til rundt 10 m, mens det i snitt 1 var gjennomblandede vannmasser ned til 25 meter (Figur 4.5a og Figur 4.6a). En mulig forklaring på dette er at i ytre Oslofjord (snitt 1) gjennom høsten og vinteren blåser kraftigere enn i Breiangen (snitt 5) og at man derfor har kraftigere miksing i øvre del av vannkolonnen ved snitt 1. Mellom 50 og 100 meter var temperaturen tilnærmet lik i både snitt 1 og 5, mens det under 100 meter er kaldere i snitt 1.

De horisontale variasjonene var små i begge snittene, bortsett fra i de øvre delene av vannkolonnen (Figur 4.1 - Figur 4.4 a). Både i snitt 1 og 5 fant man lavest temperatur og saltholdighet i de østlige delene, de øverste 30 og de øverste 10 meterne i henholdsvis snitt 1 og 5. Både vind og kyststrømmen kan gi helninger i tetthetsflatene. Vinden dreide over på sørvest og økte kraftig da toktet startet. Modellkjøringer gjort i prosjektet der man så på drivende objekter, viste at objektene drev i land på østsiden av fjorden ved sørvestlig vind. Dette kan tyde på at en slik vindretning vil presse overflatevannet mot østsiden av fjorden og dermed føre til et dypere overflatelag med kaldere og ferskere vann enn man ser vestsiden. Dette er særlig tydelig i snitt 1 hvor vinden var kraftigst. I slike tilfeller kan man få oppstuing av kyststrømmvann (hovedsakelig) med opphav i Østersjøen [12].

TS-diagrammet (Figur 4.7 a) viser fordeling av vannmassene for de to snittene. De dominerende vannmassene ved snitt 5 er Skagerrak kystvann (SKV) og Skagerrakvann øvre (SVØ) og nedre (SVN), med et lite innslag av brakkvann (BV). I snitt 1 fant man hovedsakelig SVØ og SVN og et lite innslag av SKV.

4.2 Mai

Temperaturprofilene i snitt 1 og 5 i mai var tilnærmet like med minkende temperatur fra overflaten og ned til mellom 30 og 40 meter og tilnærmet konstant temperatur nedover i dypet (Figur 4.5 b). Saltholdigheten var lavere i overflaten i snitt 5 enn i snitt 1 og man har også en skarpere gradient i de øverste 5 meterne i snitt 5 (Figur 4.6 b). Mellom 10 og 50 meter var gradientene relativt like ned til 50 meter og konstant derfra og nedover i dypet. De relativt like profilene i begge snittene for både salt og temperatur kan (muligens) forklares med rolige og like vindforhold ved begge snittene i denne perioden og jevn fordeling av ferskvann i de øvre lagene mellom de to snittene.

I mai var de horisontale variasjonene små i begge snittene, men med litt lavere temperatur og saltholdighet i de østlige delene av både snitt 1 og 5 i de øverste 30 meterne (Figur 4.1 -Figur 4.4 b). Vinden blåste med kuling i styrke fra sørvest dagen før målingene ble gjort, mens det var roligere vindforhold fra samme retning da målingene ble gjort. Det at vinden hadde løyet da målingene ble gjort og at vertikalgradientene var kraftigere enn i januar, kan være en mulig forklaring på at de horisontale forskjellene fra øst til vest var mindre og høyere i vannsøylen enn i januar.

Figur 4.7 b) viser at vannmassene i både snitt 1 og 5 var relativt like. Forskjellen fra januar var at det i mai var et større innslag av BV i overflaten og et lite innslag av Atlantisk vann (AV) i dypet.

4.3 August

I august var temperaturen i de øverste 15 meterne tilnærmet lik for begge snittene, men temperaturen sank raskere med dypet i snitt 5 enn i snitt 1 (Figur 4.5 c). I snitt 5 fant man konstant temperatur fra rundt 80 meter og nedover, mens i snitt 1 fant man dyp for (tilnærmet) konstant temperatur på rundt 110 meter. Saltholdigheten i snitt 1 viste en skarp gradient i de øverste 2-3 meterne etterfulgt av et relativt homogent lag ned til 8 meter før man igjen fant en skarp gradient ned til ca. 20 meter (Figur 4.6 c). Saltholdigheten i var lavere i snitt 5 enn snitt 1 ned til 100 meter, hvorfra saltholdigheten var lik nedover i dypet.

Som i mai var det lite horisontal variasjon, men også i august er det en antydning til ferskere overflatelag i øst i snitt 5 (Figur 4.1 - Figur 4.4 c). Vinden var rundt 5 – 7 m/s fra sørvest i døgnet før målingene startet, men økte i styrke i løpet av toktet.

TS-diagrammet (Figur 4.7 c) viser et noe større innslag av BV enn i mai, spesielt for snitt 5. Snitt 5 bestod for øvrig av SKV og SVØ med et mindre bidrag av SVN. Snitt 1 bestod av SKV,

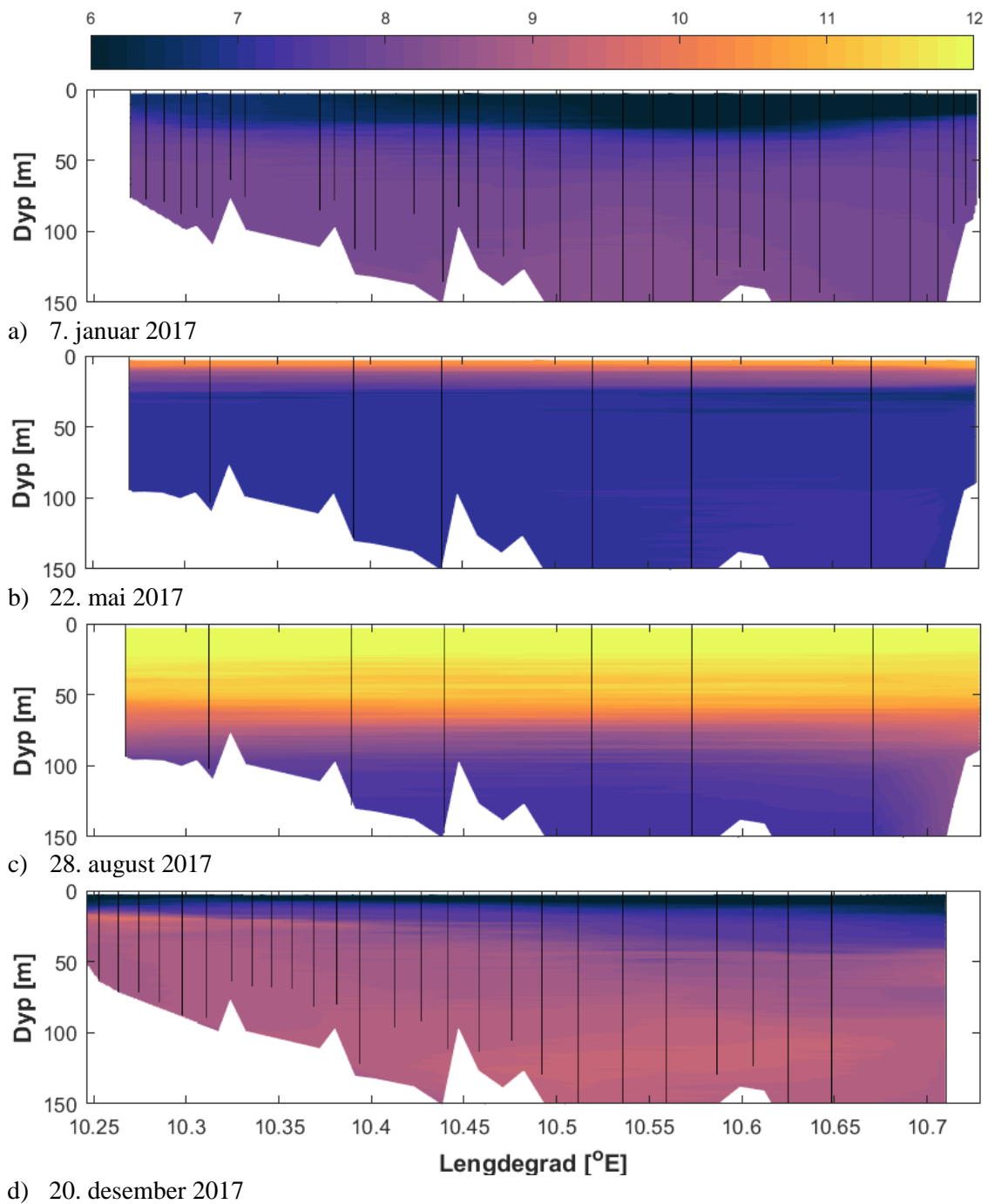
SVØ og SVN og et lite bidrag av AV. Det som pekte seg ut i TS-diagrammet for august i forhold til de andre, var den store temperaturforskjellen mellom de to snittene.

