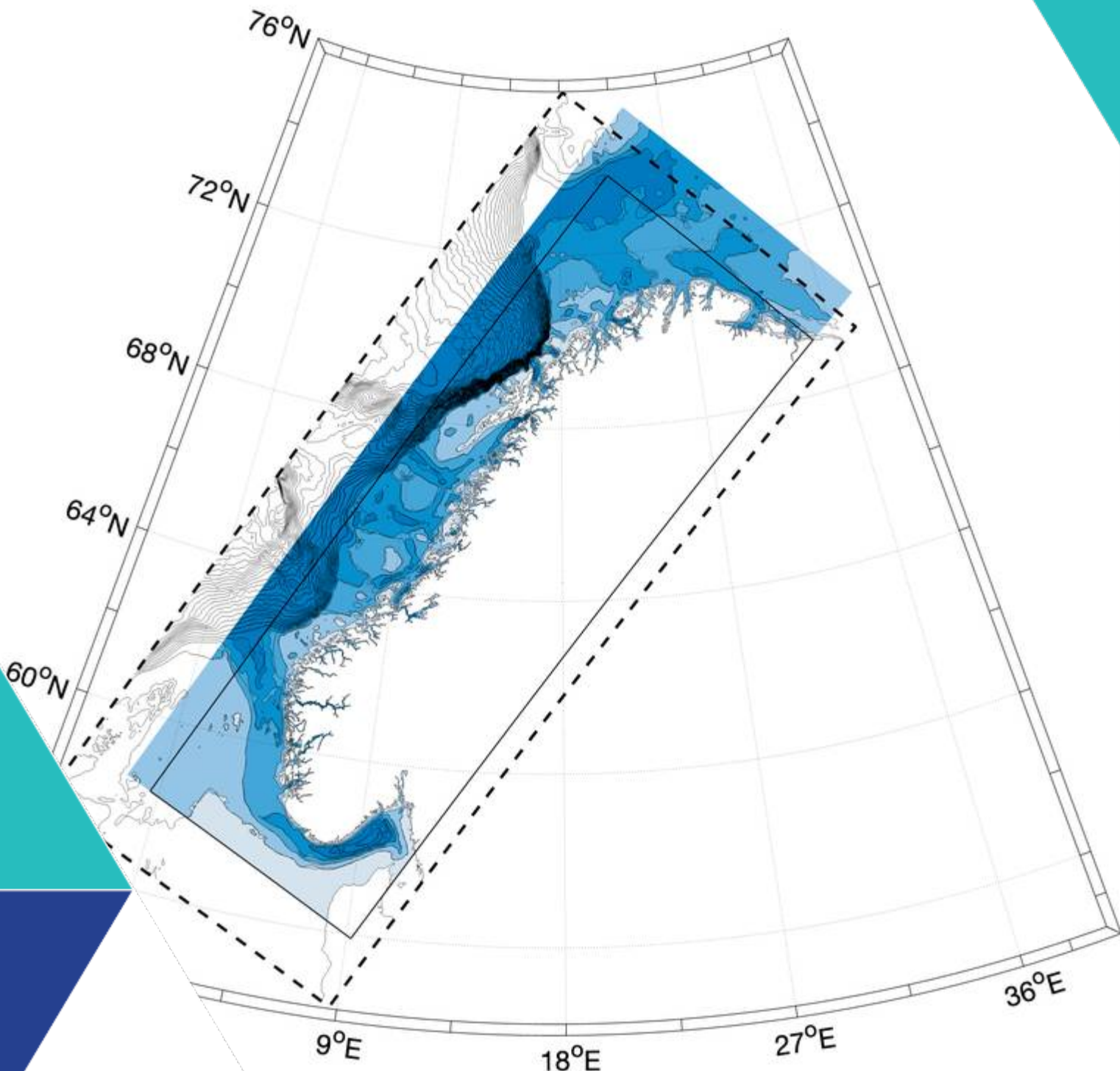




NORKYST800: VERSJONER OG ARKIVER

Oversikt over versjoner og arkiver av NorKyst800 som hittil er brukt for modellering av det fysiske miljø i norsk kystzone - med fokus på implikasjoner for lakselusmodellen til Havforskningsinstituttet

Jon Albretsen, Anne Dagrund Sandvik, Lars Asplin, Vidar Lien og Jofrid Skardhamar (HI)



Tittel (norsk og engelsk):

NorKyst800: versjoner og arkiver

NorKyst800: versions and archives

Undertittel (norsk og engelsk):

Oversikt over versjoner og arkiver av NorKyst800 som hittil er brukt for modellering av det fysiske miljø i norsk kystsone - med fokus på implikasjoner for lakselusmodellen til Havforskningsinstituttet

An overview of versions of NorKyst800 archives that has been used to model the physical environment of the Norwegian coastal zone, focusing on implications for the Institute of Marine Research's salmon lice model

Rapportserie:

Rapport fra havforskningen

ISSN:1893-4536

År - Nr.:

2022-35

Dato:

06.12.2022

Forfatter(e):

Jon Albretsen, Anne Dagrund Sandvik, Lars Asplin, Vidar Lien og Jofrid Skardhamar (HI)

Forskningsgruppeleder(e): Jan Erik Stiansen (Oseanografi og klima)

Godkjent av: Forskningsdirektør(er): Geir Lasse Taranger

Programleder(e): Terje Svåsand

Distribusjon:

Åpen

Prosjektnr:

15691-01

Oppdragsgiver(e):

Havforskningsinstituttet

Program:

Miljøeffekter av akvakultur

Forskningsgruppe(r):

Oseanografi og klima

Antall sider:

30

Sammendrag (norsk):

NorKyst800 er et strømmodellsystem som bruker den åpent tilgjengelige modellen ROMS (Regional Ocean Modeling System) til å gjenskape strøm, hydrografi og vannstand i den norske kystsonen. Modellen har en horisontal oppløsning på rundt 800 m x 800 m og tilstrekkelig oppløsning vertikalt for de fleste kystapplikasjoner, og den er etablert for å nedskalere det fysiske miljøet i havområdene rundt norskekysten til også å kunne simulere tilsvarende i de største fjordene. NorKyst800 krever mye regnekraft, og modellsystemet har gjennomgått en kontinuerlig forbedring siden oppstarten i 2010. Resultater fra NorKyst800 har til nå vært brukt i mer enn 80 fagfelleverderte artikler, og modelldata har inngått i flere rådgivningsoppgaver samt inngår i overvåkningstidsserier. Ettersom slike modellsystemer gjennomgår kontinuerlige endringer som også må tilpasses regnekraften som er tilgjengelig, må man som oftest bruke flere litt inkonsistente data-arkiver når man skal sette sammen til en lengre tidsserie. For å ha en bedre dokumentasjon på hvilke forskjeller de ulike versjonene og arkivene av NorKyst800 har, beskriver vi med denne rapporten detaljert de ulike oppsettene samt hvilke utslag dette gir på resultatene. I alle tilfeller viser valideringsanalysene at NorKyst800-arkivene alltid har produsert tilfredsstillende resultater som får frem den store variabiliteten i tid og rom man har for strøm og hydrografi i kystsonen. At den naturlige variabiliteten gjerne er større enn usikkerheten er viktige momenter som alle anvendelser av NorKyst800-data må ta hensyn til.

Sammendrag (engelsk):

NorKyst800 is an ocean current model system that uses the open-source code ROMS (Regional Ocean Modeling System) to reproduce currents, hydrography, and water levels in the Norwegian coastal zone. The model has a horizontal resolution of around 800 m x 800 m and sufficient vertical resolution for most coastal applications. It was originally established to downscale the physical environment in the Norwegian coastal zone from the large-scale ocean models. NorKyst800 requires a lot of computational power, and the model system has undergone continuous improvement since its establishment in 2010. Results from NorKyst800 have so far been used in more than 80 peer-reviewed articles, and model data has been included in several advisory tasks as well as in regular monitoring time series. In relation to research, advice and monitoring, different archives are available for different time periods due to the continuous development and changes in availability of the computational power. In this report we document the differences between the various versions and archives of NorKyst800 and go into detail in relation to the various setups and what effect this has on the results. In all cases, the validation analyzes show that the NorKyst800 archives have always produced satisfactory results that bring out the large natural variability in time and space for currents and hydrography in the coastal zone. The fact that the variability is often greater than the uncertainty are important aspects that all applications of NorKyst800 data must consider carefully.

Innhold

| | | |
|----------|--|----|
| 1 | Innledning | 5 |
| 2 | Modellbeskrivelse | 7 |
| | 2.1 Regional Ocean Modeling System (ROMS) | 7 |
| | 2.2 Inngangsdata til NorKyst800: eksterne drivkrefter | 8 |
| | 2.2.1 Åpne randbetingelser og initialisering | 8 |
| | 2.2.2 Atmosfæriske drivkrefter | 9 |
| | 2.2.3 Elveavrenning | 9 |
| 3 | Resultater fra de ulike NorKyst800-arkivene av betydning for lakselusmodellen | 11 |
| | 3.1 Hydrografi | 11 |
| | 3.1.1 Overflateforhold | 11 |
| | 3.1.2 Vertikalstruktur | 19 |
| | 3.2 Strøm og dynamikk | 22 |
| 4 | Diskusjon | 24 |
| | 4.1. Utfordringene rundt overflatesaltholdighet | 24 |
| | 4.2 Usikkerhet i forhold til variabilitet | 24 |
| | 4.3 Implikasjoner for Lakselusmodellen | 26 |
| 5 | NorKyst800v3 | 27 |
| | Referanser | 28 |

1 - Innledning

Numeriske havmodeller er et viktig verktøy innen oseanografi og klimaforskning. Data fra disse modellene er viktige kilder til informasjon i tillegg til direkte målinger. Ettersom måledata kun opparbeides for enkeltpunkter og/eller enkelte tidspunkter, vil de ofte være mangelfulle når det gjelder å beskrive variabilitet i både tid og rom. En kombinasjon av måledata og modelldata sammen vil derimot gi et datasett med god dekning både i tid og rom. I tillegg brukes måledata til å dokumentere hvorvidt modelldataene gir en realistisk representasjon av prosesser vesentlige for det man ønsker å studere eller overvåke. Samlet vil man da ha et datasett som man kan ha stor tillit til og hvor usikkerheten/feilen kan estimeres.

Et viktig aspekt ved et sammenhengende datasett er at datasettet er konsistent i tid (og rom). Selv om dette etterstrebes når man opparbeider et datasett, er det ofte vanskelig å opprettholde 100% konsistens over lengre tid. For måledata kan dette skyldes endringer i måleposisjon eller instrumenter som er brukt. Når det gjelder bruk av numeriske havmodeller, vil det være en utfordring med konsistens ettersom moderne havmodeller er i stadig utvikling og modellversjonen som brukes derfor vil bli utdatert, samt at enhver modellsimulering er avhengig av eksterne drivkrefter og inngangsdata som oppdateres og oppgraderes med ujevne mellomrom. Når det oppstår endringer i det underliggende datamaterialet som benyttes i for eksempel rådgivning, vil det være viktig at endringen dokumenteres og, om mulig, at endringen i kvaliteten på datagrunnlaget estimeres, i dette tilfellet kvaliteten på resultatene fra modellsimuleringen.

NorKyst800 er et strømmodellsystem som bruker ROMS (Regional Ocean Modeling System (<http://www.myroms.org>); Shchepetkin og McWilliams, 2005; Haidvogel m.fl., 2008) som den numeriske løseren av de primitive likningene samt et sett av ulike data som er nødvendig for å simulere det fysiske miljøet og strømforholdene langs Norskekysten. NorKyst800 har omtrent 800 m x 800 m store beregningsceller som er etablert i et kompromiss for å ha modellert tilstand av både storhavet utenfor Norskekysten og kystsonen og fjordene med så god romlig oppløsning som mulig. Modellen ble utviklet i samarbeid mellom Havforskningsinstituttet (HI) og Meteorologisk Institutt (MET) for å være et underliggende datasett som beskriver de fysiske miljøforholdene i norske kystnære områder for bruk blant annet i rådgivning og prosess-studier. Den første versjonen av NorKyst800, *NorKyst800v1*, ble testet ut i 2010 og er beskrevet i detalj i Albretsen m.fl. (2011). Modellen ble videre satt opp i en operasjonell varslingsrutine ved MET i 2012. Siden har det vært gjort flere endringer i modellsystemet for å få dette til å gjenspeile fysiske forhold mest mulig realistisk. Versjon 2, *NorKyst800v2*, erstattet *NorKyst800v1* i 2012, ettersom det ble oppdaget feil i det opprinnelige oppsettet som forringet resultatene.

Våren 2021 ble det startet et arbeid ved MET og HI om å oppgradere NorKyst800-systemet til versjon 3, *NorKyst800v3*. Hovedtrekkene i oppgraderingen er et noe utvidet modellområde for å inkludere hele Norges økonomiske sone. I tillegg flyttes den åpne randen mot storhavsmodellen lenger ut i Norskehavet. *NorKyst800v3* vil bruke en nyere og mer oppdatert versjon av ROMS-koden sammen med et mer optimalisert oppsett av modellen relatert til drivkreftene. I tillegg vil *NorKyst800v3* ytterligere operasjonaliseres ved at det implementeres 4D-Var-assimilasjon av måledata. Det er også planlagt å opparbeide et arkiv som strekker seg minst 10 år bakover i tid. Denne utviklingen er ventet ferdigstilt i løpet av 2023.

Resultater fra NorKyst800-systemet er brukt i over 80 (per august 2022) fagfelleverderte artikler, samt mange rapporter og publiserte arbeider fra institusjoner som har brukt modelldataene. De fleste artiklene og rapportene beskriver modellsystemet relativt enkelt ettersom fokus er på andre modeller eller analyser som bruker data fra NorKyst800. De sist utgitte artiklene som best beskriver metode og data fra NorKyst800-arkivet er Myksvoll m.fl. (2018) og Asplin m.fl. (2020). I tillegg er en mer finskala fjordmodell for Hardangerfjorden grundig beskrevet i Dalsøren m.fl. (2020), hvor data fra NorKyst800 er benyttet langs de åpne rendene. Fjordmodellen bruker for øvrig samme ROMS-kode som NorKyst800, men med det finere rutenettet 160 m x 160 m som også er hyppig brukt ved HI og kalles NorFjords.

Dette dokumentet gir en oversikt over de fire ulike modellresultatarkivene fra NorKyst800-modellen som er benyttet

blant annet som grunnlagsmateriale i arbeid med «Trafikklyssystemet» for påvirkning av lakselus på villfisk: den operasjonelle versjonen som MET drifter og produserer daglige varsler, samt tre ulike varianter som HI har satt opp og produsert modellarkiver med. Her blir versjonsendringer som er foretatt, tydelig beskrevet inklusive tekniske detaljer. I tillegg inneholder dokumentet en oversikt over de ulike datakildene for drivkrefter som er benyttet for de ulike modellresultatarkivene.

