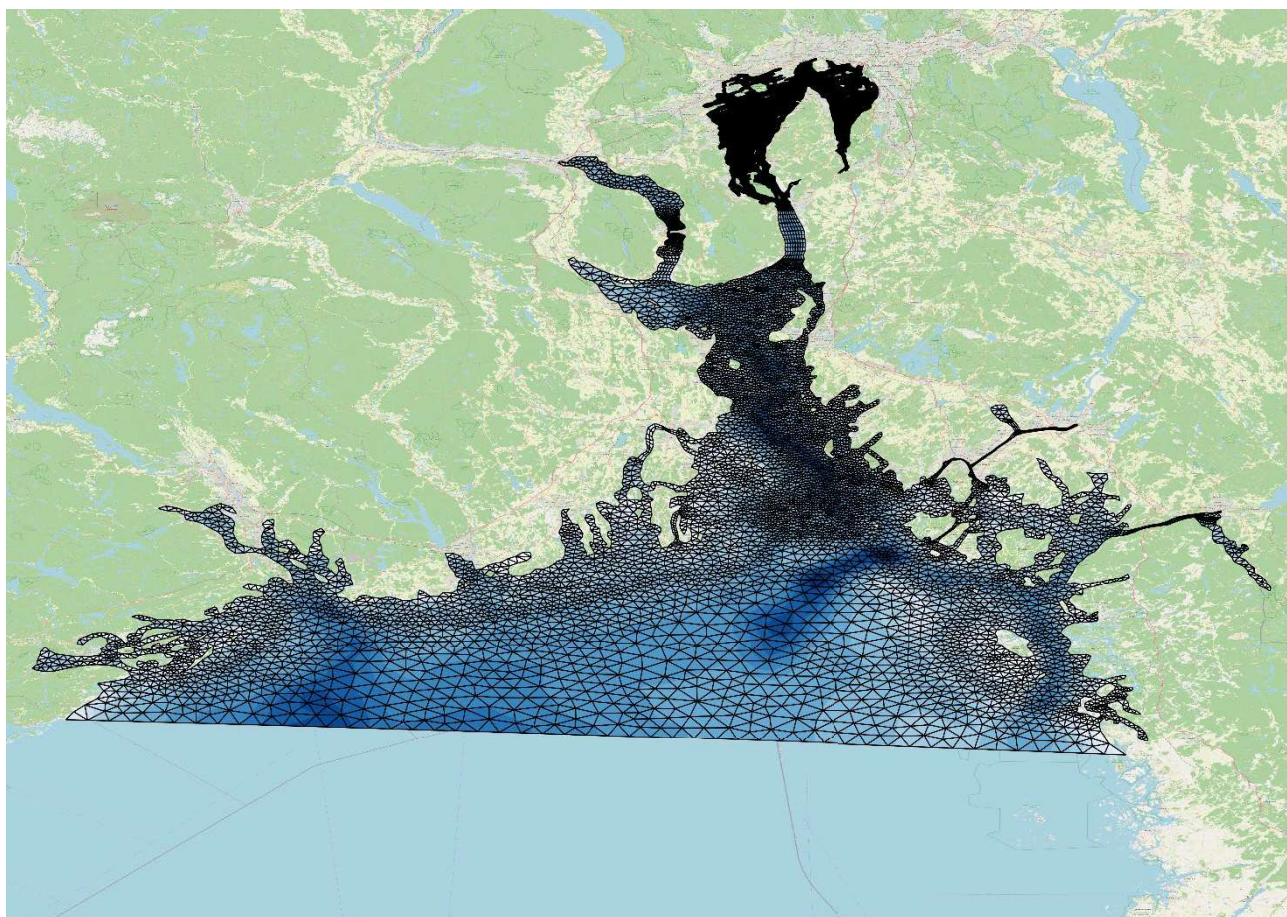


Hydrodynamisk Modellering Av Oslofjorden

Rapport
Prosjektnummer: 13801627-02

28.11.25

Laget for Multiconsult



Hydrodynamisk Modellering Av Oslofjorden

Rapport

Prosjektnummer: 13801627-02

Utarbeidet for: Multiconsult

Representert ved Martin Arntsen

Sluttkunde: Kystverket

Representert ved Henrik Kristoffersen, Benedikte Farstad Nashoug og Frode Seiersnes