4.4 Desember

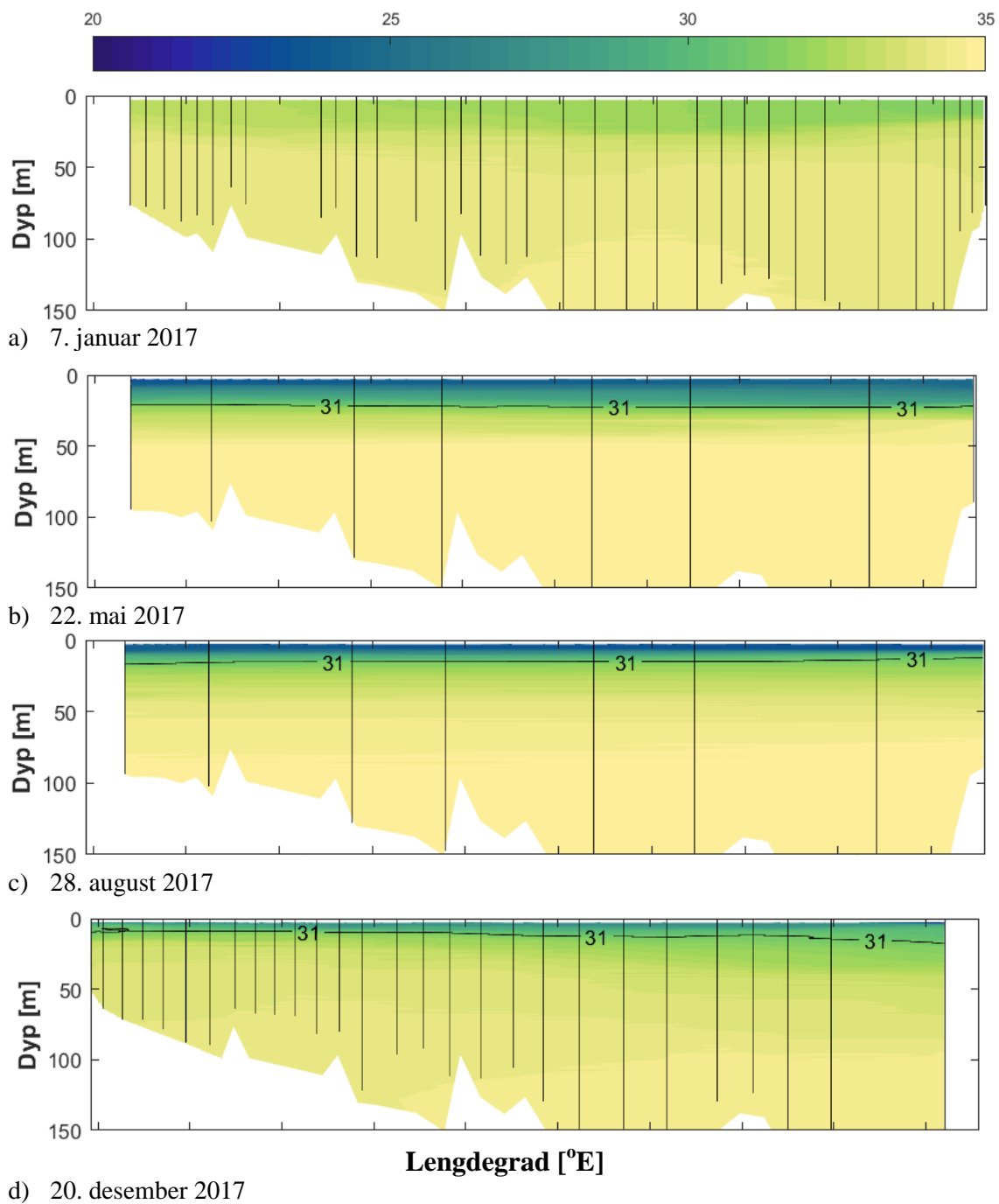
I desember fant man høyere temperaturer i snitt 5 enn i snitt 1 helt ned til rundt 100 meters dyp (Figur 4.5 d). Dette skyldes nok kraftigere vertikal miksing i snitt 1 pga. generelt mer vind høst/vinter i Ytre Oslofjord enn i Breiangen. I snitt 5 økte temperaturen ned til mellom 20 og 25 meter før den avtok svakt nedover i dypet. I snitt 1 økte temperaturen mest fra overflaten og ned til 20 meters dyp og deretter økte temperaturen svakt nedover i dypet. Temperaturen i snitt 1 og 5 krysset hverandre på ca. 105 meters dyp. Saltholdigheten i snitt 1 var lavere enn i snitt 5 ned til 60 meters dyp med størst forskjell i de øverste 10 meterne (Figur 4.6 d).