Dokumentet presenterer også modellvalidering mellom arkivene for overlappende perioder der dette har betydning. Kort oppsummert viser analysene av overflatetemperatur og saltholdighet at modellene gjenskaper de store fluktuationene på døgn- og sesongskala som man naturlig har i kystsonen. Stort sett er modellenes usikkerhet underordnet den naturlige variabiliteten. Resultatene fra modellversjonene som er beskrevet i denne rapporten, varierer tidvis så mye at det kan være uheldig å studere tidsserier over en periode der man har vært nødt til å benytte flere arkiv. Når *NorKyst800v3* er på plass vil det bli satt opp kontrollerte eksperimenter der en varierer en og en drivkraft/parametersetting slik at vi skaffer oss en bedre forståelse av følsomheten for endringer i disse.

Formålet med dette dokumentet er å gjøre det enklere å få en oversikt for de som bruker de ulike resultatarkivene, samt fungere som et oppslagsverk i forbindelse med publikasjoner. I tillegg er det veldig viktig å sikre at senere analyser av lange dataserier fra modellen ikke medfører falske konklusjoner som skyldes endringer i modelloppsettet eller at kalibrering mot observerte data av for eksempel lakselus på vill laksefisk endrer seg eller blir upresis på grunn av inkonsistente «hopp» i strømmodellen, uten at vi forstår årsaken.

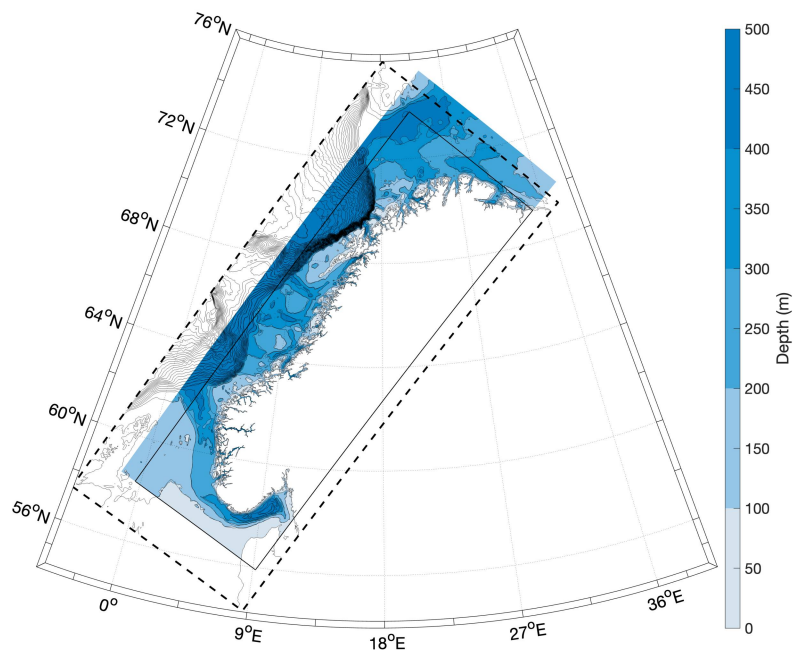
2 - Modellbeskrivelse

2.1 Regional Ocean Modeling System (ROMS)

ROMS er en generell havsirkulasjonsmodell utviklet spesielt for regionale sokkelområder og som bruker terrengfølgende koordinater (relative dyp) vertikalt. Dette sikrer god vertikaloppløsning også i grunne sokkelområder. Utviklingen av kildekoden til ROMS foregår i et internasjonalt miljø med jevnlig oppdateringer og versjonsendringer. En fullstendig versjonsliste fra 1999 til i dag finnes på

[https://www.myroms.org/wiki/Regional_Ocean_Modeling_System_\(ROMS\)](https://www.myroms.org/wiki/Regional_Ocean_Modeling_System_(ROMS)). ROMS er designet som en fleksibel modell med en rekke opsjoner for å velge ulike beregningsmetoder for blant annet adveksjon av hydrografiske egenskaper (temperatur og saltholdighet) og strøm, estimering av turbulens, mm. På denne måten har man muligheten for å optimalisere modelloppsettet for et spesifikt område eller bruksområde. *Norkyst800v2*, som er den versjonen som er brukt i opparbeidelsen av de modellresultatarkivene som beskrives her, er alle basert på samme versjon av ROMS (ROMS v3.5; <https://www.myroms.org>). I tillegg er en rekke hovedaspekter ved de ulike simuleringene felles, deriblant opsjonsvalg for adveksjon, estimering av turbulens mm. Å gi en detaljert beskrivelse av det felles modelloppsettet i de ulike versjonene av NorKyst800 ligger utenfor formålet med dette dokumentet, og vi vil her henvise til eksisterende litteratur (bl.a. Albretsen m.fl., 2011; Myksvoll m.fl. 2018; Asplin m.fl. 2020). Vi vil i stedet her gi en beskrivelse av forskjellene mellom de ulike modellresultatarkivene opparbeidet med *Norkyst800v2*. Merk blant annet at to av simuleringene (kalt Lus og Lus2) er kjørt for et litt mindre område, uten at dette skal ha særlig betydning for resultatene nær kysten og i fjordene (Figur 1), kanskje med unntak for Øst-Finnmark. Andre forskjeller går hovedsakelig på ulike data brukt som eksterne drivkrefter. Årsaken til disse forskjellene har vært ulik tilgang til denne type data.

Ingen av arkivene med modelldata fra NorKyst800 produsert av HI ligger direkte tilgjengelig på nett, men de kan distribueres fritt på forespørsel. Alle varslingsproduktene til MET, deriblant fra NorKyst800, ligger tilgjengelig fra <https://thredds.met.no/thredds/fou-hi/fou-hi.html> på standard netcdf-format (<https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/>).



Figur 1. Modellområder for de ulike NorKyst800-versjonene. Det blåfargede området viser utstrekningen til Operasjonell fra MET, samt Hindcast fra HI, begge NorKyst800v2. Den sorte linjen innenfor det fargede området i vest og nord viser modellområdet for arkivene Lus og Lus2, også NorKyst800v2. Den stiplete firkanten viser modellområdet for NorKyst800v3.

2.2 Inngangsdata til NorKyst800: eksterne drivkrefter

Drivkreftene som modellen trenger for å simulere de dynamiske forholdene i havet, er storskala bevegelser fra storhavet, atmosfære (vind m.m.), tidevann og elveavrenning (se Tabell 1). Disse inngangsdataene kommer fra andre modeller og databaser og kvaliteten kan variere med tiden. Her er man gjerne avhengig av at andre forskningsmiljøer utvikler og produserer dataene vi bruker som inngangsdata til NorKyst800, noe som gjør at man av og til må gjøre valg av hvilken datakilde som skal brukes, om man skal fortsette dataserien med en endring i drivkreftene eller stoppe dataserien og starte en ny med de nye drivkreftene. Siden det sjelden er slik at alle drivkreftene er tilgjengelig på konsistent versjon/format over hele arkiv-perioden, må det av og til gjøres kompromisser.

Tabell 1. Detaljer i eksterne drivkrefter som skiller de ulike simuleringene med NorKyst800. Forklaring på de ulike datakildene står beskrevet under. Institutt som er ansvarlig for datakilden er også nevnt (MET er Meteorologisk institutt, NVE er Norges vassdrags- og energidirektorat, SMHI er Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut).

| Internt navn | Arkivert tidsperiode | Atmosfæremodell | Åpne randbetingelser | Elveavrenning |
|---------------------------------------|---------------------------------|-----------------|--|--------------------|
| <i>Hindcast</i> | Jan 2005-Sep 2017 | HI/WRF3km | HI/SVIM4km | NVE/HBV |
| <i>Lus</i> | Okt 2017 – Jul 2021 | MET/AROME2.5km | MET/Nordic4km | NVE/Totalavrenning |
| <i>Lus2</i> | Okt 2017 – idag | MET/AROME2.5km | MET/Operasjonell* NorKyst800 | NVE/Totalavrenning |
| *Operasjonell (kjøres daglig ved MET) | Mar 2017 – idag/5-døgn fremover | MET/AROME2.5km | MET/TOPAZ4, men SMHI/NEMO-Baltic Sea-modell i Kattegat | NVE/Totalavrenning |

2.2.1 Åpne randbetingelser og initialisering

NorKyst800 initialiseres med data fra en storskala havmodell som også brukes til randverdier langs de åpne grenseflatene. Dette inkluderer vannstand og tre-dimensjonal strøm og hydrografi på alle åpne grenseflater (samt for hele modellområdet som initialbetingelse). I alle versjoner og arkiver med NorKyst800 har døgnmidlede verdier blitt brukt langs de åpne rendene ettersom tidevannet inkluderes fra en annen ekstern kilde (TPXO, Egbert og Erofeeva, 2002). I ROMS kan man velge mellom ulike metoder for å ta inn informasjon fra en ytre modell gjennom en åpen randbetingelse (Marchesiello m.fl., 2001). I alle NorKyst800-arkivene har vi brukt grenseflatebetingelsene beskrevet i Flather (1976) for normalkomponenten av de barotrope hastighetene og betingelsene beskrevet i Chapman (1985) for overflatehevning (uten tidevann), mens metoden beskrevet i Marchesiello m.fl. (2001) er vår valgte opsjon for å bruke strålingsbetingelse og nudging hhv. på signaler ut av og inn i modellområdet for både tredimensjonal strøm og hydrografi (saltholdighet og temperatur). Forskjellene i randbetingelser mellom de ulike arkivene ligger derfor i selve randverdiene, som kommer fra storhavsmodellene listet under.

SVIM4km

SVIM-arkivet er kjørt med ROMS-modellen (ROMS v3.2) og dekker alle de norske havområdene fra Nordsjøen til Barentshavet med en romlig oppløsning på ca. 4 km x 4 km. Modelloppsettet og resultatene er beskrevet i Lien m.fl. (2013, 2014). Hele arkivet er kjørt opp fra 1958 til 2021 av HI, men for NorKyst800 er det kun resultatene frem til september 2017 som er brukt ettersom vi da gikk over til å bruke data fra alternativ storhavsmodell. Modelldata med døgn- og månedsverdier fra SVIM4km er tilgjengelig fra <https://thredds.met.no/thredds/nansen-legacy.html>.

Nordic4km

Nordic4km er en operasjonell varslingsmodell som er satt opp og kjørt av MET. Modellen brukte omtrent samme beregningsgitter som SVIM4km. Nordic4km er faset ut som operasjonell modell til fordel for TOPAZ4 og er ikke lenger i operasjonell rutine (avviklet sommeren 2021), men resultatene frem til denne dato er fortsatt tilgjengelige fra <https://thredds.met.no/thredds/fou-hi/nordic4km.html>.

TOPAZ4

TOPAZ4 er et hav-sjøis data-assimilasjons-system for Nord-Atlanteren og Arktis som er utviklet ved NERSC (Nansen Environmental and Remote Sensing Center; Sakov m.fl. 2012) og kjøres operasjonelt ved MET som den arktiske varslingsmodellen i Copernicus Marine Service (<http://marine.copernicus.eu>). TOPAZ4 er basert på NERSC sin versjon av HYCOM-modellen (<https://www.hycom.org>) med en horisontal oppløsning på rundt 12 km. Den anvender Ensemble Kalman Filter (EnKF) som integrerer et dynamisk ensemble av kjøringer. EnKF tar for seg flere parametere og lar derfor TOPAZ4 assimilere flere hav og sjøis datatyper på en gang. Alle de operasjonelle dataproduktene er tilgjengelig fra <https://thredds.met.no/thredds/fou-hi/unmasked-class1-arctic.html>. Merk at modellene som bruker data fra TOPAZ4 langs de åpne rendene (*Operasjonell* og *Lus2*) bruker data fra NEMO-Baltic langs randa i Kattegat. NEMO-Baltic er den baltiske varslingsmodellen i Copernicus Marine Services (<https://doi.org/10.48670/moi-00010>), og den er antatt å være den varslingsmodellen for Østersjøen som best simulerer de hydrografiske forholdene bl.a. basert på de hydrologiske forholdene i alle tilstøtende land.

2.2.2 Atmosfæriske drivkrefter

Havmodeller er avhengige av atmosfæriske drivkrefter, som vind, i tillegg til informasjon om flere atmosfæriske parametere. Dette hentes vanligvis fra en atmosfæremodell, enten en atmosfærisk reanalyse eller en værvarslingsmodell. Fra atmosfæremodellene er ROMS satt opp til å lese inn lufttrykk ved bakkenivå, vind i 10 m høyde, temperatur og spesifikk fuktighet i 2 m høyde, totalt skydekke og total nedbør (i NorKyst800 med en tidsoppløsning på minst tre timer). Det legges stor vekt på tilstrekkelig god romlig oppløsning på atmosfæremodell-dataene for at dynamikken i fjordene skal simuleres realistisk (Myksvoll m.fl., 2012). I de fire NorKyst800v2-arkivene kommer atmosfæredataene fra to ulike atmosfæremodeller, WRF3km og AROME2.5km. Data fra WRF3km brukes imidlertid svært sjelden nå ettersom den operasjonelle værvarslingsmodellen ved MET genererer de dataene som er nødvendig for å drive strømmodellene på en god måte.

WRF3km

Havforskningsinstituttet har simulert atmosfæretilstanden for de norske havområdene med WRF (Weather Research and Forecasting model) som er utviklet av National Center of Atmospheric Research (NCAR). WRF-modellen er en mye brukt numerisk atmosfæremodell (Skamarock m.fl., 2008), og for vårt formål er den satt opp på et område med 3 km x 3 km romlig oppløsning som dekker et område litt større enn NorKyst800-området. WRF-simuleringene er initialisert med data fra ECMWF (European Centre for Medium Range Weather Forecasts) sin værvarslingsmodell med input av data hver 6. time.

AROME2.5km

Værvarslingsmodellen som benyttes ved MET, AROME (Müller m.fl., 2017) kjøres operasjonelt, og alle data ligger tilgjengelig på <https://thredds.met.no/thredds/metno.html>. AROME-modellen er satt opp på et område med 2.5 km x 2.5 km oppløsning og dekker et område litt større enn NorKyst800-området.

2.2.3 Elveavrenning

En viktig drivkraft for det fysiske miljøet og sirkulasjonen i den norske kystsonen er avrenningen fra vassdrag og elver. Så mye som rundt 12000 m³/s vann renner ut fra alle elvene langs hele kysten, og dette er nesten like mye som de rundt 15000 m³/s som kommer fra Østersjøen gjennom Kattegat (Sætre, 2007).