Kontaktperson Multiconsult:	Martin Arntsen, martia@multiconsult.no , 917 35 601
Kontaktperson Kystverket:	Henrik Kristoffersen, Henrik.Kristoffersen@kystverket.no , 994 32 188
Prosjektleder:	Mathias Singaas Frøseth, msfr@dhigroup.com , 472 91 569
Kvalitetsansvarlig:	Ole Svenstrup Petersen
Forfatter:	Mathias Singaas Frøseth, msfr@dhigroup.com , 472 91 569
Prosjektnummer:	13801627-02
Godkjent av:	Charlotta Lövestedt
Godkjenningsdato:	28.11.25
Revisjon:	4.0 Endelig rapport
Filnavn:	Rapport_modellering_Oslofjorden_v4.docx

Innholdsfortegnelse

Sammendrag	4
1 Introduksjon	5
2 Oslofjorden	8
2.1 Kunnskapsgrunnlag	8
2.2 Hydrodynamisk modeller	9
3 Metode.....	10
3.1 Modelloppsett og validering	10
3.2 Scenarioer	11
3.3 Analyser	13
4 Resultater.....	18
4.1 Modellering av dagens situasjon.....	18
4.1.1 Indre bølger	23
4.2 Scenarioer	26
4.2.1 Nettostrøm	26
4.2.2 Transport.....	32
4.2.3 Salinitet og lagdeling	37
4.2.4 Salinitetsutvikling i bunnvannet	41
4.3 Endringer i vannmassestabilitet mellom scenariene.....	52
5 Diskusjon	56
5.1 Antagelser i tidligere teori	57
5.2 Indre bølger	58
6 Konklusjon.....	64
7 Referanser	66

Vedlegg

Vedlegg A Kalibrering og validering av modellen

Vedlegg A.1	Input til modellen
Vedlegg A.2	Hydrologisk avrenningsmodell for Oslofjorden
Vedlegg A.3	Modellområde og -oppløsning av den hydrodynamisk modellen
Vedlegg A.4	Modellvalidering
Vedlegg A.4.1	VT65 – Missingen
Vedlegg A.4.2	Im2 – Elle
Vedlegg A.4.3	Dk1 - Steilene
Vedlegg A.4.4	Ep1 – Bunnefjorden
Vedlegg A.4.5	Vannstand

Vedlegg B Årlige resultater for transport gjennom tverrsnitt

Sammendrag

Denne rapporten er utarbeidet av DHI på oppdrag fra Multiconsult for å vurdere hvordan et eventuelt tiltak ved jetéen mellom Småskjær og Hurumlandet kan påvirke vannutskiftningen i Indre Oslofjord. Drøbaksundet er i dag den viktigste terskelen for vannutveksling mellom ytre og indre deler av fjorden, og et eventuelt tiltak kan endre strømforhold og saltbalanse i betydelig grad. For å undersøke dette er det satt opp en tredimensjonal hydrodynamisk modell av Oslofjorden.

Modellen er kalibrert mot målinger fra perioden 2018–2019 og validert mot data fra 2020–2023, med utgangspunkt i måleprogrammene "Overvåkning av Indre Oslofjord" og "Overvåkning av Ytre Oslofjord". Valideringen viser godt samsvar med observasjoner for både salinitet, temperatur og vannstand, og modellen anses som egnet til å vurdere prosesser knyttet til dypvannsinnebrudd og vertikal blanding.

To scenarioer med åpning i jetéen er analysert og sammenlignet med dagens situasjon (Baseline): Scenario 1 med en 140 meter bred åpning ned til 10,4 meter dyp, og Scenario 2 med en 150 meter bred åpning ned til 24 meter dyp. Det er gjennomført analyser av salt- og volumtransport gjennom fire representative tverrsnitt i fjorden, samt tidsserier og dybdeprofiler ved målestasjoner.