Det ferskere overflatelaget på østsiden i snitt 1 kan skyldes oppstuing av ferskvann fra Glomma. Vinden i hele Skagerrak var sørvestlig under toktet og i døgnet før med vindstyrke på 10 – 12 m/s. De horisontale variasjonene var fortsatt små i desember, men man fant horisontale gradienter noe dypere enn i de tre foregående toktene (Figur 4.1 - Figur 4.4 d). Man fant ferskere og kaldere vann dypere på østsiden av fjorden enn vestsiden, ned til 30 meter i snitt 1 og ned til rundt 20 meter i snitt 5.

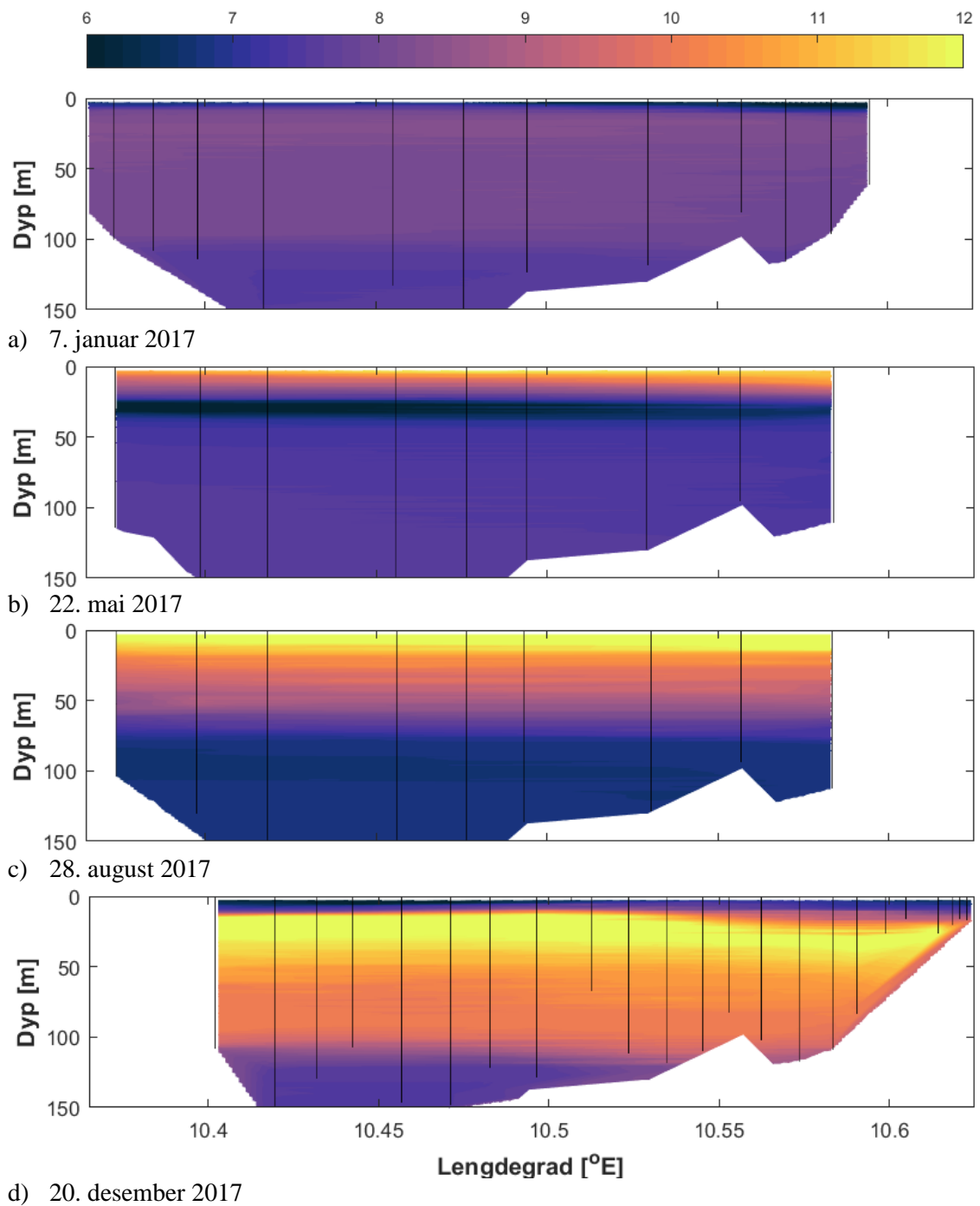
Vannmassene i snitt 1 og 5 (Figur 4.7 d) fordelte seg relativt likt og bestod av SKV, SVØ og SVN. Denne måleperioden var den eneste som ikke hadde innslag av BV.



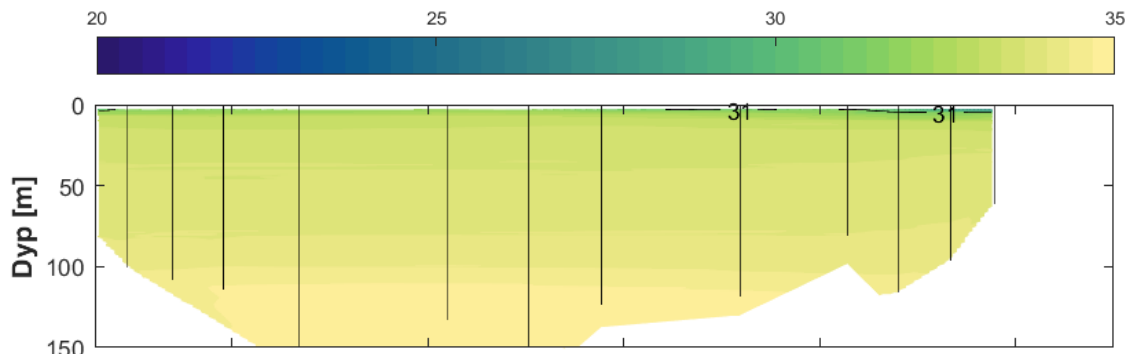
Figur 4.1 Temperatur (°C) i snitt 1 sør for Færder under de fire måletoktene.
De loddrette strekene markerer ved hvilke lengdegrader profilene er observert.



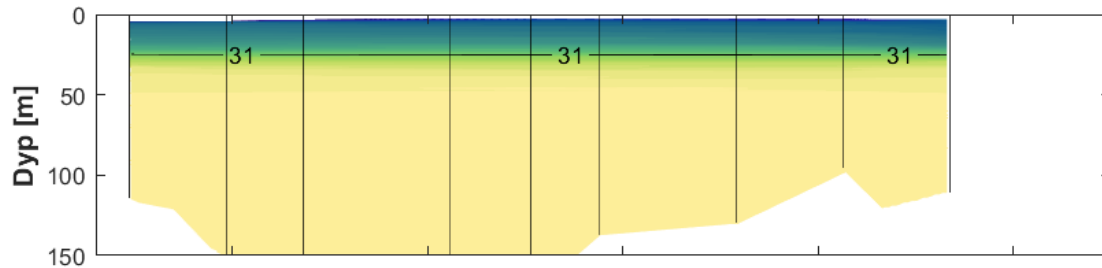
Figur 4.2 Saltholdighet i snitt 1 sør for Færder under de fire måletoktene. De loddrette strekene markerer ved hvilke lengdegrader profilene er observert. Konturlinjen for 31 psu er markert.