I alle NorKyst800-arkiv er det brukt daglige verdier av elveavrenning ettersom gode avrenningsdata er viktig for å produsere så realistisk simuleringer som mulig (Myksvoll m.fl., 2014). I NorKyst800 er hvert av de 247 vassdragene som renner ut i sjøen definert som en egen elv der posisjonen er satt der hvor vassdragets største elv ligger. Unntaket er Glomma hvor både vestlige og østlige utløp ved Fredrikstad er definert i modellen med hhv. 30 og 70% av avrenningen fra vassdrag nr. 2. Ferskvannet kommer ut i modellen med en fast definert vertikalprofil som varierer for hver elv avhengig blant annet av middelvannføringen. For små elver kommer ferskvannet primært ut i overflaten, mens for større elver kommer vannet ut også lenger ned i vannsøylen selv om mesteparten kommer i overflaten. De daglige transportene er hentet fra to ulike kilder fra NVE.

HBV (Hydrologiska Byråns Vattenbalanssektions modell)

Avrenningen fra alle vassdrag er modellert med en hydrologisk modell hos NVE (HBV, se Beldring m.fl., 2003) som tidligere er utviklet ved SMHI (Svenska Meteorologiska och Hydrologiska Institut). En HBV-modell er en nedbør-avløpsmodell som på bakgrunn av observert nedbør og lufttemperatur beregner avløp fra alle landets vassdrag. Avrenningen er altså kun beregnet ut fra naturlige variasjoner i værklime slik at magasinering ved demninger og overførsler mellom vassdrag utført av energiselskaper ikke er inkludert. I praksis innebærer dette gjerne for oppdemmete elver at avrenningen om vinteren er for lav i modellen, mens vårfloppen og andre flommer er overestimerte. Tidsserien fra HBV-modellen som er brukt i Hindcast strekker seg fra 1962-2018.

Totalavrenning (700-seriene)

Vannføring eller avrenning til kysten av Norge, beregnes med utgangspunkt i NVE sine observasjoner fra målestasjoner i ulike elver. Siden målestasjonene ikke dekker hele Norges areal, blir det utført en korreksjon/skalering basert på regresjon (for detaljer, se Pettersson 2012). Avrenning fra magasinerte vassdrag og elver er kun inkludert der hvor målestasjonen ev. er nedstrøms demningen. En god oversikt over om avrenningsdataene inkluderer slik magasinering eller ikke har vi ikke per nå. Fra 700-seriene mangler også avrenning fra noen få vassdrag, og vassdragsnummer og de tilhørende største elvene er listet opp i Tabell 2. For kyststrekningene der avrenningsdata mangler er det brukt klimatologisk avrenning basert på hele tidsserien (1962-2018) til HBV-modellen.

Tabell 2. Liste over vassdrag/kyststrekning og tilhørende store elver som mangler reelle vannføringsdata og hvor klimatologiske verdier er brukt i NorKyst800 (gjelder for arkivene Operasjonell, Lus og Lus2). Tilhørende produksjonsområde (PO) for lakseoppdrett er listet i siste kolonne.

| Vassdragsnr. | Middelvannføring (hele vassdraget, i m ³ /s) | Navn på største elv(er) i vassdraget | PO |
|--------------|--|--|----|
| 1 | 35 | Haldenvassdraget og Enningdalselva | 1 |
| 25 | 105 | Kvina og Fedaelva | 1 |
| 26 | 170 | Sira og Sokndalselva | 1 |
| 30 | 55 | Oltedalselva, Dirdalsåna, Forsandåna og Frafjordelva | 2 |
| 31 | 35 | Lysevassdraget | 2 |
| 33 | 56 | Årdalselva | 2 |
| 36 | 130 | Suldalsvassdraget | 2 |
| 37 | 70 | Saudavassdraget | 2 |
| 71 | 35 | Nærøydalselvi | 4 |
| 72 | 65 | Aurlandsvassdraget og Flåmselvi | 4 |
| 73 | 45 | Lærdalsvassdraget | 4 |
| 155 | 150 | Røssåga | 8 |

3 - Resultater fra de ulike NorKyst800-arkivene av betydning for lakselusmodellen

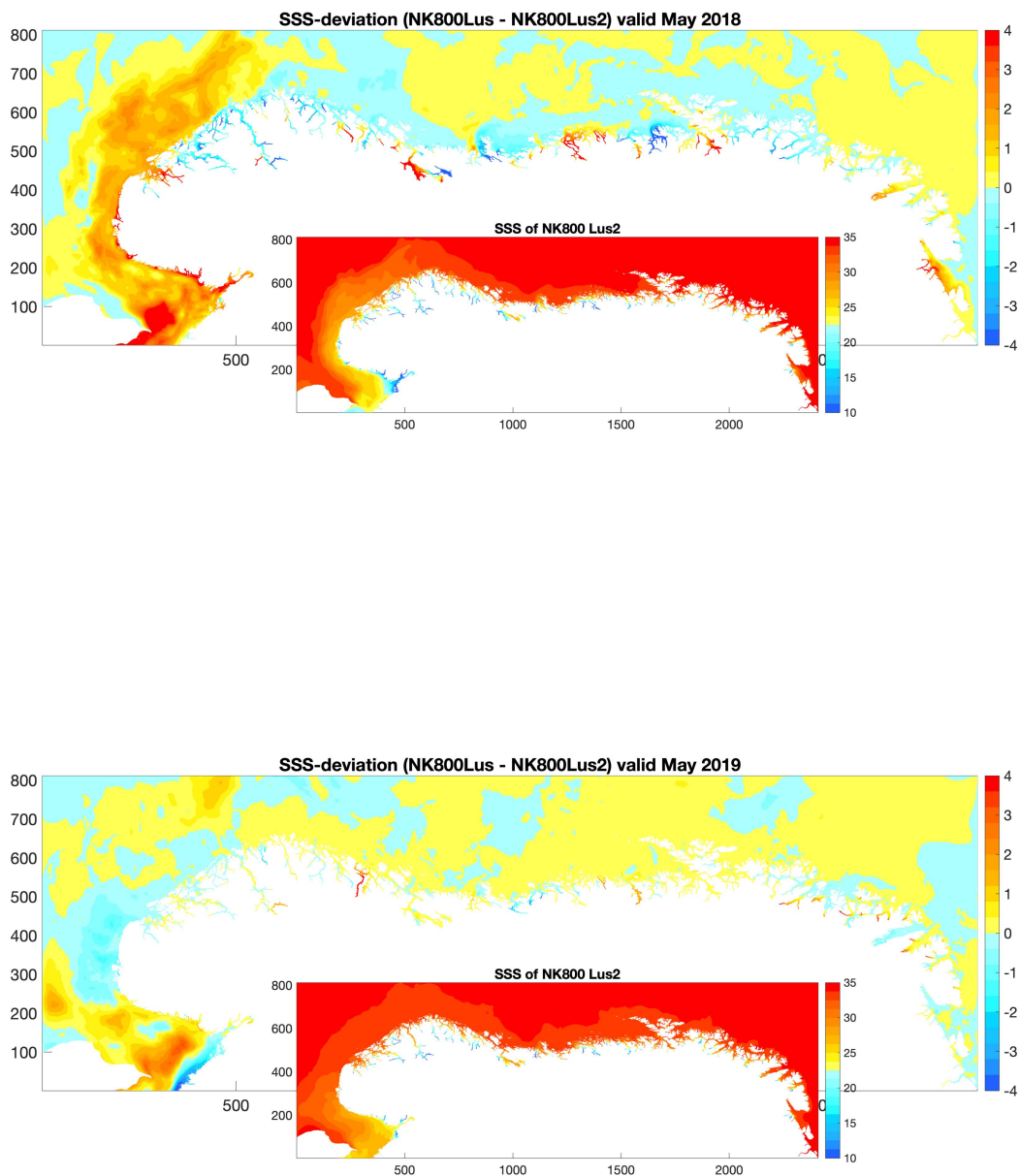
For all rapportering i 2022 har vi produsert et nytt arkiv fra og med høsten 2017 med arbeidsnavnet *Lus2*. I tillegg til at en feil i nedbør er rettet i forhold til rapporteringen som er gjort de få foregående årene, har vi også måttet endre datakilden til storhavsmodellen utenfor. For *Lus2* bruker vi data fra den *Operasjonelle* NorKyst800-modellen som kjøres daglig på MET, og denne bruker igjen TOPAZ4 på sine render (og NEMO-Baltic i Kattegat). Vi gjør oppmerksom på at nedbørfeilen ble introdusert i forbindelse med en omlegging av tilgjengelige nedbørfelter fra AROME-modellen ved Meteorologisk institutt der instantane nedbørsprognoser ble forvekslet med akkumulerte verdier.

3.1 Hydrografi

3.1.1 Overflateforhold

Av særlig viktighet for det modellerte smittepresset fra lakselus er saltholdigheten i overflatelaget. I tillegg til at man har en gradient fra kystområdene med verdi opp mot 35 til verdier ned mot 0 nær elveutløp, kan overflatesaltholdigheten variere mye på kort tid. Fjorder med ferskvannskilder har vanligvis et veldefinert overflatelag som varierer i tykkelse avhengig av hvor stor vannføringene er i de lokale elvene. Under dette overflatelaget, som typisk varierer i tykkelse fra 1-10 meter, har man gjerne en kraftig vertikalgradient i saltholdighet (og dermed også tetthet) over et mellomliggende vannlag som likner mer på vannmassene til havs. Så lenge strømmmodellene inkluderer viktige prosesser som vind, ferskvann fra elver og variabilitet i strøm og hydrografi utenfor fjordene på en realistisk måte, skal de klare å gjenskape fordelingen av vannmassene og variabiliteten av disse også inne i fjordene, slik som demonstrert av Dalsøren m.fl. (2020).

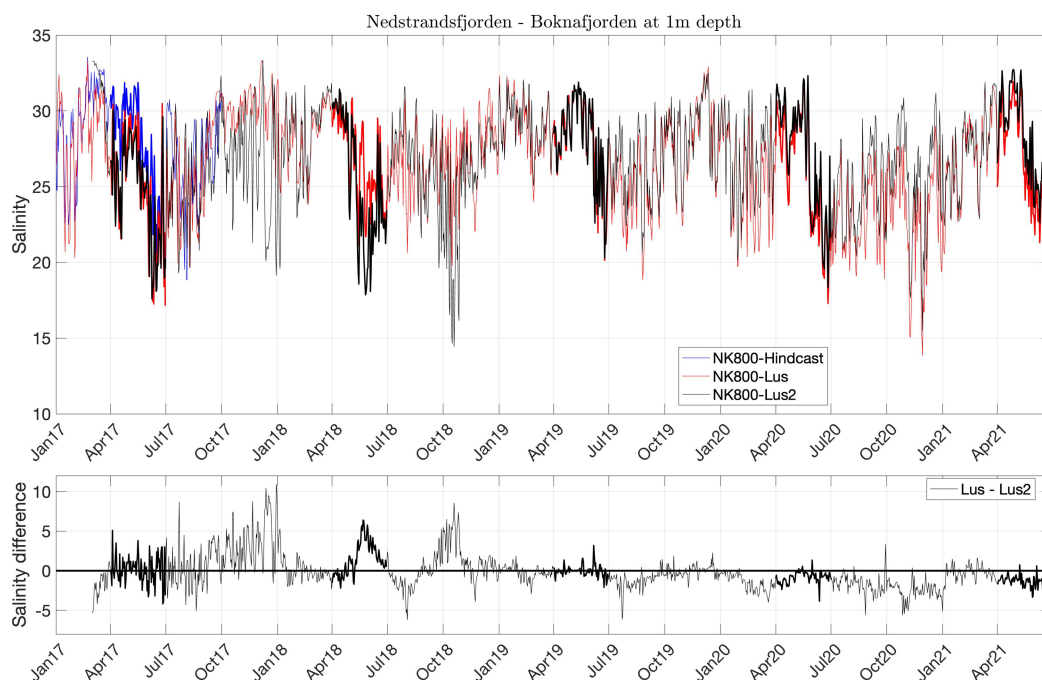
Ettersom oppdateringen fra *Lus* til *Lus2* innebar en endring av havmodell langs de åpne rendene samt en korrigerende av nedbørsfeltene, har vi undersøkt hvilken effekt dette har på saltholdigheten inne i fjordene. Bytte av storhavsmodell fra Nordic4km til TOPAZ4 for rendene utenom Kattegat ga kun små forskjeller i overflatesaltholdigheten i de norske fjordene og langs kysten, og avviket mellom storhavsmodellene er uansett mye mindre enn den variabiliteten man naturlig har i kystsonen. Større forskjeller er det derimot i overgangen til å bruke data fra NEMO-Baltic langs randa i Kattegat, siden dette innebar en endring fra å parameterisere saltholdigheten i vannmassene som strømmer ut fra Østersjøen gjennom Kattegat til å beregne saltholdigheten i en hydrodynamisk modell. I praksis betyr dette at vannmassene som strømmer ut av Østersjøen gjennom Kattegat er mindre salt. Figur 2 viser forskjellene i månedsmidlet overflatesaltholdighet mellom *Lus* og *Lus2* for mai måned i 2018 og 2019. For de store områdene til havs er differansen liten ettersom variabiliteten også er betydelig lavere her enn nærmere kysten. De største forskjellene er knyttet til saltholdigheten i Skagerrak og starten på Kyststrømmen der *Lus2* stort sett har noe lavere verdier som igjen henger sammen med at *Operasjonell* og *Lus2* benytter data fra Østersjø-modellen gjennom de åpne grenseflatene i Kattegat (ref. Tabell 1 og detaljer i Kap. 2). De ulike havmodellene Nordic4km og TOPAZ4/NEMO-Baltic som er brukt hhv. på de åpne rendene til *Lus* og *Lus2* medfører altså at saltholdigheten oppstrøms i Kyststrømmen har blitt endret, og som et resultat av dette endres også saltholdigheten i overflatelagene inne i noen av fjordene. Grunnen til responsen inne i fjordene er at den endrede saltholdigheten på kysten også endrer tetthetsfordelingen og dermed det dynamiske samspillet mellom Atlanterhavsvannet ute i havet, Kyststrømmen, og fjordbassengene, slik som grundig forklart i Sætre (2007). Merk at fortegnet på endringene ikke er entydig for noen av fjordene. Og for eksempel antyder valideringen vha. målepunktet ytterst i Sognefjorden (Figur 2, øverst) at det er veldig vanskelig å skille mellom hvilket modellarkiv som er mest realistisk ettersom alle kan sies å gi tilstrekkelig presise estimater. Forskjellene mellom *Lus* og *Lus2* medfører at man i enkeltperioder får relativt store forskjeller i overflatesaltholdigheten i ulike fjordområder, noe som kan påvirke resultatene til lakselusmodellen. Spesielt i mai 2018 ser man et noe «divergent» signal hvor *Lus* er en del salttere enn *Lus2* i noen fjorder, som for eksempel Boknafjorden som ligger i produksjonsområde 2 (PO2) og i deler av Trondheimsfjorden (PO6), mens i andre fjorder er derimot *Lus* noe ferskere enn *Lus2* (f.eks. i Hardangerfjorden (PO3) og Sognefjorden (PO4)). I mai 2019 har derimot begge modellarkivene relativt like saltholdigheter i de fleste fjordområdene.