Transportanalysene viser at åpningen i jetéen gir en tydelig omfordeling av vannmassene. I Scenario 2 ser man at en andel av vanntransporten nå går gjennom jetéåpningen, særlig i dypere vannlag, mens transporten over Drøbaksterskelen reduseres.

Ved målestasjonene i området er utviklingen i dypvannets salinitet analysert for hele modellperioden. Alle dypvannsinnebrudd som observeres i Baseline forekommer også i scenarioene, noe som tyder på at terskelpassering og blandingsprosesser fortsatt skjer. Samtidig viser Scenario 2 sterkere lagdeling og tendens til tregere vertikal blanding i de indre delene av fjorden. Dette kan føre til at oksygenfattig bunnvann fornyes saktere, selv om det tilføres mer saltvann.

Analysene av vannmassenes stabilitet, uttrykt ved den potensielle energianomalien (PEA), viser at forskjellene mellom scenarioene er små sammenlignet med den naturlige sesongvariasjonen i fjorden. Samtidig gir den dypere åpningen i Scenario 2 noe større svingninger i stabiliteten, med perioder av både økt oppblanding og økt lagdeling. Dette indikerer at tiltaket i hovedsak endrer dynamikken i vannmassene, snarere enn å gi en varig forskyvning i gjennomsnittlig stabilitet.

I tillegg er det gjennomført en egen fortynningsmodellering for Scenario 2, som viser hvordan vannmassene utenfor Drøbaksterskelen trenger inn og når helt ned til dypet i Bunnefjorden. Denne analysen gir nyttig innsikt i hvor langt og hvor effektivt dypvann kan forplante seg inn i fjorden, og illustrerer dypvannsinnebrudd på en direkte og visuell måte. Siden analysen kun er gjennomført for Scenario 2, gir den ikke grunnlag for sammenligning med Baseline og Scenario 1, men den bekrefter funnene fra salinitets- og transportanalysene.

Samlet sett viser analysene at en åpning i jetéen endrer transportmønstrene i fjorden og øker tilførselen av saltvann. Scenario 2 gir størst endring, men også økt stabilitet i vannsøylen. Det er derfor ikke mulig å trekke en entydig konklusjon om tiltakets samlede effekt på vannutskiftningen uten nærmere analyse.