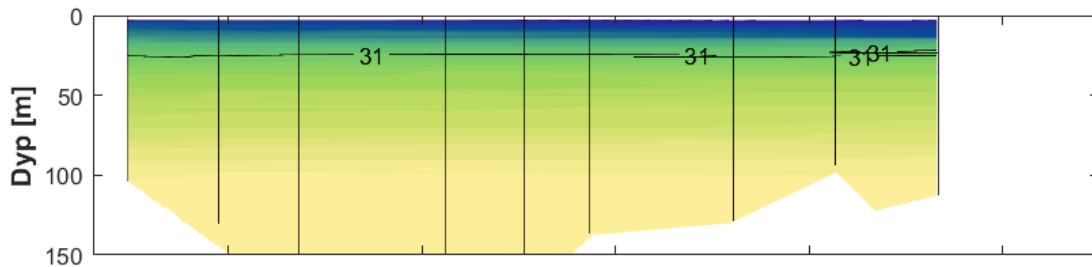
Figur 4.3 Temperatur (°C) i snitt 5 i Breianger under de fire måletoktene. De loddrette strekene markerer ved hvilke lengdegrader profilene er observert.



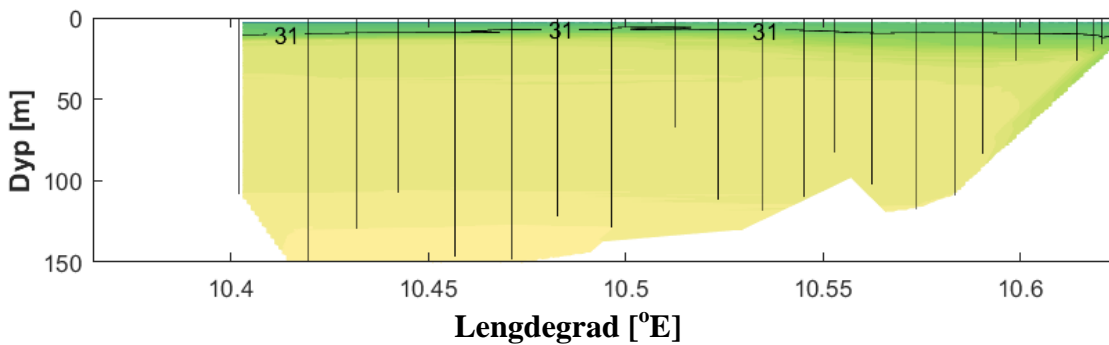
e) 7. januar 2017



f) 22. mai 2017

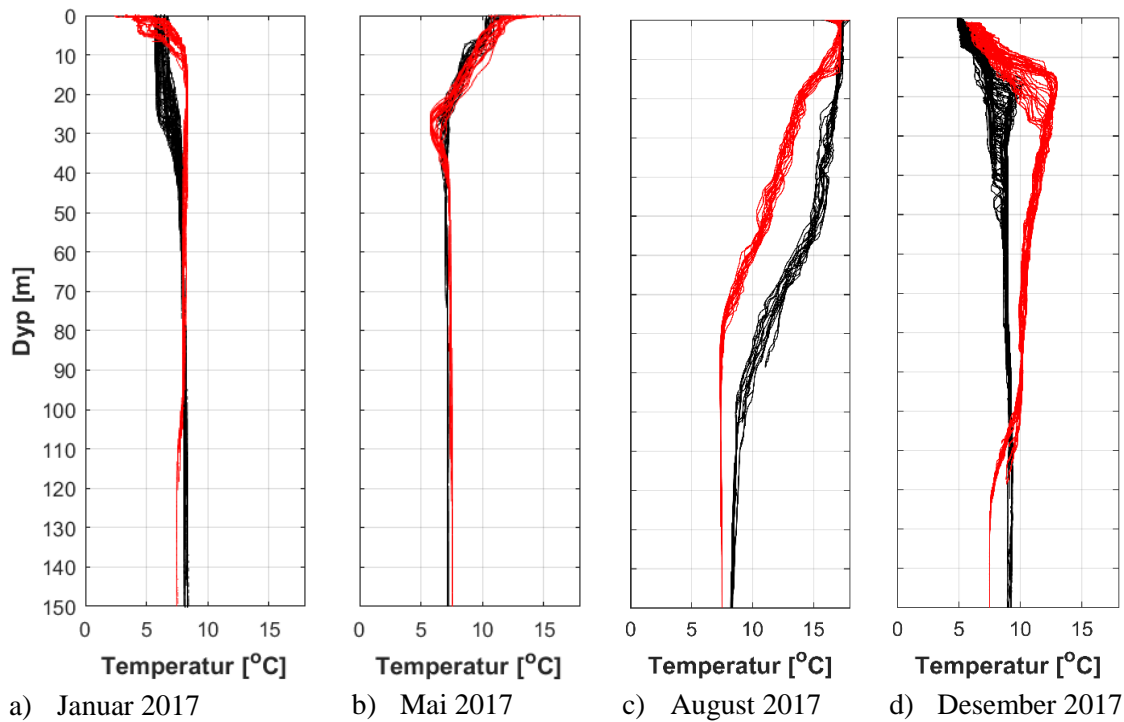


g) 28. august 2017

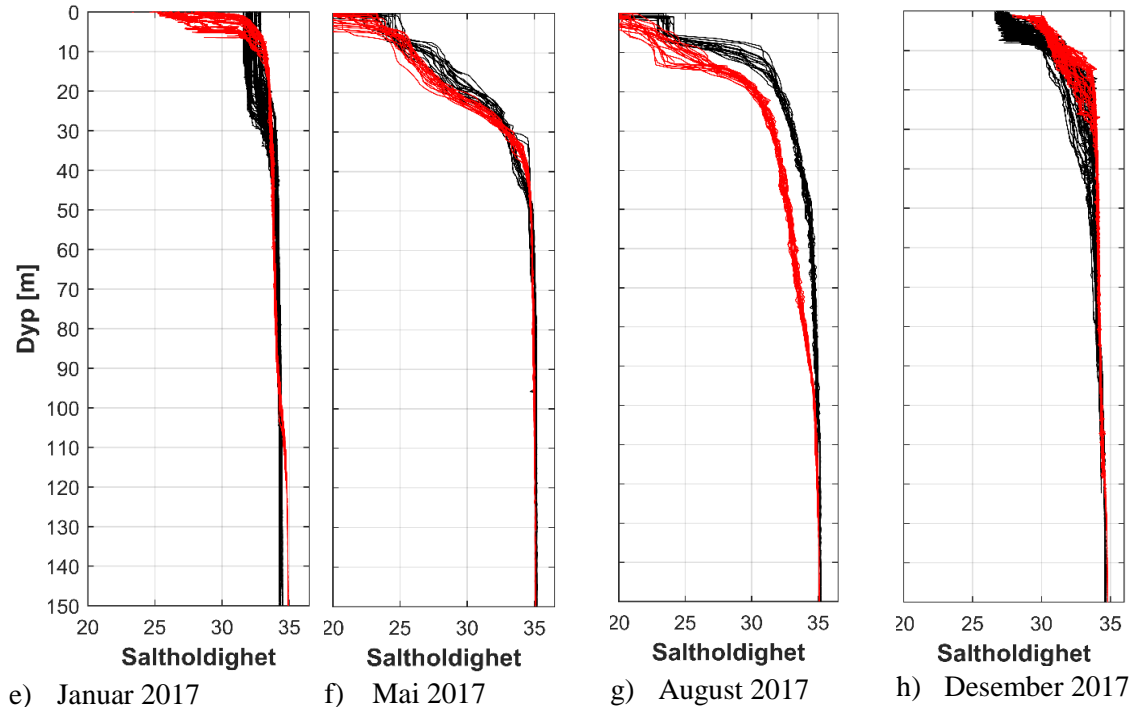


e) 20. desember 2017

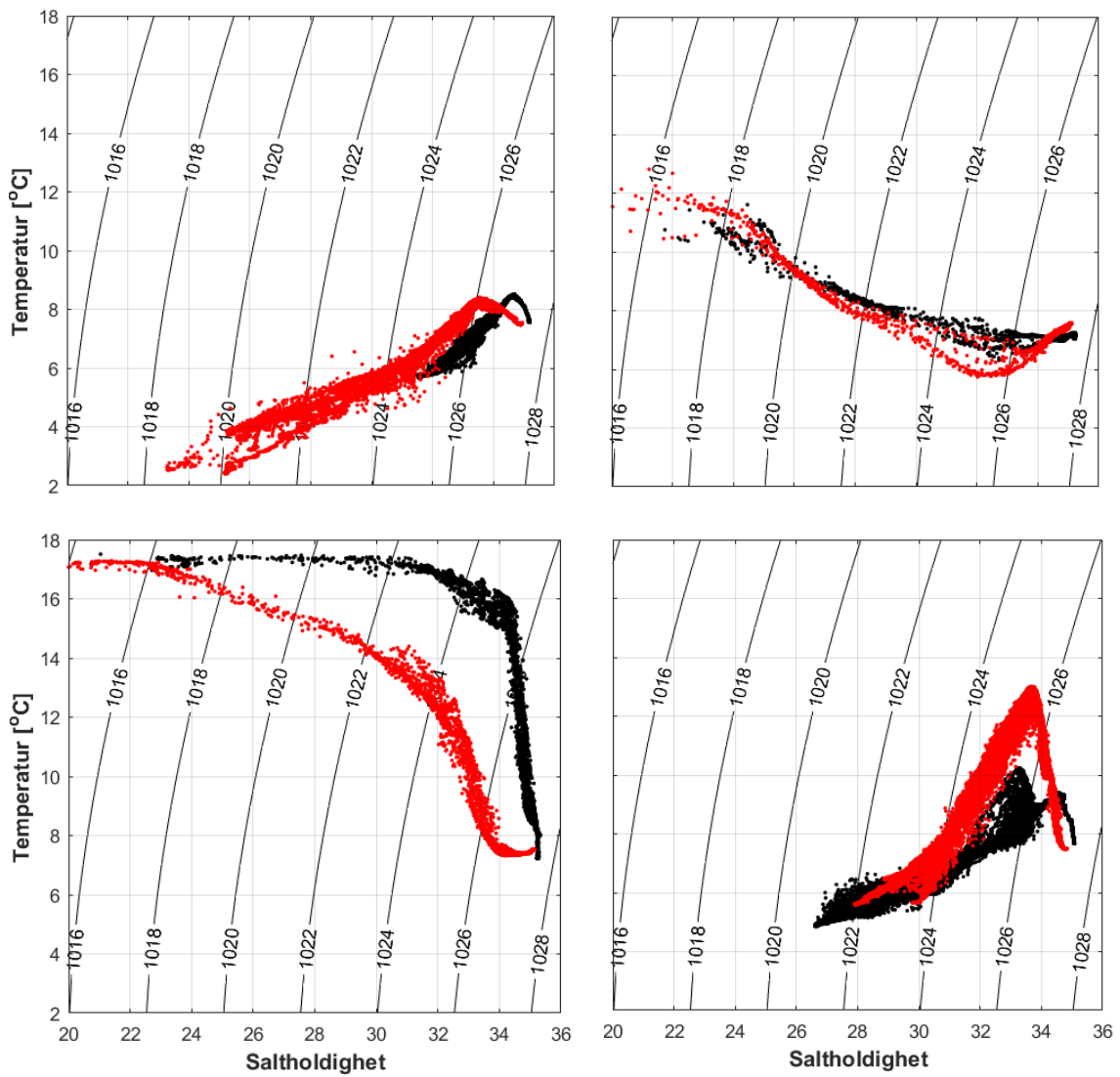
Figur 4.4 Saltholdighet i snitt 5 i Breianger under de fire måletoktene. De loddrette strekene markerer ved hvilke lengdegrader profilene er observert. Konturlinjen for 31 psu er markert fordi den er viktig for dypvannsfornyelsen i Drammensfjorden.



Figur 4.5 Observerte profiler av temperatur i snittet sør for Færder (svart) og i Breiangeren (rød).



Figur 4.6 Observerte profiler av salt i snitt 1 sør for Færder (svart) og snitt 2 i Breiangeren (rød).



Figur 4.7 TS-diagram av observert saltholdighet i Snitt 1 (svart) og Snitt 5 (rødt).

5 Oppsummering

FFI har gjennomført 207 målinger av temperatur- og saltholdighets-profiler fordelt på fem snitt over fire tokt på tvers av Oslofjorden fra Færder i sør til Breiangen i nord. Målingene inngår i validering av varslingsmodell for Oslofjorden tatt frem av FjordOs-prosjektene.

Generelt viste profilene svakere gradienter i både salt og temperatur i januar og desember. Dette kan forklares med lite ferskvannstilførsel om vinteren og kraftigere vertikal miksing grunnet mer vind i denne perioden enn i mai og august. Vi fant ferskere vann dypere ned i vannkolonnen på østsiden av fjorden enn på vestsiden. Det gjaldt for alle fire måletoktene, men er tydeligst i januar og desember. I januar og desember fant vi tilsvarende kaldere vann i øst enn i vest. I mai og august var vannet i overflatelaget noe varmere på østsiden enn vestsiden.

Vindretningen før og under alle toktene var sørvestlig. Dette kan være med å forklare det dypere ferske laget langs østsiden av fjorden. Dette er særlig tydelig for snitt 1 ved Færder i januar og desember. Ved disse tilfellene var også vinden kraftigst.