Figur 2. Avvik i månedsmidler av overflatesaltholdighet mellom Lus og Lus2 for mai 2018 (øverst) og mai 2019 (nederst). Fargeskalaen går fra -4 til +4, og mens de blå fargene angir at Lus2 har høyere saltholdighet enn Lus, angir gul- og rødfarge at Lus har høyest saltholdighet. Det innskutte panelet viser overflatesaltholdigheten til Lus2 for de nevnte månedene.

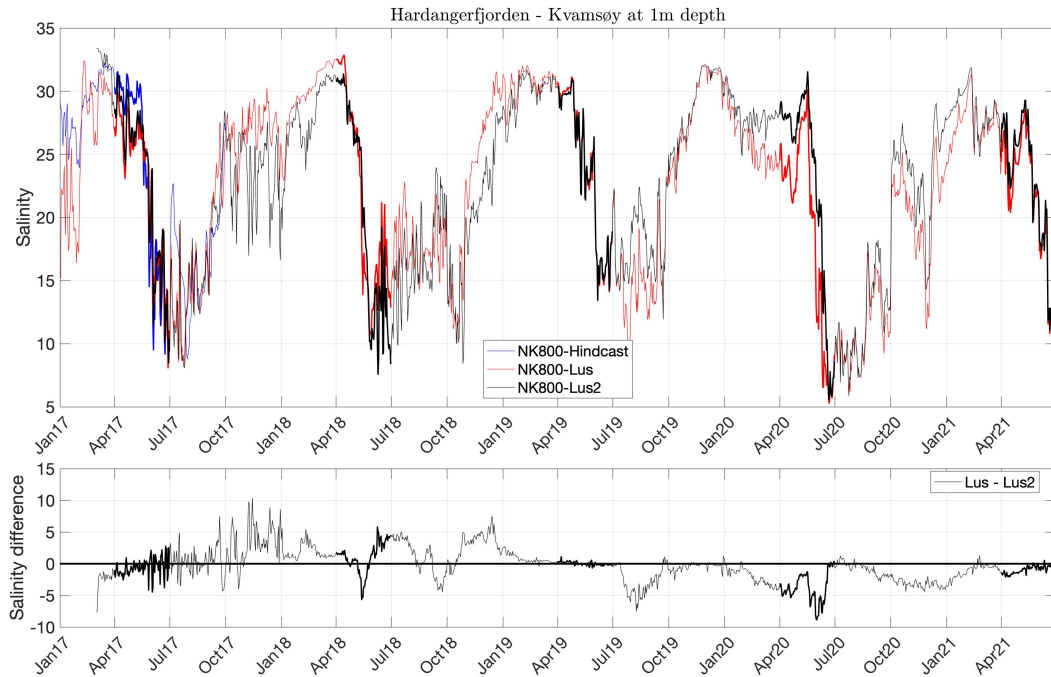
For å se nærmere på forskjellene i hvordan de to modellarkivene Lus og Lus2 gjenspeiler overflatesaltholdigheten inne i enkeltfjorder, har vi sammenliknet modellert saltholdighet i begge arkivene for noen representative punkter i både PO2, PO3, PO4 og PO12. Tidsserier fra Nedstrandsfjorden i PO2 viser at saltholdigheten i 1 m dyp varierer mellom 15 og 33 og med raske skifter (Figur 3). Vi finner at Lus og Lus2 varierer i forhold til hverandre, og de store forskjellene som ble påpekt i mai 2018 (Figur 2, øverst) kommer også tydelig frem. Det forekommer også andre månedslange perioder hvor

modellene avviker fra hverandre, og avviket er vanligvis størst når saltholdighetene er lavest. For vårperiodene mai-juni etter 2018 angir *Lus* og *Lus2* relativt like saltholdigheter. Det er ikke kjent hva det relativt store avviket om våren 2018 skyldes, utenom at vi antar at det henger sammen med forskjeller i tetthetsfeltet til Kyststrømmen og dermed endring i mekanismen som setter opp inn- og utstrømminger i fjordsystemet ut fra trykk/tetthetsgradienter. Dette er da et av punktene som vil bli grundig sjekket i *NorKyst800v3*.



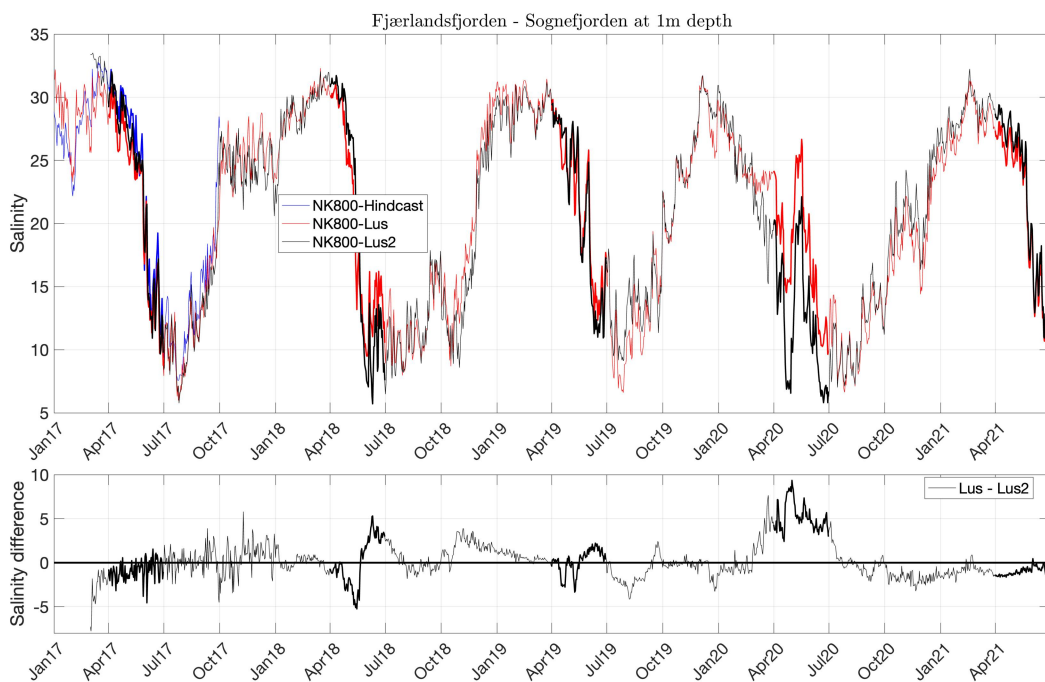
Figur 3. Tidsserie av overflatesaltholdighet (1 m dyp) fra et punkt i Nedstrandsfjorden (Boknafjorden, PO2) fra de tre NorKyst800-arkivene Hindcast (blå linje), *Lus* (rød) og *Lus2* (sort). Det nederste panelet viser forskjellen mellom *Lus* og *Lus2*. Månedene april-juni er fremhevet.

For lokaliteten utenfor Kvamsøy i Hardangerfjorden (PO3) viser modellene at saltholdigheten på 1 m dyp varierer mellom 5 og 33 (Figur 4). Hovedtrekkene er at *Lus* og *Lus2* samvarierer, men i enkelte tidsrom finner vi at modellene avviker noe fra hverandre, også her spesielt når saltholdigheten er lav eller endrer seg mye på kort tid. For vårperiodene mai-juni er saltholdigheten i *Lus2* noe lavere enn i *Lus* i 2018, ganske like i 2019 og 2020, mens *Lus2* er noe saltere enn *Lus* i 2021.



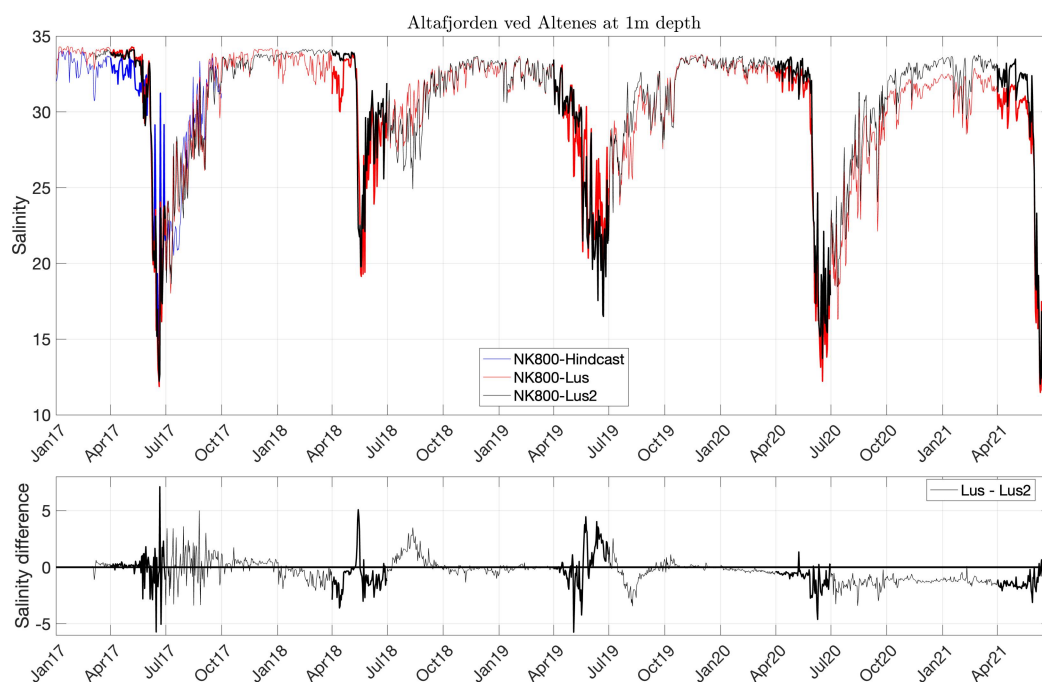
Figur 4. Som Figur 3, men for et punkt nær Kvamsøy innerst i Hardangerfjorden (PO3).

For en lokalitet utenfor Fjærlandsfjorden i Sognefjorden (PO4) viser modellene at saltholdigheten på 1 m dyp varierer mellom 5 og 33 (Figur 5). Hovedtrekkene også her er at *Lus* og *Lus2* samvarierer, men i enkelte tidsrom finner vi at modellene avviker noe fra hverandre, spesielt når saltholdigheten er lav eller varierer mye innenfor et kort tidsrom. For vårperiodene er saltholdigheten i *Lus2* noe høyere enn i *Lus* i perioden april til midten av mai 2018, mens det snur helt om siste del av mai og i juni. Modellene er ganske like i 2019 og 2021, mens i mai-juni 2020 er saltholdigheten i *Lus2* en del lavere enn i *Lus*.



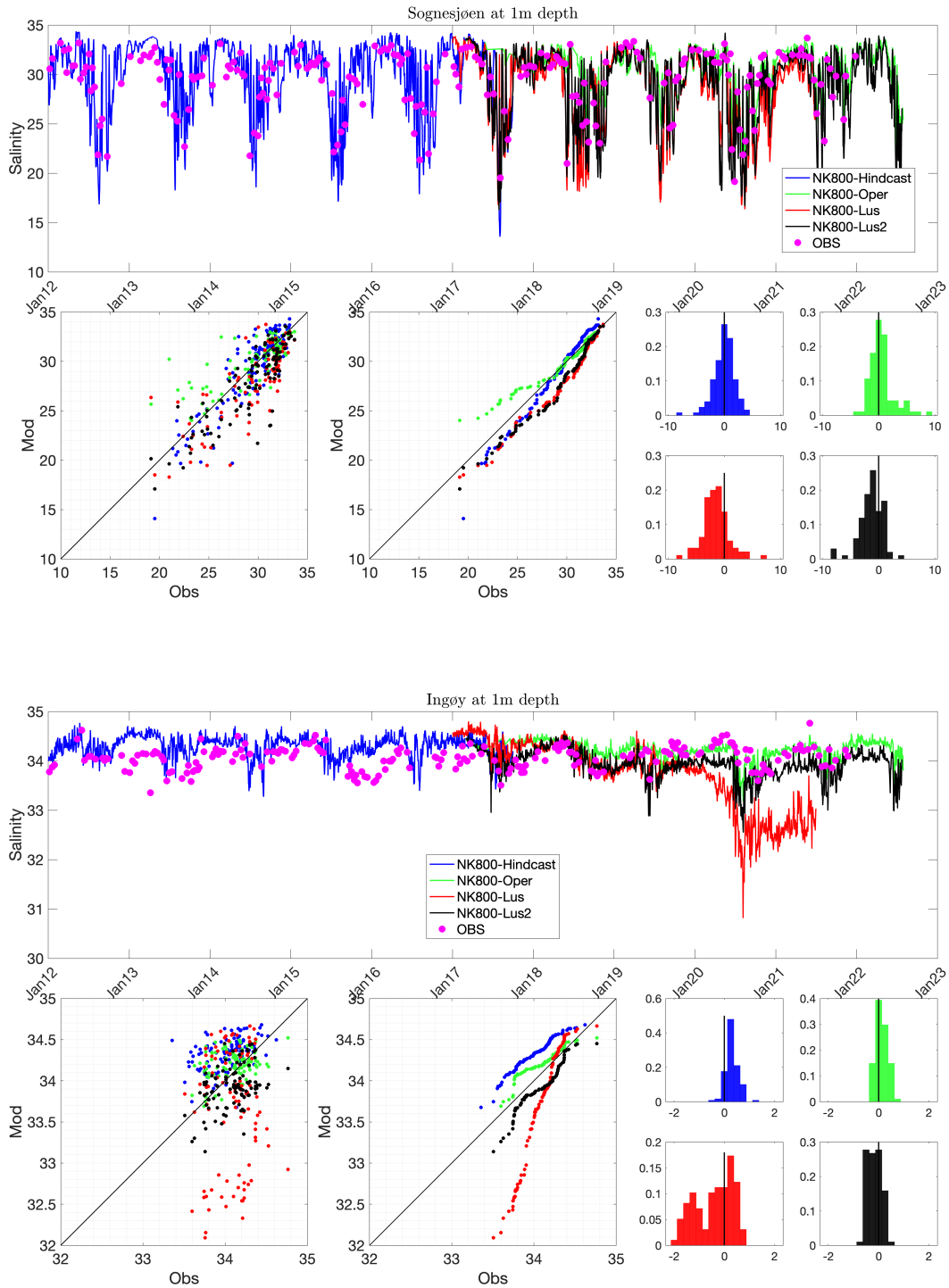
Figur 5. Som Figur 3, men for et punkt utenfor Fjærlandsfjorden midt i Sognefjorden (PO4).

For å representere de nordlige delene av landet har vi sammenlignet modellene ved en lokalitet utenfor Altenes i Altafjorden (PO12; Figur 6). Hovedtrekkene også her er at *Lus* og *Lus2* samvarierer, men i tillegg er hendelsene hvor modellene avviker fra hverandre mer kortvarige enn ved lokalitetene i fjordene på Vestlandet.