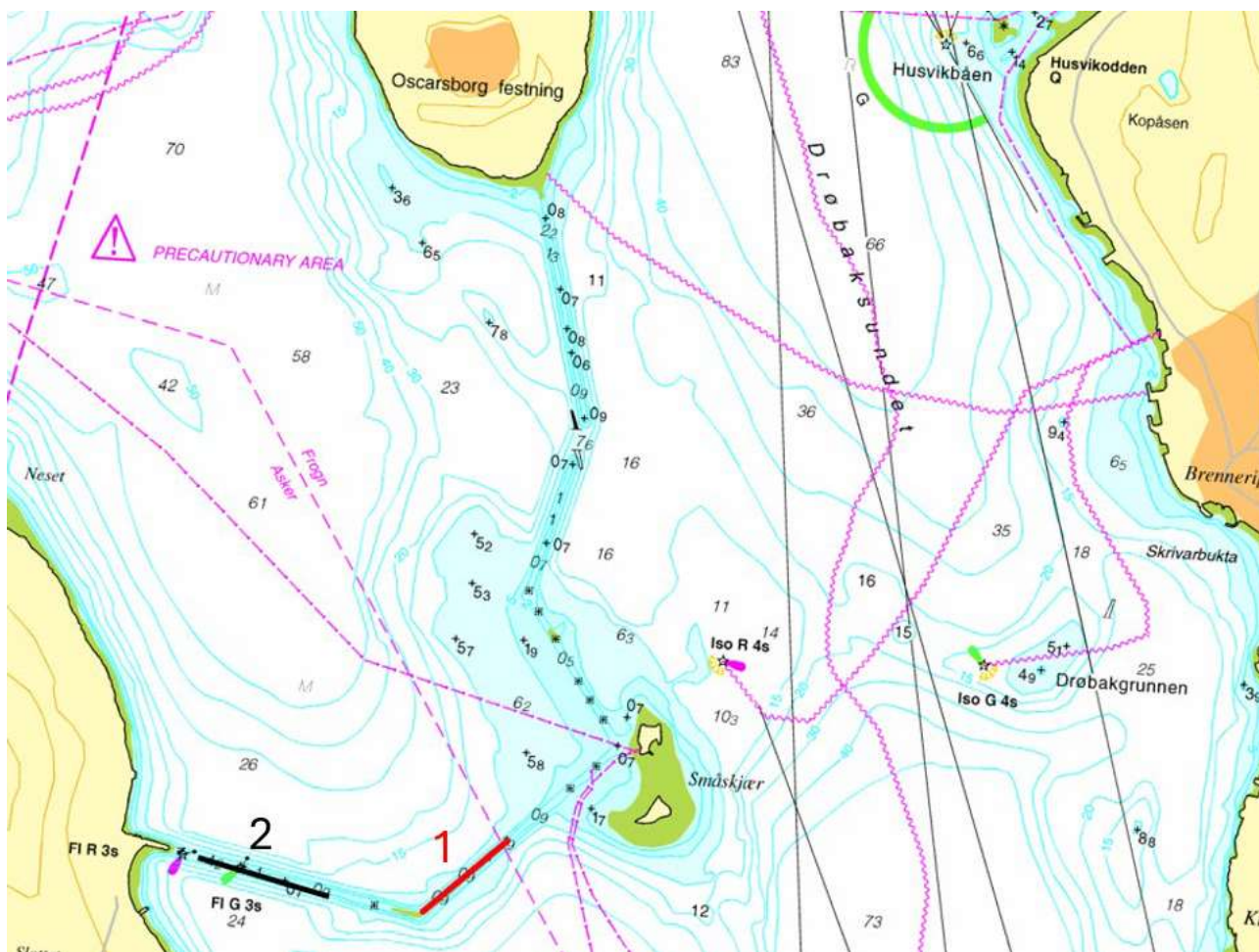
1 Introduksjon

Kystverket har definert det primære formålet med prosjektet som å fremskaffe ny og forbedret kunnskap om vannutskiftningen i Indre Oslofjord.