Vedlegg

Tabell 5.1 Posisjon og tidspunkt for målingene tatt i januar 2017, samt maks måledyp, observert dyp og skipets hastighet under måling.

No.	ID	Dato	Kl.	Bredde-grad [°N]	Lengde-grad [°E]	Maks måledyp [m]	Maks dyp [m]	Skipets fart [kt]	Snitt
1	79	07.01. 2017	09:26	58.967	10.270	77	96	7.1	Snitt 1
2	78		09:24	58.967	10.278	79	96	7.2	
3	77		09:22	58.967	10.288	80	97	6.9	
4	76		09:19	58.967	10.297	89	101	7	
5	75		09:17	58.967	10.306	85	96	7.2	
6	74		09:15	58.967	10.314	92	110	6.6	
7	73		09:12	58.967	10.324	65	77	7.3	
8	72		09:10	58.967	10.332	77	99	6.9	
9	71		09:00	58.967	10.372	86	111	6.9	
10	70		08:57	58.967	10.380	80	98	7	
11	69		08:55	58.967	10.391	114	131	7.1	
12	68		08:52	58.967	10.402	114	133	7.2	
13	67		08:46	58.967	10.423	89	138	7.3	
14	66		08:42	58.967	10.439	137	151	7.4	
15	65		08:40	58.967	10.447	84	98	7.1	

16	64		08:37	58.967	10.458	113	127	7.2	
17	63		08:34	58.967	10.471	119	139	7.1	
18	62		08:31	58.967	10.482	114	127	6.8	
19	61		08:25	58.967	10.502	156	169	7.3	
20	60		08:21	58.967	10.519	157	172	7.2	
21	59		08:17	58.967	10.536	160	173	7.4	
22	58		08:12	58.967	10.552	159	180	7.2	
23	57		08:07	58.967	10.574	210	233	7.1	
24	56		08:03	58.967	10.587	133	151	6.9	
25	55		08:00	58.967	10.599	127	138	7.0	
26	54		07:57	58.967	10.612	130	141	7.1	
27	53		07:53	58.967	10.627	154	175	7.0	
28	52		07:49	58.967	10.642	145	156	5.4	
29	51		07:38	58.967	10.671	387	416	4.9	
30	50		07:32	58.967	10.691	235	272	6.6	
31	49		07:28	58.967	10.706	166	182	6.9	
32	48		07:25	58.967	10.714	96	129	6.8	
33	47		07:23	58.967	10.721	83	95	6.6	
34	46		07:21	58.967	10.728	78	90	7.0	
35	30	06.01. 2017	21:26	59.154	10.624	57	99	7.6	Snitt 2
36	31		21:27	59.154	10.629	43	58	6.7	
37	32		21:28	59.153	10.633	45	70	6.9	
38	33		21:29	59.153	10.637	67	92	7.1	
39	34		21:31	59.152	10.644	92	129	6.9	
40	35		21:33	59.152	10.652	71	85	7.2	
41	36		21:35	59.151	10.658	74	107	7.0	
42	37		21:37	59.150	10.665	140	160	7.0	
43	38		21:40	59.149	10.678	78	105	6.9	
44	39		21:42	59.149	10.685	97	177	6.6	
45	40	21:45	59.148	10.694	200	291	7.2		
46	41	21:50	59.146	10.714	108	142	6.9		
47	20	06.01. 2017	19:01	59.313	10.550	68	103	7.2	Snitt 3
48	21		19:03	59.313	10.557	128	151	7.8	
49	26		19:40	59.314	10.567	173	186	6.9	
50	22		19:06	59.314	10.571	180	192	8.2	
51	23		19:11	59.316	10.592	229	269	8.2	
52	25		19:32	59.316	10.597	260	274	6.9	
53	24		19:26	59.318	10.616	206	257	6.7	
54	13	06.01. 2017	17:26	59.432	10.511	24	37	6.3	Snitt 4
55	14		17:27	59.432	10.515	42	68	5.8	
56	15		17:29	59.432	10.522	93	106	5.8	
57	16		17:31	59.432	10.530	126	166	6.1	
58	17		17:35	59.432	10.543	153	164	5.9	
59	18		17:39	59.432	10.554	156	168	6.0	

60	19		17:42	59.432	10.565	45	61	6.1	
61	00	06.01. 2017	15:20	59.509	10.365	81	92	6.1	Snitt 5
62	01		15:23	59.508	10.373	102	116	5.6	
63	02		15:27	59.508	10.385	110	122	6.1	
64	03		15:30	59.507	10.398	116	155	6.9	
65	04		15:35	59.506	10.417	167	181	7.2	
66	05		15:45	59.504	10.455	134	165	7.1	
67	06		15:51	59.503	10.476	157	177	7.0	
68	07		15:56	59.502	10.494	125	138	6.9	
69	08		16:05	59.500	10.530	119	130	7.0	
70	09		16:12	59.499	10.557	82	99	7.0	
71	10		16:16	59.498	10.570	117	130	7.0	
72	11		16:19	59.497	10.583	97	114	6.9	
73	12		16:22	59.497	10.595	62	82	7.0	
74	27	06.01. 2017	19:54	59.295	10.556	132	175	7.6	Ekstra
75	28		19:58	59.288	10.563	302	323	7.6	
76	29		20:10	59.265	10.589	302	324	7.6	
77	42		22:06	59.150	10.705	44	78	6.9	
78	43		22:07	59.151	10.701	73	233	6.7	
79	44		22:09	59.152	10.695	256	311	6.9	
80	45		22:16	59.157	10.670	95	115	7.0	

Tabell 5.2 Posisjon og tidspunkt for målingene tatt i mai 2017, samt maks måledyp og forflytning under måling.

No.	ID	Dato	Kl.	Bredde- grad [°N]	Lengde- grad [°E]	Maks måledyp [m]	Snitt	Forflytning		
								Tid [min]	Dist. [m]	Retn. [°]
1	1b	22.05. 2017	11:39	58.967	10.270	96	Snitt 1	4	3	112
2	2		12:10	58.966	10.314	105		3	14	30
3	3		12:38	58.966	10.390	131		7	10	63
4	4		12:58	58.967	10.438	152		5	14	80
5	5		13:27	58.967	10.520	171		6	21	28
6	6		13:50	58.967	10.573	235		12	16	15
7	7		14:23	58.966	10.670	422		20	10	26
8	8		14:59	58.966	10.728	90		4	22	9
9	12	22.05. 2017	17:59	59.145	10.625	51	Snitt 2	3	35	38
10	11		17:38	59.147	10.644	78		5	30	33
11	10		16:59	59.152	10.695	316		19	28	5
12	9b		16:28	59.155	10.717	68		4	30	16
13	13	22.05. 2017	20:17	59.312	10.549	105	Snitt 3	5	11	-75
14	14		20:39	59.313	10.557	154		-	-	-
15	15		20:59	59.314	10.571	192		-	-	-
16	16		21:18	59.315	10.592	262		-	-	-