Figur 6. Som Figur 3, men for et punkt utenfor Altenes i Altafjorden (PO12).

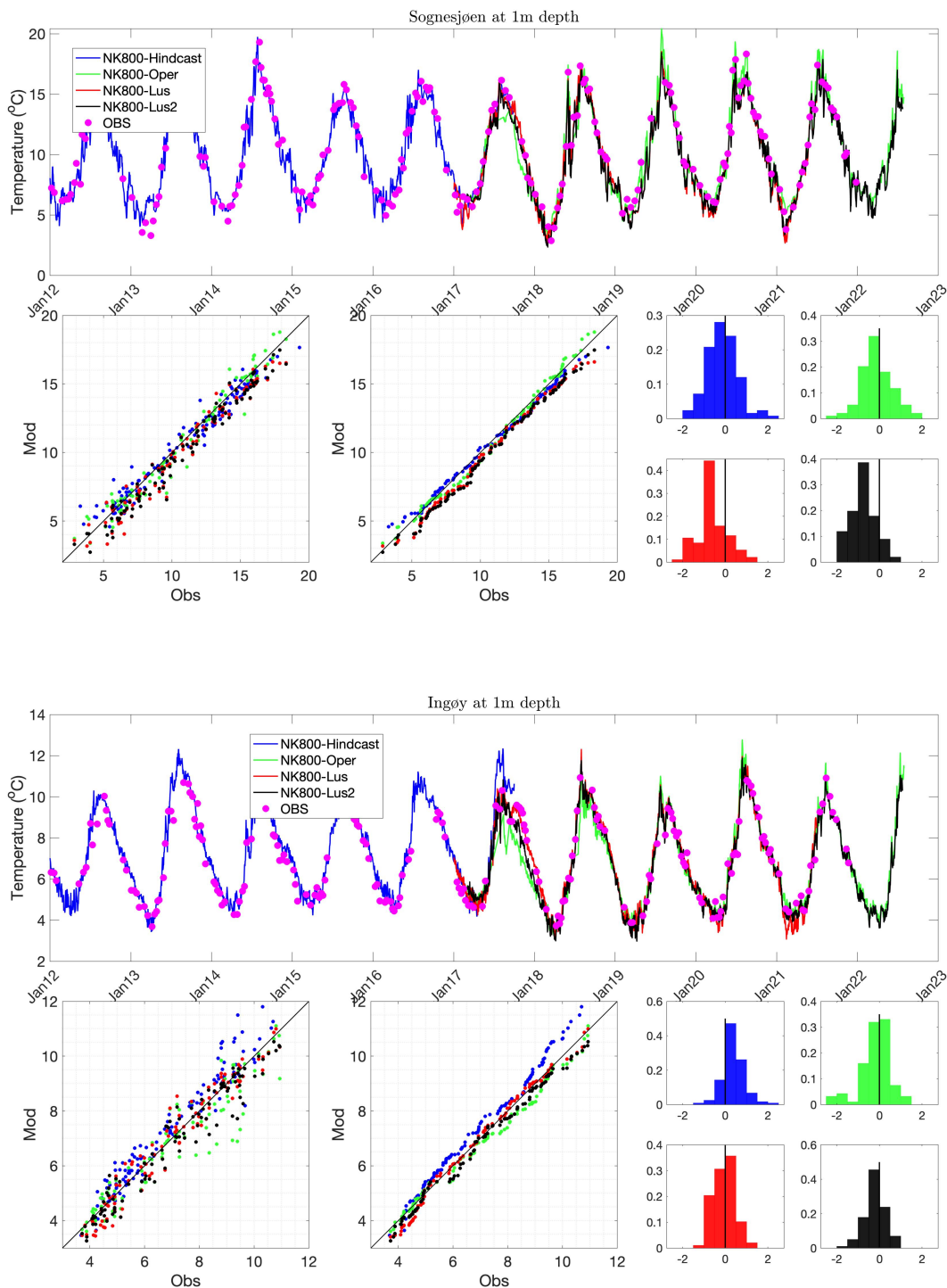
Sammenligner vi modellerte verdier av saltholdighet, temperatur og strøm med tilgjengelige observasjoner, ser vi hvor realistisk de modellerte fysiske forholdene er. Her sammenligner vi først modellert hydrografi med observasjoner gjort i overflaten ved de faste kyststasjonene (<http://www.imr.no/forskning/forskningsdata/stasjoner/index.html>). Kyststasjonene gir profiler av temperatur og saltholdighet i faste punkt langs kysten en til fire ganger i måneden. Figur 7 viser en sammenligning mellom modellert og observert saltholdighet ved en lokalitet i Sognesjøen ytterst i Sognefjorden (PO4) og en lokalitet ved Ingøydjupet langs kysten av Vest-Finnmark (PO12). Modellarkivene samsvarer generelt bra både seg imellom og med observasjonene i Sognesjøen, men frekvensfordelingen av avviket ligger hovedsakelig på negativ side i *Lus* og til en viss grad også i *Lus2*. Ved Ingøy ser man imidlertid tydeligere nedbørsfeilen i *Lus*, som manifesterer seg som en tydelig negativ bias og negativ frekvensfordeling etter 2019. Videre ser vi også at *Hindcast* har en generelt for høy saltholdighet sammenlignet med observasjonene.



Figur 7. De brede panelene viser tidsserie av overflatesaltholdighet (1 m dyp) fra måledata (lilla punkter) sammen med NorKyst800 Hindcast (blå linje), Operasjonell (grønn), Lus (rød) og Lus2 (sort) fra Sognesjøen (øverst) og Ingøy (nederst). De tre panelene under tidsseriene viser fra venstre: a) spredningsplott (observert og modellert verdi til samme tid plottet mot hverandre), b) q-q-plott (kvantil-kvantil-plott) der observerte og modellerte verdier først er arrangert i stigende rekkefølge og deretter plottet mot hverandre) og c) frekvensdiagrammer for modellens avvik i forhold til måledataene (verdi 0 vil bety ingen forskjell mellom måling og modell).

Den modellerte overflatetemperaturen langs norskekysten samsvarer bra for alle modellarkivene (Figur 8) der ulikheter og avvik fra måledataene kun dukker opp unntaksvis, noe som både kan skyldes svakheter med modellen eller like gjerne at observasjonene er tatt for sporadisk til å fange opp all variabilitet. De fleste temperaturene som er gjengitt i modellene ligger innenfor én grads usikkerhet sammenliknet med måledata. Vi gjør oppmerksom på at en slik

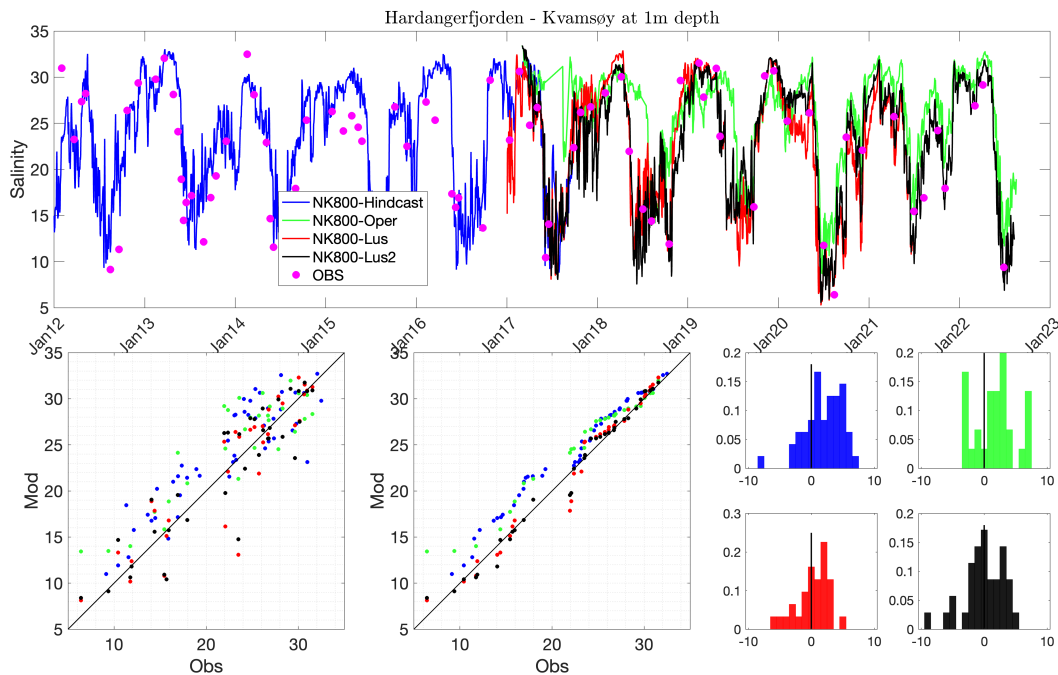
presentasjon av temperaturdata over flere år kamouflerer den variabiliteten som man kan ha i kystsonen på enkeltdager, f.eks. på dager med solfylt vær. I denne sammenlikningen både for saltholdighet og temperatur har vi brukt døgnmidler fra modellene, mens måledataene er innhentet noe tilfeldig på dagen. Dette kan forårsake utfordringer i forhold til representativitet, og derfor er det kun hovedtrekkene og eventuelle endringer i modellens kvalitet som kan vurderes og ikke de små detaljene.



Figur 8. Tilsvarende som Figur 7, men for overflatetemperatur (1 m dyp) i stedet for saltholdighet.

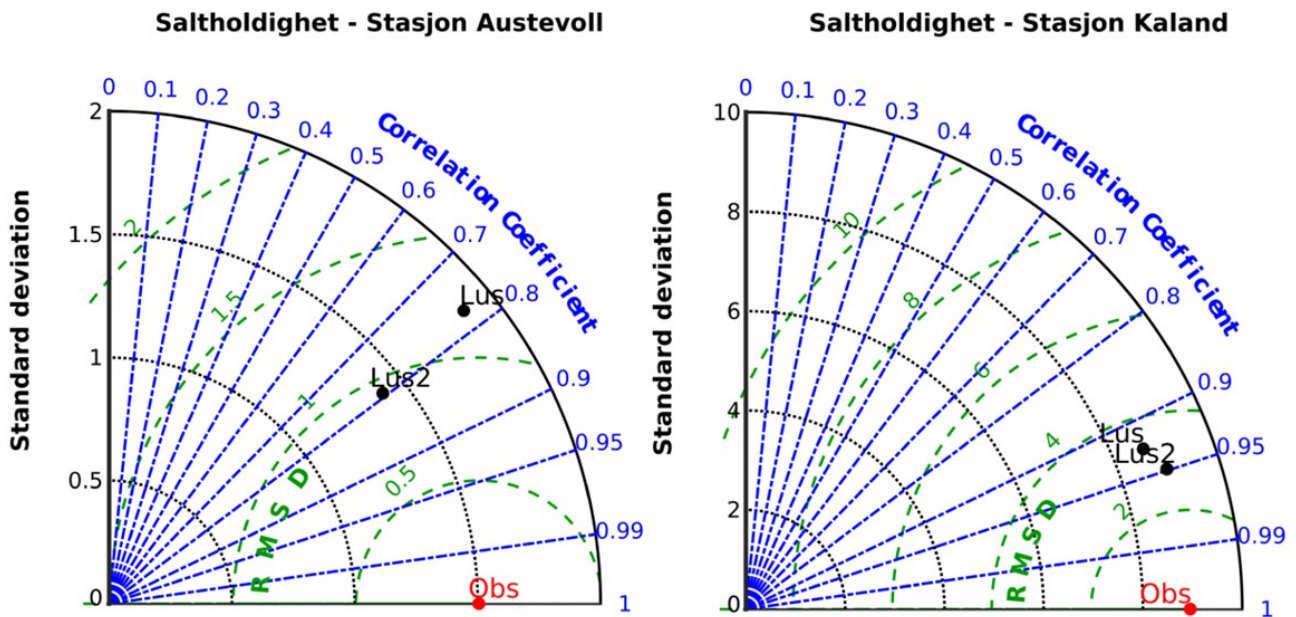
Målepunktene i Sognesjøen og ved Ingøy er ikke helt representative for det fysiske miljøet i selve fjordene selv om vannutvekslingen mellom kysten og fjordene i overflatelaget kan betegnes som god. På den annen side er det helt

nødvendig at NorKyst800 reproducerer forholdene realistisk langs kysten for at modellen også skal kunne gi fornuftige resultater inne i fjordene. Basert på hydrografiske data fra HI sin toktvirksomhet i Hardangerfjorden med omtrent månedlige målinger har vi sammenliknet de ulike NorKyst800-arkivene med overflateobservasjoner ved Kvamsøy inne i Hardangerfjorden (Figur 9). Saltholdigheten på 1 m dyp varierer mellom rundt 5 og 33 med normalt noe høyere verdier om vinteren og lave verdier når elvene i Hardangerfjorden har høy vannføring. Grafikken som vises i Figur 9 antyder at modellversjonene klarer å gjenskape variabiliteten i saltholdighet bra, men de store hoppene kamouflerer av og til at modelldata og måledata på enkelt dager kan avvike med mellom 5 og 10 enheter. På den annen side kan den naturlige variabiliteten gjennom døgnet være så stor at både flere enheters avvik mellom måledata og modell og flere enheters avvik mellom ulike modeller må anses som innenfor normalen av hva man kan forvente av et slikt hydrodynamisk modellsystem, spesielt tatt i betraktning at modellresultatene representerer døgnmidlede verdier mens observasjonene representerer punktmålinger ved spesifikke tidspunkt.



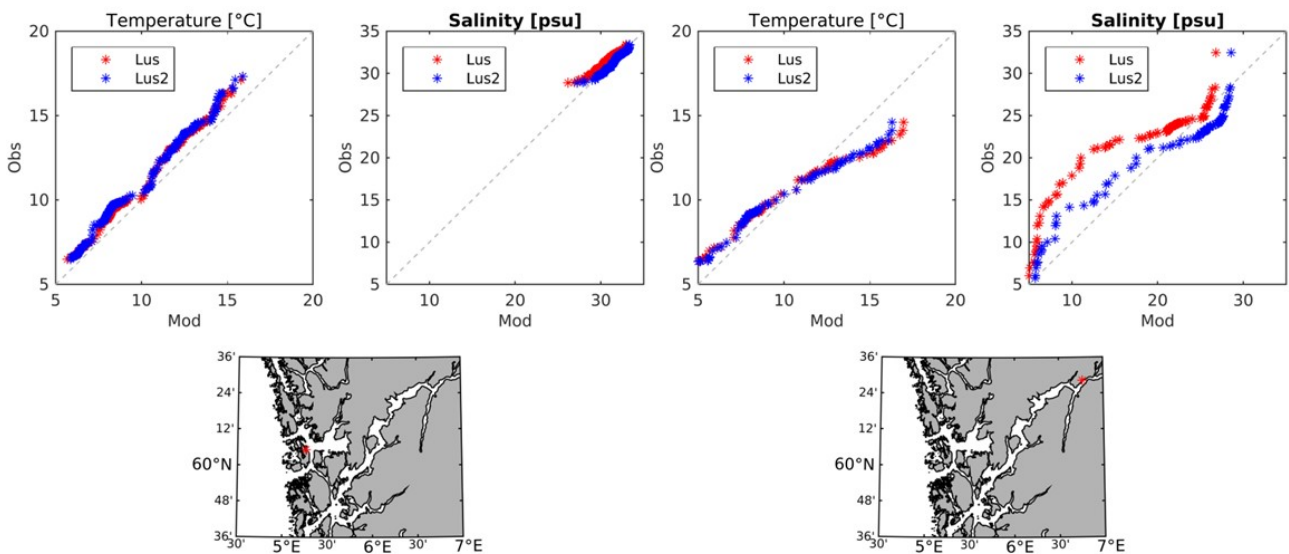
Figur 9. Tilsvarende som Figur 7, men for et punkt rundt Kvamsøy et godt stykke inne i Hardangerfjorden.