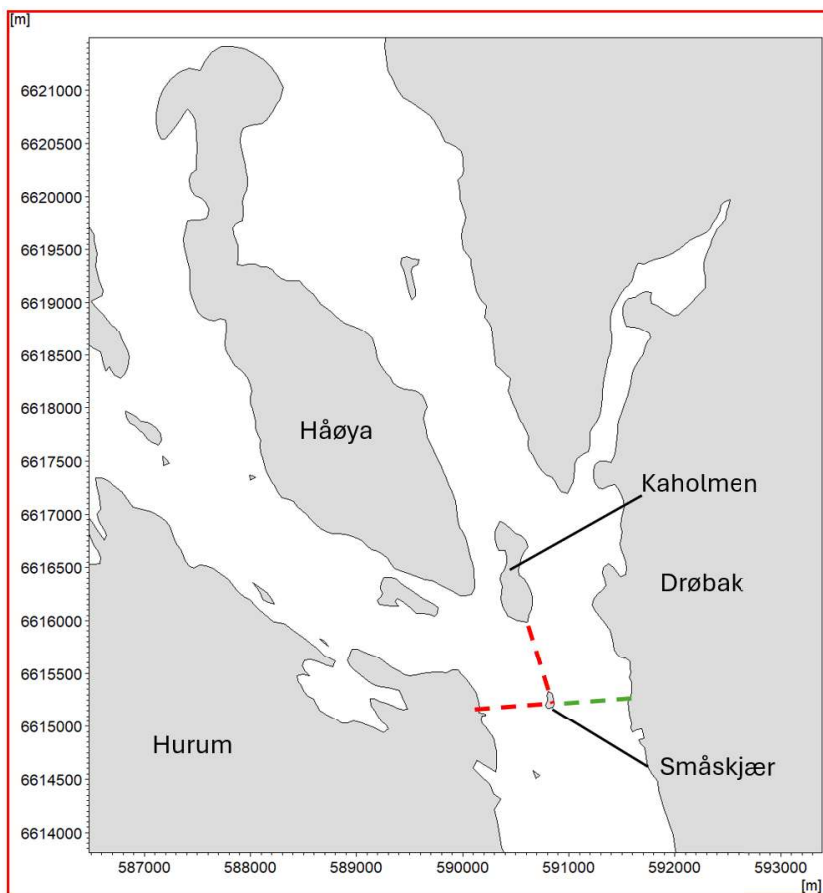
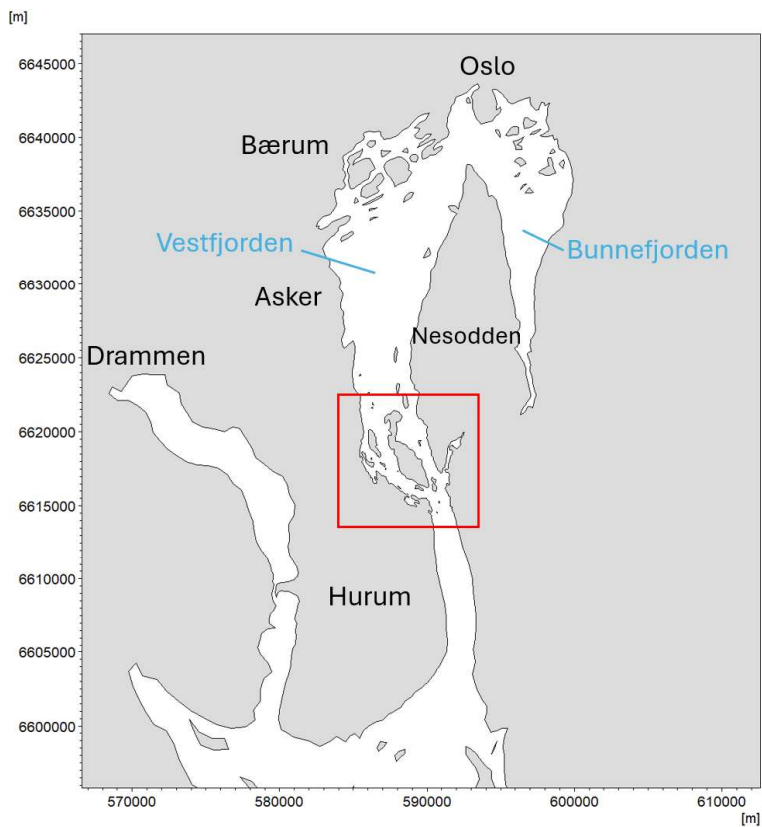
Kystverket har delansvar i K15 av helhetlig tiltaksplan for Oslofjorden, som sier: *Utrede problemstillinger knyttet til vannutskiftning til Indre Oslofjord gjennom Drøbaksundet v/Oscarsborg og mulige tiltak for eventuelt å bedre vannutskiftningen. Mulige tiltak må vurderes opp mot andre hensyn, herunder jetéens kulturhistoriske verdier.*

Kystverket ønsker å vite med høy grad av nøyaktighet hvilken betydning Drøbaksjetéen har for vannutskiftningen i Oslofjorden, om tiltak på jetéen vil endre vannutskiftningen, og hva de eventuelle effektene vil være. For å vise dette gjennom hydrodynamisk modellering, er det benyttet ulike scenarier som er sammenlignet med nåsituasjonen.

Scenario 1 er valgt på grunn av at det er et tidligere planlagt farledsprosjekt i Drøbaksundet, med en åpning på 140 m med økt dybde ned til 10,4 m. I scenario 2 er det valgt en åpning på 150 m med en økt dybde til 24 m i den vestlige jetéen mellom Småskjær og Hurumlandet ned til antatt dybde før jetéen ble konstruert. Scenariet er valgt for å se hva endringen vil være når den dypeste delen av jetéen åpnes, som er antatt å ha størst påvirkning. Åpningene er vist med henholdsvis rød og svart markør i Figur 1.1. I dag er jetéen ca. 1 m under vannoverflaten, med noen små åpninger for fritidsbåter. Et skjematisk oversiktsbilde over hvor jetéen og Drøbaksterskelen ligger er vist i Figur 1.2.