17	17		21:46	59.318	10.615	256		11	6	102
18	18		22:49	59.432	10.515	65		-	-	-
19	19	22.05.	23:01	59.432	10.521	123	Snitt 4	5	16	14
20	20	2017	23:15	59.432	10.529	165		7	5	-65
21	21		23:33	59.432	10.553	167		7	6	-93
22	30		11:50	59.508	10.374	116			-	-
23	29		11:32	59.506	10.399	152		8	13	-150
24	28		11:16	59.506	10.418	184		8	7	-163
25	27	23.05. 2017	10:58	59.504	10.457	162	Snitt 5	7	14	-63
26	26		10:41	59.503	10.477	178		7	10	-107
27	25b		10:27	59.502	10.494	138		5	14	-159
28	24		09:42	59.500	10.530	131		4	16	-40
29	23		09:20	59.499	10.557	97		4	6	-44
30	22		09:00	59.497	10.584	112		5	4	84
31	25a	23.05. 2017	10:04	59.519	10.494	43	Ertsvika	4	113	-86

Tabell 5.3 Posisjon og tidspunkt for målingene tatt i august 2017, samt maks måledyp og forflytning under måling.

No.	ID	Dato	Kl.	Bredde- grad [°N]	Lengde- grad [°E]	Maks måledyp [m]	Snitt	Forflytning				
								Tid [min]	Dist. [m]	Retn. [°]		
1	1		10:53	58.967	10.267	90		5	167	107		
2	2		11:10	58.967	10.312	93		6	307	141		
3	3		11:36	58.967	10.389	125		6	86	94		
4	4	28.08. 2017	12:08	58.967	10.439	147	Snitt 1	9	252	85		
5	5		12:35	58.967	10.519	169		8	224	84		
6	6		13:01	58.966	10.573	231		13	307	69		
7	7		13:36	58.967	10.671	406		21	444	69		
8	8		14:10	58.967	10.729	86		5	87	54		
9	9		28.08. 2017	17:03	59.145	10.625		46	Snitt 2	3	139	35
10	10			17:15	59.147	10.644		79		5	197	52
11	11			17:34	59.151	10.695		296		28	1215	59
12	12	18:09		59.154	10.718	121	7	202		41		
13	13	28.08. 2017	20:06	59.313	10.550	82	Snitt 3	5	181	21		
14	14		20:17	59.313	10.555	144		8	240	15		
15	15		20:33	59.314	10.570	190		20	964	5		
16	16		21:08	59.315	10.592	240		14	518	3		
17	17		21:32	59.317	10.614	260		13	628	2		
18	19	28.08.	22:53	59.431	10.515	70	Snitt 4	9	531	-12		
19	20	2017	23:01	59.431	10.520	93		3	81	-28		

20	21		23:12	59.432	10.528	138		5	174	-3
21	18		22:28	59.432	10.551	164		9	462	-7
22	22	29.08. 2017	09:24	59.507	10.374	102	Snitt 5	4	56	12
23	23		09:36	59.506	10.398	132		9	63	-54
24	24		09:53	59.505	10.418	182		6	35	31
25	25		10:12	59.504	10.456	158		7	123	-96
26	26		10:27	59.503	10.476	176		6	110	-23
27	27		10:41	59.502	10.493	137		5	96	-36
28	28		11:04	59.502	10.530	129		8	446	-1
29	29		11:21	59.499	10.557	94		4	163	22
30	30		11:35	59.497	10.584	109		5	149	24

Tabell 5.4 Posisjon og tidspunkt for målingene tatt i desember 2017, samt maks måledyp, observert dyp og skipets hastighet under måling.

No.	ID	Dato	Kl.	Breddegrad [°N]	Lengdegrad [°E]	Maks måledyp [m]	Maks dyp [m]	Skipets fart [kt]	Snitt
1	1	20.12. 2017	07:57		10.246	52	74	6.8	Snitt 1
2	2		07:59		10.253	65	81	7.0	
3	3		08:02		10.263	72	90	7.0	
4	4		08:05		10.275	72	102	7.0	
5	5		08:08		10.286	79	90	7.1	
6	6		08:11		10.298	89	100	6.9	
7	7		08:15		10.311	91	104	7.1	
8	8		08:18		10.325	64	79	7.0	
9	9		08:21		10.335	68	84	7.0	
10	10		08:24		10.346	69	80	7.1	
11	11		08:27		10.357	69	99	7.1	
12	12		08:30		10.369	82	122	6.9	
13	13		08:33		10.381	81	93	6.8	
14	14		08:37		10.394	124	149	7.0	
15	15		08:42		10.412	97	108	6.8	
16	16		08:45		10.427	93	125	6.9	
17	17		08:49		10.442	113	154	7.2	
18	18		08:54		10.459	114	139	7.2	
19	19		08:58		10.476	107	118	7.1	
20	20		09:03		10.492	131	143	7.0	
21	21		09:08		10.512	159	170	7.0	
22	22		09:14		10.536	157	172	7.1	
23	23		09:21		10.560	177	189	6.9	
24	24		09:28		10.587	132	150	6.8	
25	25		09:33		10.606	125	139	7.1	

26	26		09:38		10.625	155	168	7.0	
27	27		09:44		10.649	271	411	7.1	
28	28		09:51		10.673	28	387	7.0	
29	29		09:52		10.679	26	336	7.1	
30	30		10:04		10.711	160	173	5.2	
31	41		11:39		10.628	37	55	7.1	
32	40		11:37		10.637	70	107	7.1	
33	39		11:34		10.647	82	114	7.1	
34	38		11:32		10.655	69	80	7.1	
35	37		11:29		10.667	102	154	7.0	
36	36	20.12.	11:22		10.695	199	309	7.2	
37	35	2017	11:17		10.710	148	162	5.3	Snitt 2
38	34		11:14		10.719	129	163	5.2	
39	33		11:12		10.725	81	142	5.3	
40	32		11:10		10.730	35	54	5.3	
41	31		11:09		10.733	31	42	5.6	
42	45		12:46		10.584	182	217	7.1	
43	44	20.12.	12:38		10.617	221	251	7.3	
44	43	2017	12:36		10.624	65	152	6.9	Snitt 3
45	42		12:35		10.628	34	47	5.9	
46	50		13:49		10.535	157	168	6.2	
47	49	20.12.	13:44		10.551	157	168	6.2	
48	48	2017	13:42		10.558	79	164	6.5	Snitt 4
49	47		13:41		10.562	33	65	6.6	
50	46		13:39		10.566	34	62	5.1	
51	75		15:46		10.402	109	131	5.9	
52	74		15:41		10.419	170	184	5.9	
53	73		15:37		10.432	131	148	5.9	
54	72		15:34		10.442	109	122	6.0	
55	71		15:29		10.457	148	167	5.9	
56	70		15:25		10.471	150	165	5.9	
57	69		15:21		10.483	123	157	6.0	
58	68		15:17		10.497	130	142	5.9	
59	67	20.12.	15:14		10.507	4	19	5.9	
60	66	2017	15:12		10.513	69	95	6.0	Snitt 5
61	65		15:08		10.523	113	128	6.0	
62	64		15:05		10.535	120	131	5.9	
63	63		15:02		10.545	111	127	5.9	
64	62		14:59		10.553	84	115	5.9	
65	61		14:56		10.562	103	119	5.9	
66	60		14:53		10.573	119	130	5.9	
67	59		14:50		10.583	110	122	5.9	
68	58		14:48		10.590	85	100	5.9	