Figur 10 viser en sammenligning mellom modellert (*Lus* og *Lus2*) og observert overflatesaltholdighet ved Austevoll og Kaland i henholdsvis ytre og indre deler av Hardangerfjorden, i årene 2019 til 2021. Her har vi sammenliknet 24-timers midlede verdier fra modellarkivene med 24-timers midlede verdier fra observasjoner fra kontinuerlige målinger. Vi ser at i ytre deler av Hardangerfjorden (Austevoll) samsvarer *Lus* og *Lus2* når det gjelder korrelasjon mot observasjonene. *Lus* har noe høyere standardavvik enn observasjonene, mens standardavviket i *Lus2* er nær standardavviket til observasjonene. I indre deler av Hardangerfjorden (Kaland) er forskjellen mellom de to modellarkivene, *Lus* og *Lus2*, mindre enn i ytre strøk. I tillegg er både korrelasjonen med observasjonene høyere og standardavvikene i modellarkivene nærmere standardavviket i observasjonene. Begge modellarkivene gir med andre ord en svært realistisk representasjon av overflatesaltholdigheten i indre deler av Hardangerfjorden og en nokså realistisk representasjon av overflatesaltholdigheten i ytre deler av Hardangerfjorden.



Figur 10. Taylor-diagram over sammenligning mellom modellert (svart) fra Lus og Lus2 og observert (rød) overflatesaltholdighet ved Austevoll (venstre) og Kaland (høyre). Svarte stiplede linjer viser standardavvik. Blå stiplede linjer viser korrelasjon til observasjonene. Grønne stiplede linjer viser Root Mean Square Error fra observasjonene.

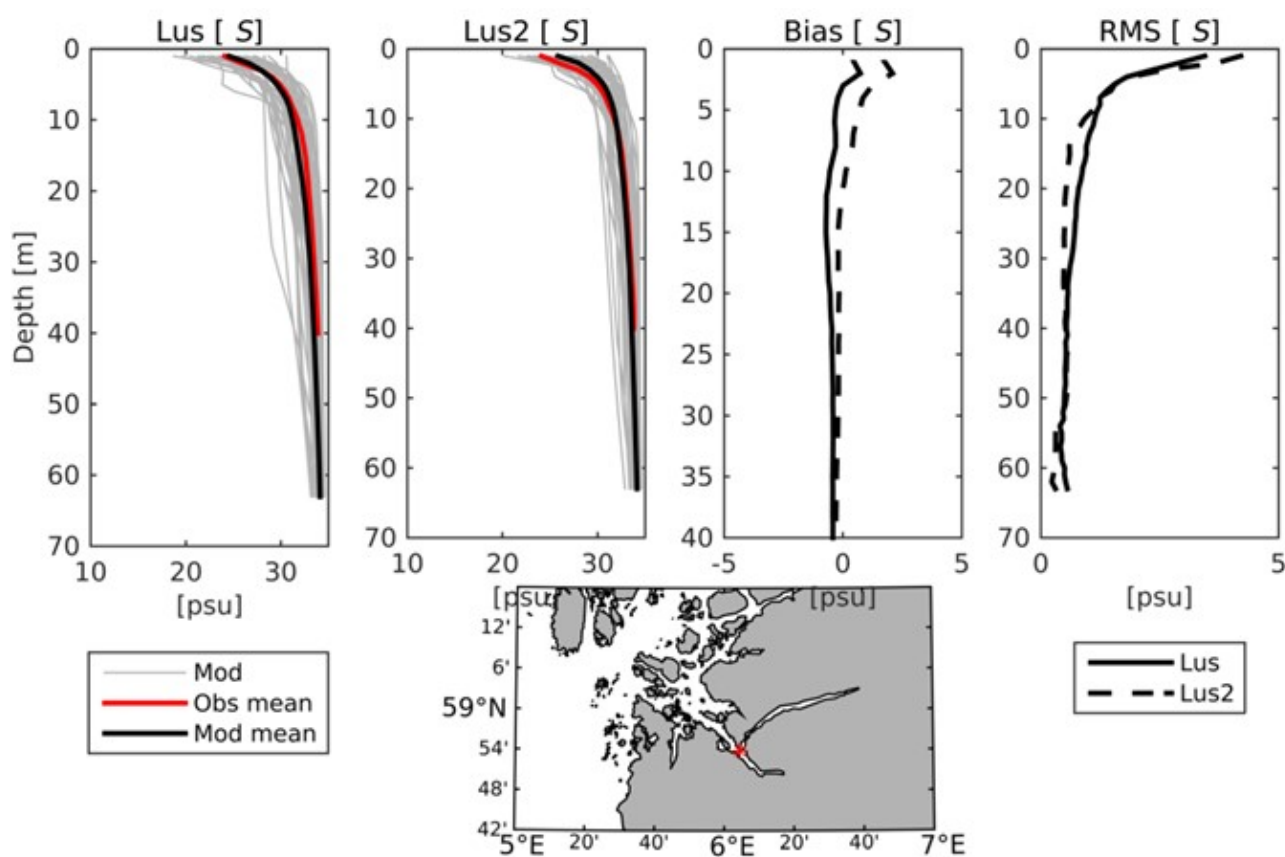
Figur 11 viser kvantil-kvantil plott som sammenligner modellert temperatur og saltholdighet med observerte verdier, hvor rangerte observerte verdier er plottet mot rangerte modellerte verdier fra henholdsvis Lus og Lus2. Her har vi benyttet 24-timers midlede verdier fra modell og observasjoner for vårperioden (april, mai og juni) i årene 2019 til 2021. Vi ser tydelig at modellert overflatetemperatur samsvarer godt med observerte temperaturer, med unntak av at modellarkivene har noe høyere maksimumstemperaturer i indre deler av Hardangerfjorden (Kaland). Videre ser vi at modellert saltholdighet samsvarer godt med observert saltholdighet i ytre deler av Hardangerfjorden (Austevoll), mens modellarkivene, og spesielt Lus, har for lav saltholdighet i forhold til observasjonene i perioder hvor saltholdigheten typisk er under 20-22. I perioder hvor saltholdigheten er høyere samsvarer begge modellarkivene godt med observasjonene.



Figur 11. Øverst er q-q-plott (kvantil-kvantil-plott) for temperatur og saltholdighet ved Austevoll (venstre) og Kaland (høyre). Figurene viser sammenligning mellom observasjoner og modellarkivene Lus (rød) og Lus2 (blå). Nederst er kart som viser posisjon til henholdsvis Austevoll og Kaland (røde stjerner) i utsnitt for Hardangerfjorden.

3.1.2 Vertikalstruktur

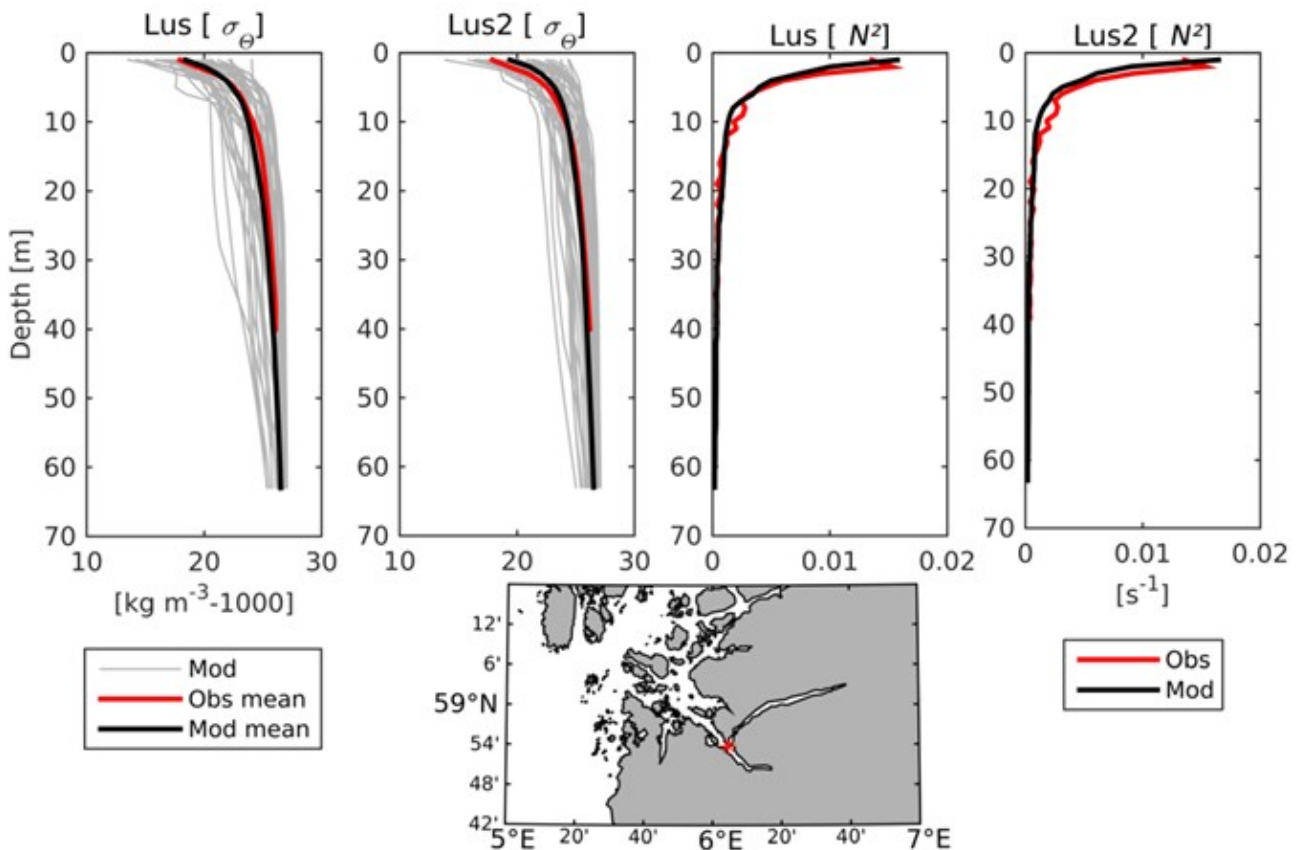
Vertikalstrukturen i hydrografien er viktig for de dynamiske forholdene og kan si noe om hvordan vannsøylen vil reagere på ytre drivkrefter. Figurene 12-14 viser vertikallprofiler basert på observasjoner av temperatur og saltholdighet ved en lokalitet i Lysefjorden. I Figur 12 ser vi gjennomsnittlig vertikallprofil av saltholdighet basert på gjentatte observasjoner og fra modellresultatene fra *Lus* og *Lus2* i tidspunktene for observasjonene. I tillegg vises alle modellerte vertikallprofilene for å vise spredningen i tid. Vi ser at begge modellarkivene samsvarer godt med observerte verdier gjennom hele vannsøylen, men *Lus* er noe ferskere enn observasjonene dypere enn 10 meter, mens *Lus2* er noe salttere enn observasjonene i de øvre 10 meter. Mens det noe ferskere overflatelaget i *Lus* sammenlignet med *Lus2* muligens kan tilskrives feilen i nedbørsmengde, ser vi samtidig at *Lus* likevel representerer saltholdigheten i øvre 10 meter bedre enn *Lus2* ved denne lokaliteten i Lysefjorden. Det tyder på at feilen i *Lus* har liten innvirkning på resultatene sør i modelldomenet og at andre feilkilder dominerer. Videre ser vi også at modellfeilen, representert ved RMS-feilen, er klart størst i de øvre 5 meter, hvor også variasjonen er størst. Og igjen ser vi at ved denne lokaliteten er feilen i overflaten noe mindre i *Lus* enn i *Lus2*.



Figur 12. Øverst er vertikallprofiler av saltholdighet i *Lus* og *Lus2* (venstre) og bias (modell – måling) og root-mean-square differanse (høyre). I venstre paneler viser grå linje alle modellprofiler i observasjonstidspunktene, svart linje viser middelprofilen fra modellen og rød linje viser middelprofilen fra observasjonene. I høyre paneler vises *Lus* som heltrukken linje og *Lus2* som stiplet linje. Nederst er kart som viser stasjonens posisjon (rød stjerne).