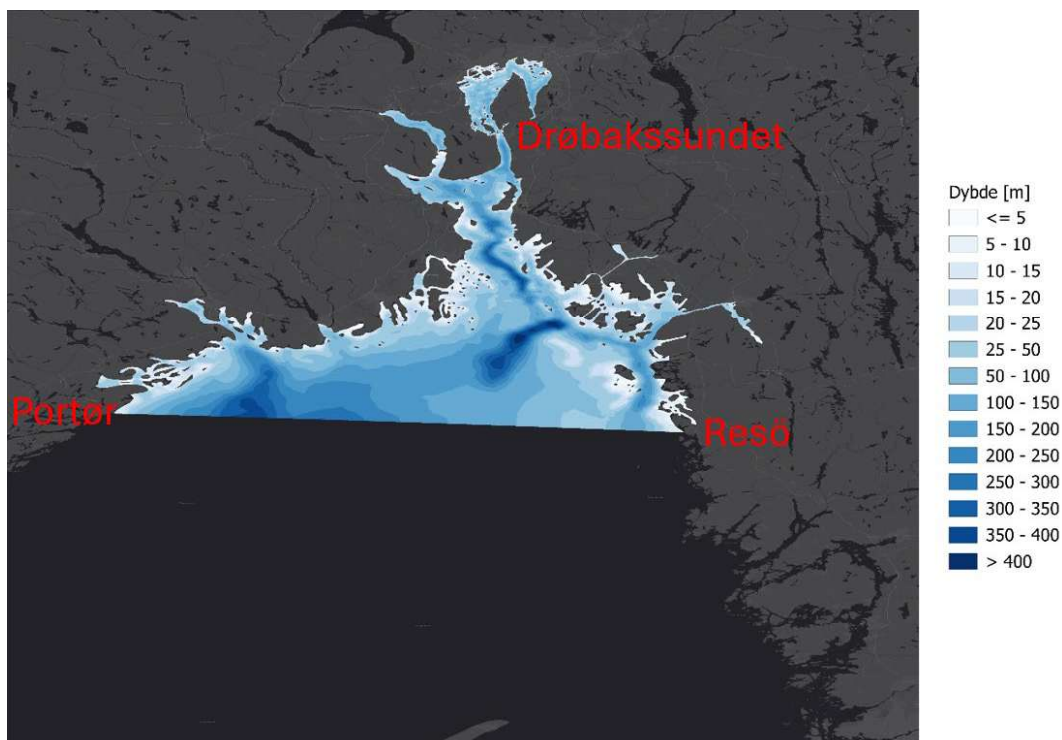


Figur 1.1 Oversikt over endring i den vestlige jetéen, en 140 m utdypning ned til 10,4 m i Scenario 1 og en åpning på 150 m med en utdypning til 24 m i Scenario 2, begge mellom Småskjær og Hurumlandet, markert med henholdsvis rødt og sort linje. Kartdata hentet fra www.kystinfo.no.



Figur 1.2 Skjematisk oversiktsbilde som viser plasseringen til de viktigste områdene, jetéen (rød stiplet linje) og Drøbaksterskelen (grønn stiplet linje).

For å vurdere hvilke konsekvenser en endring i jetéen vil kunne ha, er det utviklet en hydrodynamisk modell i MIKE 3 som dekker hele Oslofjorden – fra Portør og Resø i sør til Bunnefjorden og indre deler av fjordsystemet i nord. Modellen er basert på fjordens nåværende tilstand (Baseline) og er kjørt for perioden 2018–2023. Modellområdet er illustrert i Figur 1.3.