69	57		14:45		10.599	27	51	5.9	
70	56		14:43		10.605	16	28	5.9	
71	55		14:40		10.614	27	38	5.9	
72	54		14:39		10.618	21	36	5.8	
73	53		14:38		10.621	17	31	5.9	
74	52		14:37		10.623	17	29	6.2	
75	51		14:37		10.625	17	30	6.4	

Referanser

- [1] M. Lieng, "Analyse av sannsynlighet for akutt oljeutslipp fra skipstrafikk langs kysten av Fastlands-Norge," Det Norske Veritas 2010.
- [2] "Sjøsikkerhetsanalysen 2014 - Analyse av sannsynligheten for ulykker med tap av menneskeliv og akutt forurensning fra skipstrafikk i norske farvann," Det Norske Veritas 2014-1060, rev. D, 2014.
- [3] J. Gjøsæter, "Fiskeressurser og miljøforhold i Ytre Oslofjord 2007," 2008.
- [4] J. Aure, D. S. Danielssen, and L.-J. Naustvoll, "Miljøundersøkelser i norske fjorder: Ytre Oslofjord 1937-2011," 2014.
- [5] "Sjøfugl i Norge 2015, Resultater fra SEAPOP-programmet," 2016.
- [6] P. Sundt, F. Syversen, O. Skogesal, and P. Schulze, "Primary microplastic-pollution: measures and reduction potentials in Norway," *Mepex Report for the Norwegian Environment Agency*, vol. 117, 2016.
- [7] A. F. Shchepetkin and J. C. McWilliams, "The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model," *Ocean Modelling*, vol. 9.4, pp. 347-404, 2005.
- [8] D. B. Haidvogel, H. Arango, W. P. Budgell, B. D. Cornuelle, E. Curchitser, E. Di Lorenzo, *et al.*, "Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System," *Journal of Computational Physics*, vol. 227, pp. 3595-3624, 2008.
- [9] L. Røed, N. Kristensen, K. Hjelmervik, and A. Staalstrøm, "A high-resolution, curvilinear ROMS model for the Oslofjord," FjordOs technical report 2016.
- [10] C. W. Fagerli, A. Staalstrøm, H. C. Trannum, J. K. Gitmark, W. Eikrem, S. Marty, *et al.*, "ØKOKYST - delprogram Skagerrak. Årsrapport 2017," 2018.
- [11] J. Magnusson, "og Aure, J. 2007. Endringer i langtransporterte tilførsler til vår kyststrøm. I årsrapport for 2006: Langtidsovervåking av miljøkvaliteten i kystområdene av Norge. Kystovervåkingsprogrammet," *Statlig program for forurensingsovervåking, rapport 991*, pp. 72-78, 2007.
- [12] O. H. Botvar, "The Currents in the Outer Oslofjord," 2016.

About FFI

The Norwegian Defence Research Establishment (FFI) was founded 11th of April 1946. It is organised as an administrative agency subordinate to the Ministry of Defence.

FFI's MISSION

FFI is the prime institution responsible for defence related research in Norway. Its principal mission is to carry out research and development to meet the requirements of the Armed Forces. FFI has the role of chief adviser to the political and military leadership. In particular, the institute shall focus on aspects of the development in science and technology that can influence our security policy or defence planning.

FFI's VISION

FFI turns knowledge and ideas into an efficient defence.

FFI's CHARACTERISTICS

Creative, daring, broad-minded and responsible.

Om FFI

Forsvarets forskningsinstitutt ble etablert 11. april 1946. Instituttet er organisert som et forvaltningsorgan med særskilte fullmakter underlagt Forsvarsdepartementet.

FFIs FORMÅL

Forsvarets forskningsinstitutt er Forsvarets sentrale forskningsinstitusjon og har som formål å drive forskning og utvikling for Forsvarets behov. Videre er FFI rådgiver overfor Forsvarets strategiske ledelse. Spesielt skal instituttet følge opp trekk ved vitenskapelig og militærteknisk utvikling som kan påvirke forutsetningene for sikkerhetspolitikken eller forsvarsplanleggingen.

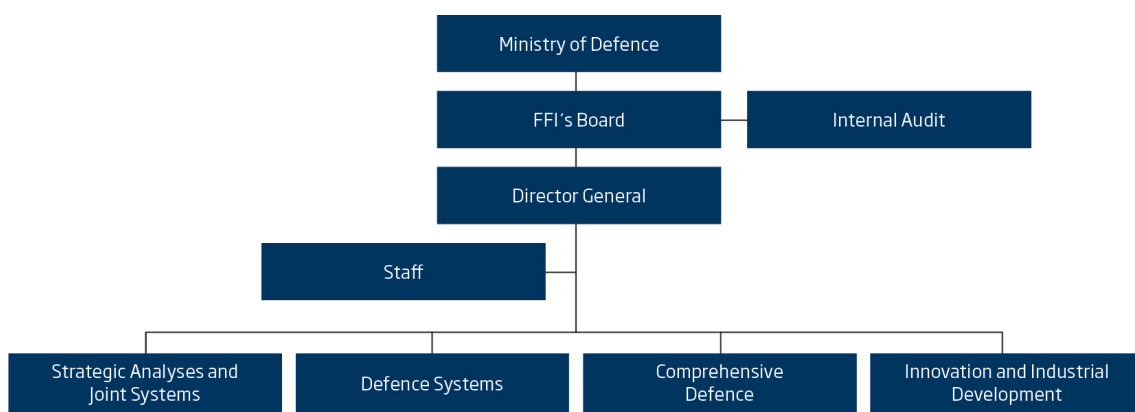
FFIs VISJON

FFI gjør kunnskap og ideer til et effektivt forsvar.

FFIs VERDIER

Skapende, drivende, vidsynt og ansvarlig.

FFI's organisation



Forsvarets forskningsinstitutt
Postboks 25
2027 Kjeller

Besøksadresse:
Instituttveien 20
2007 Kjeller

Telefon: 63 80 70 00
Telefaks: 63 80 71 15
Epost: ffi@ffi.no

Norwegian Defence Research Establishment (FFI)
P.O. Box 25
NO-2027 Kjeller

Office address:
Instituttveien 20
N-2007 Kjeller

Telephone: +47 63 80 70 00
Telefax: +47 63 80 71 15
Email: ffi@ffi.no