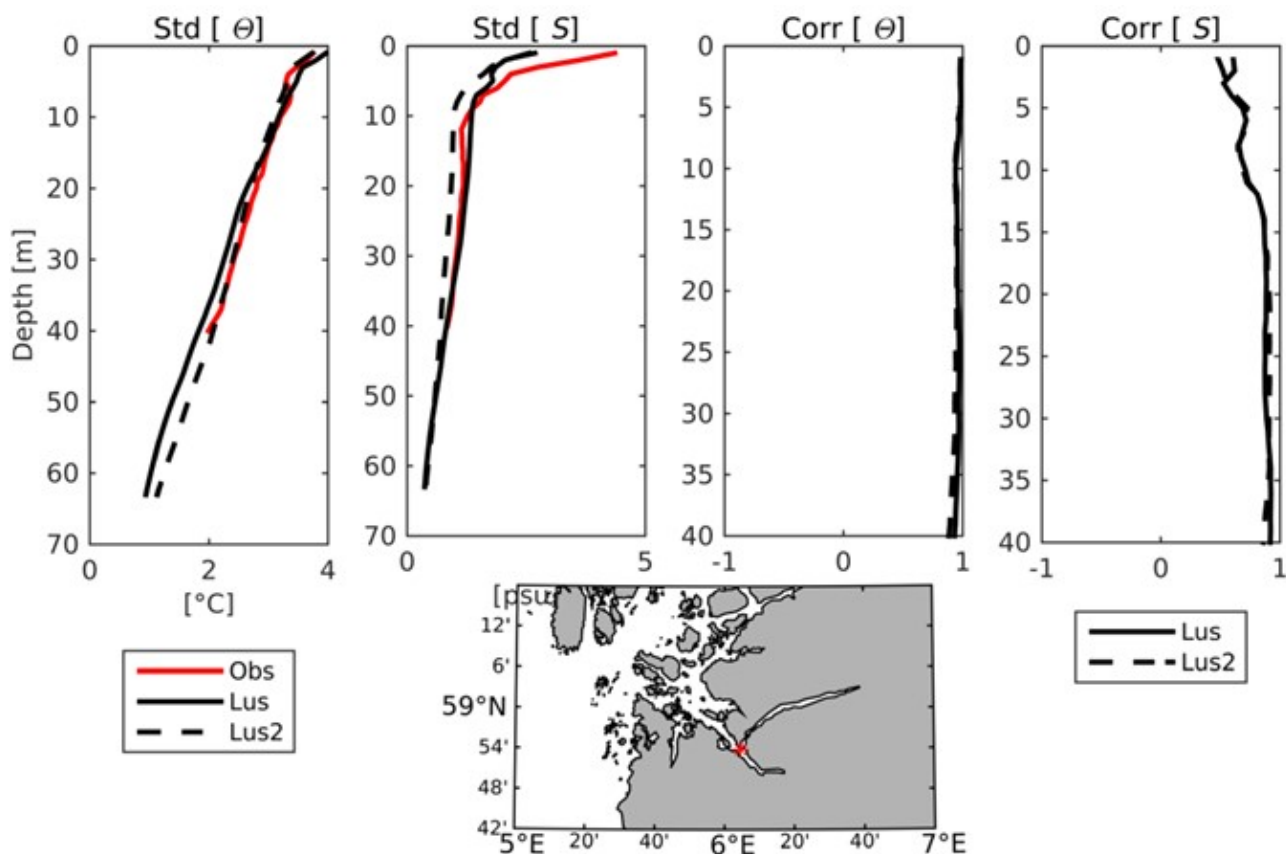
Figur 13 viser tilsvarende for potensiell tetthetsanomali, dvs. sjøvannets potensielle tetthet minus 1000 kg m^{-3} . Her ser vi igjen at begge modellarkivene viser god overensstemmelse med observasjonene, men samtidig at *Lus* har noe lavere tetthet enn observert under 10 meters dyp mens *Lus2* har noe lavere tetthet enn observert i de øvre 10 meter. Videre, ser vi på Brunt-Väisälä frekvensen (N^2), som måler styrken på den vertikale tetthetssjiktningen, ser vi igjen at modellarkivene stemmer godt overens med observasjonene, men med noen avvik spesielt i de øvre deler av vannsøylen hvor N^2 er størst. At N^2 i de modellerte arkivene stemmer overens med observerte verdier sier oss at modellen vil respondere realistisk på ytre drivkrefter som vind, ved at det overførte momentum fra vind til sjø vil kunne forplante seg realistisk nedover i vannsøylen og at det vil kreve tilsvarende energi i modellen som i observasjonene å bryte ned tetthetssjiktningen. Følgelig vil de modellerte hastighetene i henholdsvis øvre og dypere vannlag bli realistisk

gjengitt i modellen.



Figur 13. Samme som for Figur 12, men viser profiler for tetthetsanomali ($\text{kg m}^{-3} \cdot 1000$; venstre) og Brunt-Väisälä frekvens (s^{-1} ; høyre).

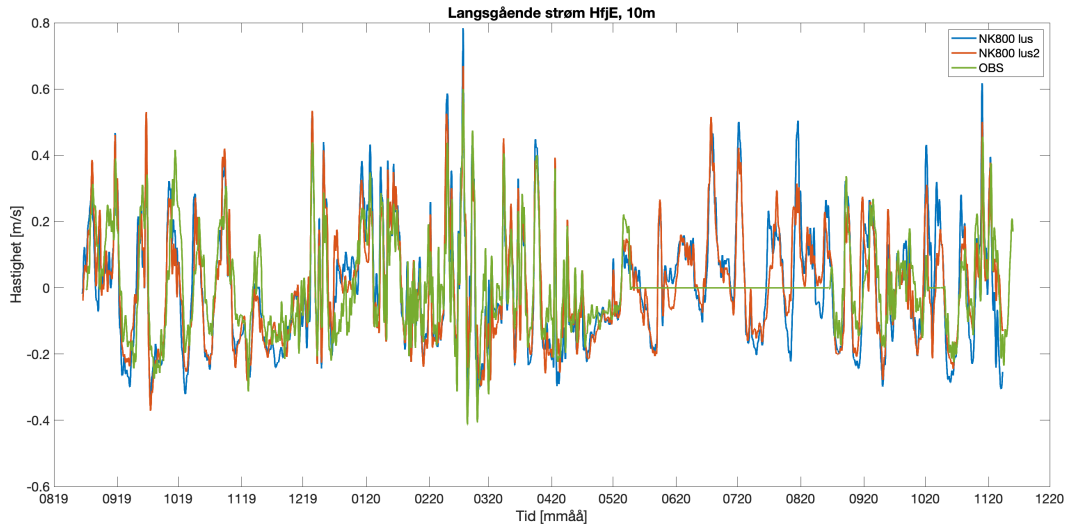
I Figur 14 ser vi på det statistiske samsvaret mellom modellarkivresultatene og observasjonene. For potensiell temperatur (Θ) ser vi at på denne lokaliteten i Lysefjorden har begge modellarkivene (*Lus* og *Lus2*) tilsvarende variasjon (her representert ved standardavvik) som observasjonene gjennom hele vannsøylen. For saltholdighet, derimot, ser vi at begge modellarkivene har noe mindre variasjon enn observert i de øvre 5 meter av vannsøylen, men ellers at variasjonen er tilsvarende som observert. Korrelasjonen mellom de to modellarkivene og observasjonene viser videre at modellert variasjon i potensiell temperatur også inntreffer samtidig med observert variasjon gjennom hele vannsøylen, mens det for saltholdighet er noen avvik, spesielt i øvre 15 meter av vannsøylen, både når variasjonen inntreffer og hvor sterk den er i modellarkivene sammenlignet med i observasjonene. Dette viser videre at det mest sannsynlig er avvik i saltholdighet som er årsak til (de relativt små) avvikene i N^2 i modellen sammenlignet med observasjonene (Figur 13). I tillegg ligger saltholdigheten nær overflaten i dette området innenfor spennet 23-31 hvor lakselus til en viss grad vil unngå vannmassene ved å trekke nedover i vannsøylen. Dermed vil de modellerte avvikene i saltholdighet i de øvre 10-15 meter kunne påvirke samsvaret mellom modellert og reell lakseluskonsentrasjon i dette området.



Figur 14. Samme som for Figur 12, men viser midlere profil for henholdsvis potensiell temperatur (°C) og saltholdighet (venstre) og korrelasjon mellom modell og observasjoner for henholdsvis potensiell temperatur og saltholdighet (høyre). Heltrukken linje viser resultater for Lus og stiple linje viser resultater for Lus2. Observasjonene er vist med rød linje.

3.2 Strøm og dynamikk

Selv om vi finner avvik mellom modellversjonene i forhold til saltholdighet i fjordene og langs kysten, viser en sammenlikning av modellert og observert strømstyrke på langs av fjorden midt i Hardangerfjorden at modellene samvarierer både seg imellom og med observasjonene (Figur 15). Både Lus og Lus2 sammenliknes her med observert strøm, og ingen av modellarkivene skiller seg spesielt ut. Vi finner episoder med enten innstrømning eller utstrømning som avviker litt både mellom modellarkivene og mot observasjonene, men stort sett gjenspeiler modellene sirkulasjonen i Hardangerfjorden ved denne lokaliteten utenfor Rosendal, som er valgt ut som observasjonslokalitet for å representere midtre deler av Hardangerfjorden.



Figur 15. Observert og modellert strøm på 10m dyp fra et målepunkt utenfor Rosendal i Hardangerfjorden fra august 2019 til desember 2020. Hastighetene langs fjordaksen som lavpassfiltrerte verdier med 24 timers avrundingsperiode vises der positive verdier betyr strøm innover fjorden og negative betyr strøm ut av fjorden. Målt strømfart er vist med grønn farge, og tilsvarende verdier fra NorKyst800 Lus og Lus2 er vist med henholdsvis blå og rød linje.

Vi har kun valgt å vise ett eksempel her på sammenlikning mellom modellert og målt strøm. Alle fjordene har sin særegne dynamikk samt at det eksisterer få strømmålinger inne i fjordene med opparbeidede data over lengre tid. Både Asplin m.fl. (2020) og Dalsøren m.fl. (2020) forklarer en del rundt hvordan et tilsvarende modellsystem gjenskaper strømf forholdene både utenfor Hordaland-kysten og inne i Hardangerfjorden. Konklusjonen er at modellen treffer godt mesteparten av tiden, mens i noen tidsperioder kan det oppstå misforhold i forhold til om det er inn- eller utstrømming i fjordene. I Albretsen og Asplin (2021a) blir NorKyst800 (Lus) grundig evaluert mot strømmålinger i fjorder på Mørkekysten, og også her er det veldig god overensstemmelse, selv om det kommer bedre frem at det naturlig nok vil være utfordringer i forhold til modellens oppløsning (800 m x 800 m) for mindre fjorder eller for gjenskaping av strøm nært land.

4 - Diskusjon

4.1. Utfordringene rundt overflatesaltholdighet

Når vi sammenligner overflatesaltholdighet i de to modellarkivene *Lus* og *Lus2* mot hverandre finner vi kortere perioder hvor forskjellen er relativt stor, men uten noen systematiske forskjeller i rom eller tid. Selv ikke etter at feilen i behandlingen av nedbør kom inn i *Lus* ser vi noen systematiske forskjeller, selv om *Lus* har en tendens til å ha lavere saltholdighet enn *Lus2* etter 2019, spesielt ved den nordligste lokaliteten (Altafjorden, PO12). Den største forskjellen inntreffer vanligvis om våren, når ferskvannsavrenning fra snøsmelting gjør at saltholdigheten er på sitt laveste, eller i overgangen til lavere saltholdighet (dvs. når endringen i tid er størst). Dette til tross for at data for ferskvannsavrenning er den samme i begge modellarkivene. Dette tyder på at forskjellen i saltholdighet i Den norske kyststrømmen, som følge av endring i randbetingelser, bidrar til å endre dynamikken også inne i fjordene og dermed tidspunktet for når overflatesaltholdigheten endres. Dette kan i sin tur påvirke de modellerte konsentrasjonene av lakselus, ettersom lakselusens vertikale fordeling er avhengig av saltholdigheten, spesielt når denne er i intervallet 23-31 som utgjør en glidende overgang fra et nivå hvor lakselusen er upåvirket av saltholdigheten ($S > 31$) til et nivå hvor lakselusen vil unngå overflaten ($S < 23$).

Den vesentlige forskjellen mellom *Lus* og *Lus2* i NorKyst800-systemet og som kan ha betydelig innflytelse på overflatesaltholdigheten i Skagerrak og langs Vestlandet er relatert til påvirkningen på den norske kystsonen fra avrenningen fra Østersjøen gjennom Kattegat. De ovenstående resultatene viser at begge modellarkivene i hovedtrekk samvarierer godt både seg imellom og sammenlignet med observasjoner når det gjelder hydrografiske overflateforhold i fjord- og kystområder. Disse forholdene påvirkes sterkt av lokale drivkrefter, slik som avrenning fra lokale elver, samt lokal vind som bidrar til å svekke brakkevannslaget gjennom økt blanding ved økt vindpådrag eller bevarer det når det er rolige vindforhold. Disse lokale drivkreftene og mekanismene er inkludert og parametrisert likt i begge modellarkivene. Østersjøvannet blir en del av Kyststrømmen i Skagerrak, og egenskapen til Kyststrømmen utenfor Vestlandsfjordene har stor betydning for hvilken oppholdstid fjordvannet har. Fra *Lus* til *Lus2* er Kyststrømmen utenfor Vestlandet byttet ut med en kyststrøm som inneholder noe lettere vann, og vannmassefordelingen langs kysten og i fjordene innenfor vil derfor endres. De ovenstående resultatene viser noen forskjeller i overflateforhold mellom *Lus* og *Lus2*, men uten at det alltid er mulig å sikkert relatere forskjellene til enten forskjellen i Kyststrømmen eller forskjellen i nedbørsfelt i de to modellarkivene. Spesielt ser vi at forskjellen i saltholdighet mellom de to modellarkivene er større i indre deler av både Hardangerfjorden og Lysefjorden enn i ytre strøk. Mens man intuitivt ville anta større påvirkning fra endringer i Kyststrømmen i ytre fjordstrøk, kan dette være et resultat av endret fjorddynamikk som følge av tetthetsforandringer i Kyststrømmen. Videre ser vi at forskjellen i saltholdighet mellom de to modellarkivene og observasjonene har motsatt fortegn i de to fjordsystemene (begge modellene er for ferske i Hardangerfjorden og for salte i Lysefjorden), mao. skyldes ikke forskjellen noen systematisk feil i det ene modellarkivet. Men vi ser samtidig at *Lus* er noe ferskere enn *Lus2* i begge fjordsystemene, noe som kan være et utslag av feilen i nedbørsmengde i *Lus*. Når vi kommer lenger nord er det imidlertid tydelig at nedbørsfeilen blir dominerende ettersom feilen akkumuleres nedstrøms (nordover) i Kyststrømmen.

4.2 Usikkerhet i forhold til variabilitet

Selv om vi nå har vist at det av og til er store forskjeller mellom de ulike NorKyst800-arkivene, må dette betraktes i sammenheng med den variabiliteten som man har i kystsonen. Statistiske mål for tidsseriene som er vist av overflatesaltholdighet i Figur 7 for Sognesjøen og Ingøy i Finnmark er listet opp i Tabell 3 og 4.

Variabiliteten til de ulike tidsseriene av overflatesaltholdighet er ofte beskrevet med standardavviket som da angir hvordan saltholdigheten avviker fra middelværdien. For Sognesjøen og Ingøy ligger standardavviket typisk rundt hhv. 3-4 og 0,2-0,3. Mens NorKyst800 *Hindcast*, *Lus* og *Lus2* gjenskaper realistiske standardavvik for målepunktet i Sognesjøen, har *Operasjonell* litt for lav variabilitet. Ved Ingøy viser alle modellene realistisk variabilitet, med unntak av *Lus* som har for høyt standardavvik. Det sistnevnte skyldes feilen i overdrevet nedbørsmengde, også angitt med en

negativ bias.

Hvis man antar at måledataene er korrekte, kan man gå i detalj i forhold til analyse av modellfeil ved å beregne standardavviket til modellavvikene. Et mål på dette er «Root Mean Square Error (RMSE)» som går ut på å ta kvadratroten av middelværdien til modellavvikene kvadrert. Det beste estimatet modellene kan ha på saltholdighet for enkeltpunktene er lik den observerte verdien, og RMSE gir da et mål på hvor spredt modellverdiene er fra denne "fasit". Ved å sammenlikne standardavviket til tidsserien med RMSE ser vi at for Sognesjøen er RMSE lavere for alle modellene. Selv NorKyst800 *Operasjonell* har litt lavere RMSE enn standardavvik til tross for at modellen underestimerer den faktiske variabiliteten. For målepunktet utenfor Ingøy er den naturlige variabiliteten i saltholdighet på 1 m dyp mye lavere enn i Sognesjøen. Alle modellen unntatt *Lus* gjensker denne variabiliteten veldig godt. Mens *Hindcast* har generelt litt for høye saltholdigheter i Kyststrømmen utenfor Finnmark, her representert med Ingøy, viser statistikken at *Operasjonell* og *Lus2* kun har små avvik fra måledataene. Rent modellteknisk vil et slikt punkt i modellen være svært avhengig av kvaliteten på storhavsmodellen som gir data til de åpne grenseflatene til NorKyst800, og systematiske avvik i disse modellen vil forplante seg inn mot kysten.

På den annen side er det langt fra sikkert at måledataene av saltholdighet på 1 m dyp er helt korrekte, eller fanger opp all variabilitet dersom de ikke blir tatt kontinuerlig (Sandvik m. fl. 2016). Spesielt tilfeller der man har sterke, vertikale og/eller horisontale gradienter, eller raske endringer i tid, kan det være utfordrende å gjøre representative målinger, og flere forhold rundt prøvetakingen og instrumenthåndteringen kan også introdusere feilaktige data. Disse faktorene har vi derimot ikke kontroll på, men statistikk over flere hundre prøvetakinger gir en god pekepinn på hva som fungerer bra i modellene og hva som fungerer mindre bra.

Applikasjoner som da benytter strømmodelldata fra f.eks. NorKyst800 og som kan være sensitiv for parametere som har høy naturlig variabilitet med tilhørende modellusikkerhet, bør så godt det er mulig designes til å kunne ta hensyn til både variabiliteten og usikkerheten.

Tabell 3. Statistikk for overflatesaltholdighet (1 m dyp) fra målepunktet i Sognesjøen ytterst i Sognefjorden og fra de fire NorKyst800-arkivene som er presentert i Figur 7. Verdiene for middel, 10-persentil, 90-persentil og standardavvik er basert på de tidsperiodene som er vist i Figur 7 (måledata ca. to målinger per måned og døgnmidlet modellverdier, antall datapunkter er angitt i kolonnen med middelværdier). Verdiene for bias, «Mean Absolute Error (MAE)» og «Root Mean Square Error (RMSE)» er basert på de verdiene hvor modelldata sammenfaller med måledata i tid (døgnmidlet modellverdi mot øyeblikkelig måleverdi, antall datapunkter er angitt i kolonnen med bias).

| | Middel | 10-pers. | 90-pers. | Std. avvik | Bias (mod-obs) | MAE | RMSE |
|--------------------------------|----------------|----------|----------|------------|----------------|------|------|
| Obs | 29.33 (N=215) | 24.19 | 32.50 | 3.19 | | | |
| NorKyst800 <i>Hindcast</i> | 30.02 (N=2101) | 24.35 | 33.42 | 3.72 | -0.08 (N=125) | 1.36 | 1.84 |
| NorKyst800 <i>Operasjonell</i> | 30.75 (N=1749) | 27.43 | 32.93 | 2.23 | 0.46 (N=94) | 1.44 | 2.16 |
| NorKyst800 <i>Lus</i> | 28.81 (N=1642) | 22.79 | 32.60 | 3.81 | -1.49 (N=95) | 2.16 | 2.73 |
| NorKyst800 <i>Lus2</i> | 29.05 (N=1857) | 22.96 | 32.60 | 3.75 | -1.32 (N=101) | 1.80 | 2.38 |

Tabell 4. Samme som Tabell 3, men her for målepunktet utenfor Ingøy i Finnmark.

| | Middel | 10-pers. | 90-pers. | Std. avvik | Bias (mod-obs) | MAE | RMSE |
|----------------------------|----------------|----------|----------|------------|----------------|------|------|
| Obs | 34.05 (N=119) | 33.75 | 34.35 | 0.24 | | | |
| NorKyst800 <i>Hindcast</i> | 34.29 (N=2101) | 34.02 | 34.53 | 0.21 | 0.31 (N=119) | 0.32 | 0.38 |

| | | | | | | | |
|--------------------------------|----------------|-------|-------|------|---------------|------|------|
| NorKyst800 <i>Operasjonell</i> | 34.23 (N=1749) | 34.02 | 34.42 | 0.18 | 0.11 (N=94) | 0.20 | 0.26 |
| NorKyst800 <i>Lus</i> | 33.73 (N=1642) | 32.58 | 34.52 | 0.70 | -0.41 (N=98) | 0.66 | 0.85 |
| NorKyst800 <i>Lus2</i> | 33.94 (N=1857) | 33.63 | 34.28 | 0.27 | -0.17 (N=101) | 0.26 | 0.32 |

4.3 Implikasjoner for Lakselusmodellen

Selv om det i 2022 er oppdaget en feil i *Lus* som involverer at nedbøren fra sent om høsten 2019 ble firedoblet, har ikke dette gitt signifikante utslag i de mest utfordrende PO'ene langs Vestlandet. Ved en sammenlikning mot målinger i for eksempel Sognesjøen ytterst i Sognefjorden gir ikke denne feilen noe markant utslag i for lave saltholdigheter (Figur 7, øverst). Lenger nord derimot ser vi at *Lus*-arkivet har fått et systematisk avvik i overflatesaltholdigheten for perioden 2020-2021, illustrert ved en sammenlikning av tidsserier av saltholdigheter i 1 m dyp utenfor Ingøy på Finnmarkskysten (Figur 7, nederst). Selv om data fra *Lus* ble satt sammen med data fra *Hindcast* for å dekke perioden 2012-nåtid i alle rapporter i 2016-2021 (f.eks. Albretsen og Asplin 2021b, Lien m.fl. 2021, Grefsrud m.fl. 2022 og Vollset m.fl. 2021), viser sammenligningene presentert her at resultatene fra strømmodellen ikke har påvirket særlig eller skapt større usikkerhet for nedstrøms modeller (som for eksempel lakselusmodellen). Videre kan vi, basert på resultatene presentert her, heller ikke se at dette har påvirket resten av rådgivningen innen akvakultur. Derimot illustrerer resultatene i denne rapporten først og fremst hvor stor variabilitet det er i det fysiske miljøet i de farvannene som berører lakselusens oppholdssted, og at denne variabiliteten må behandles fornuftig i alle anvendelser.

5 - NorKyst800v3

En revisjon av NorKyst800-systemet til en *NorKyst800v3* har pågått siden våren 2021. MET og HI samarbeider tett om dette, og selv om MET har en test-operasjonell versjon av *NorKyst800v3* som lager daglige varsler, produserer ikke denne tilfredsstillende resultater ennå. Endringene fra *NorKyst800v2* er store ettersom man har utvidet modellområdet til å dekke hele Norges økonomiske sone (se Figur 1) slik at den vestlige randen ligger lenger ut i Norskehavet. *NorKyst800v3* vil bruke en vesentlig nyere og mer oppdatert versjon av ROMS-koden sammen med et mer optimalisert oppsett av modellen. Inngangsdataene som driver modellen vil stort sett være de samme som for *NorKyst800v2*, men med det nye oppsettet på plass vil en vesentlig innsats settes inn på å utføre kontrollerte eksperimenter der en varierer en og en drivkraft/parametersetting slik at vi skaffer oss en bedre forståelse av følsomheten for endringer i disse. I tillegg vil den operasjonelle versjonen av *NorKyst800v3* hos MET få implementert 4D-Var-assimilasjon av måledata. Det er også planlagt å opparbeide et arkiv som strekker seg minst tilbake til og med 2012 og som er konsistent med den operasjonelle versjonen slik at man slipper å sette sammen ulike arkiver, som f.eks. *Hindcast* og *Lus2*.

Referanser

- Albretsen J, Sperrevik AK, Staalstrøm A, Sandvik AD, Vikebø F, Asplin L (2011) NorKyst-800 report no. 1: User manual and technical descriptions. *Fisken og Havet* 2/2011. https://www.hi.no/hi/nettrapporter/fisken-og-havet/2011/fh_2-2011_til_web.
- Albretsen J, Asplin L (2021a) Hvilken betydning har oppløsning for kyst- og fjordmodeller? - Validering og representasjonsberegninger av strømmodeller med eksempler fra Sulafjorden, Møre og Romsdal. Rapport fra havforskningen 2021-20. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2021-20>.
- Albretsen J, Asplin L (2021b) Fysisk oseanografiske forhold i produksjonsområdene for akvakultur, Rapport fra havforskningen 2021-49. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2021-49>.
- Asplin L, Albretsen J, Johnsen IA, Sandvik AD (2020) The hydrodynamic foundation for salmon lice dispersion modeling along the Norwegian coast. *Ocean Dynamics*. doi: 10.1007/s10236-020-01378-0.
- Beldring S, Engeland K, Roald LA, Sælthun NR, Voksø A (2003) Estimation of parameters in a distributed precipitation-runoff model for Norway. *Hydrol Earth Syst Sci* 7(3):304–316.
- Chapman DC (1985) Numerical treatment of cross-shelf open boundaries in a barotropic coastal ocean model. *J Phys Oceanogr* 15(8):1060–1075. [https://doi.org/10.1175/1520-0485\(1985\)015](https://doi.org/10.1175/1520-0485(1985)015).
- Dalsøren S, Albretsen J, Asplin L (2020) New validation method for hydrodynamic fjord models applied in the Hardangerfjord, Norway. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* 246, 107028. doi:10.1016/j.ecss.2020.107028.
- Egbert GD, Erofeeva SY (2002) Efficient inverse modeling of barotropic ocean tides. *J Atmos Ocean Technol* 19(2):183–204. [https://doi.org/10.1175/1520-0426\(2002\)019](https://doi.org/10.1175/1520-0426(2002)019).
- Flather R (1976) A tidal model of the northwest European continental shelf. *Mem Soc R Sci Liege* 10:141–164.
- Grefsrud ES m.fl. (2022) Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2022 – risikovurdering. Rapport fra havforskningen 2022-12. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2022-12>.
- Haidvogel D, Arango H, Budgell W, Cornuelle B, Curchitser E, Lorenzo ED, Fennel K, Geyer W, Hermann A, Lanerolle L, Levin J, McWilliams J, Miller A, Moore A, Powell T, Shchepetkin A, Sherwood C, Signell R, Warner J, Wilkin J (2008) Ocean forecasting in terrain-following coordinates: Formulation and skill assessment of the Regional Ocean Modeling System. *J Comput Phys* 227(7): 3595–3624, predicting weather, climate and extreme events. <https://doi.org/10.1016/j.jcp.2007.06.016>.
- Lien VS, Gusdal Y, Albretsen J, Melsom A, Vikebø FB (2013) Evaluation of a Nordic Seas 4 km numerical ocean model hindcast archive (SVIM), 1960-2011. *Fisken og Havet* 7/2013. https://www.hi.no/hi/nettrapporter/fisken-og-havet/2013/fh_7-2013_swim_til_web.
- Lien VS, Gusdal Y, Vikebø FB (2014) Along-shelf hydrographic anomalies in the Nordic seas (1960-2011): locally generated or advective signals? *Ocean Dyn* 64(7):1047–1059
- Lien VS, Johnsen IA, Sandvik AD, Myksvoll MS (2021) Modellert påvirkning av lakselus på vill laksefisk. Rapport fra havforskningen 2021-48. <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2021-48>.
- Marchesiello P, McWilliams JC, Shchepetkin A (2001) Open boundary conditions for long-term integration of regional oceanic models. *Ocean Model* 3(1):1–20. [https://doi.org/10.1016/S1463-5003\(00\)00013-5](https://doi.org/10.1016/S1463-5003(00)00013-5).
- Myksvoll MS, Sandvik AS, Skardhamar J, Sundby S (2012) Importance of high resolution wind forcing on eddy activity and particle dispersion in a Norwegian fjord, *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 113, 293-304,

10.1016/j.ecss.2012.08.019.

Myksvoll MS, Sandvik AD, Asplin L & Sundby S (2014) Effects of river regulations on fjord dynamics and retention of coastal cod eggs, *ICES Journal of Marine Science*, 71, 943-956, 10.1093/icesjms/fst113.

Myksvoll MS, Sandvik AD, Albretsen J, Asplin L, Johnsen IA, Karlsen Ø, Kristensen NM, Melsom A, Skardhamar J, Ådlandsvik B (2018) Evaluation of a national operational salmon lice monitoring system - from physics to fish, *PLOS ONE*, 13 10.1371/journal.pone.0201338.

Müller M, Homleid M, Ivarsson KI, Køltzow MA, Lindskog M, Midtbø KH, Andrae U, Aspelien T, Berggren L, Bjørge D, Dahlgren P, Kristiansen J, Randriamampianina R, Ridal M & Vignes O (2017) AROME-MetCoOp: a Nordic convective-scale operational weather prediction model. *Weather Forecast* 32:609–627, <https://doi.org/10.1175/WAF-D-16-0099.1>.

Pettersson L-E (2012) Totalavløpet fra Norges vassdrag 1900-2010. Rapport nr. 39/2012, Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE). https://publikasjoner.nve.no/rapport/2012/rapport2012_39.pdf.

Sakov P, Counillon F, Bertino L, Lisæter KA, Oke PR & Korabely A (2012) TOPAZ4: an ocean-sea ice data assimilation system for the North Atlantic and Arctic. *Ocean Science*. 8. 633-656. 10.5194/os-8-633-2012.

Sandvik AD, Skogen MD & Skagseth Ø (2016) Model validation: Issues regarding comparisons of point measurements and high-resolution modeling results, *Ocean Modelling*, 106, 68-73, 10.1016/j.ocemod.2016.09.007.

Shchepetkin AF, McWilliams JC (2005) The regional oceanic modeling system (ROMS): a split-explicit, free-surface, topography-following-coordinate oceanic model. *Ocean Model* 9(4):347–404. <https://doi.org/10.1016/j.ocemod.2004.08.002>.

Skamarock W, Klemp J, Dudhia J, Gill D, Barker D, Duda M, Huang XY, Wang W (2008) A description of the advanced research WRF version 3, NCAR technical note NCAR/TN-475+STR, p. 113.

Sætre R (2007) *The Norwegian Coastal Current - Oceanography and Climate*, Tapir Academic Press, 159 pp.

Vollset m.fl. (2021) Vurdering av lakselusindusert villfiskdødelighet per produksjonsområde i 2021. <https://www.regjeringen.no/contentassets/e2ce5edb567341eb8ac15fd46714417f/ekspertgrupperapport-2021.pdf>.



HAVFORSKNINGSINSTITUTTET

Postboks 1870 Nordnes

5817 Bergen

Tlf: 55 23 85 00

E-post: post@hi.no

www.hi.no