Figur 1.3 Modellområdet til den hydrodynamiske modellen for Oslofjorden, fargene representerer dybdene.

2 Oslofjorden

Oslofjorden er en klassisk terskelfjord der en terskel ved Drøbak (Drøbakerskelen) skiller de indre bassengene fra ytre fjord. Over terskelen ble det på 1800-tallet bygget en undervannsjeté – en 1500 m lang steinmur – for å lede skipsfarten gjennom det østlige løpet ved Oscarsborg. Jetéen og terskelen påvirker strømningsmønsteret i fjorden og en av bidragene til dannelsen av indre bølger. Indre bølger i en fjord er bølger som oppstår langs grenseflaten mellom to vannlag med ulik tetthet – i fjorder typisk mellom: ferskere, lettere overflatevann (ofte fra elver, smeltevann) og salt, tyngre bunnvann som kommer inn fra havet. Grenseflaten mellom disse to lagene kalles pyknoklinen (eller termoklin/haloklin hvis forskjellen skyldes temperatur/salinitet). Når denne grenseflaten forstyrres, for eksempel ved kraftig strøm over en grunn terskel, kan det oppstå indre bølger langs denne overgangen. Disse interne bølgene og den påfølgende turbulente blandingen har betydning for vannfornyelse i fjordsystemet.

I dette kapitlet oppsummeres funn fra flere studier om indre bølger, diffusions- og blandingsprosesser, og effekter på Oslofjordens miljø.

2.1 Kunnskapsgrunnlag

(Gade 1970) og (Gade 1973)) viste at vertikal blanding i fjorden er avgjørende for dypvannsfornyelsen. Blanding reduserer gradvis dypvannets tetthet, noe som klargjør fjorden for innstrømming av nytt, saltholdig og oksygenrikt vann. Gade påviste også at denne fornyelsen er styrt primært av varierende tetthetsforhold utenfor terskelen.

(Stigebrandt 1976) introduserte teorien om hvordan indre bølger generert ved terskelen driver vertikal blanding ved at bølgene brytes mot fjordens skrånende bunnoverflater og genererer turbulens som blander vannmasser fra ulike dyp. I en senere studie bekreftet (Stigebrandt 1979) denne teorien med observasjoner fra Oslofjorden, og dokumenterte høyere blanding nær bunnen og langs fjordens skråninger, der indrebølgene bryter. Denne lokale turbulensen fører til en betydelig vertikal diffusjon, som gradvis reduserer tettheten i dypvannet ved å tilføre lettere, mer oksygenrikt vann nedover fra overflaten. Man kan skille mellom indre tidevannsbølger, som er tvungne langperiodiske bølger skapt av tidevannet, og indre bølger som er frie bølger. De frie bølgene oppstår typisk ved instabiliteter når en sterkt lagdelt strøm passerer terskler eller lignende, og de har langt kortere perioder.

(Staalstrøm, Liljebladh og Aas 2012) gjorde målinger i Oslofjorden og fant at 4–10 % av den totale tidevannsenergien ved Drøbakerskelen blir omdannet til indrebølgeenergi. Disse indre bølgene avtar imidlertid raskt innover i fjorden; omtrent 40–70 % av energien dissiperes innenfor en avstand på bare 10 km fra terskelen. Like innenfor terskelen (ca. 1 km nord for Drøbak) var internbølgeamplituden om lag 38 ganger større enn overflatetidevannets amplitude, mens den var redusert til kun 11 ganger ca. 10 km lenger inn. Denne reduksjonen ses også i modellen som presenteres i denne studien her som vist for eksempel i Figur 4.11 og Figur 4.13. Energien fra disse bølgene går tapt hovedsakelig gjennom turbulent omrøring, noe som gir lokal vertikal blanding. I litteraturen beskrives dette med et såkalt Richardson tal, $R_i = g \partial_z \rho / \rho U^2$ som kan oppfattes som et mål på blandingseffektiviteten. I mange lagdelte fjorder går det typisk bare noen få prosent av energien til faktisk oppblanding. I (Staalstrøm, et al. 2015) ble det sett på turbulens og energitap ved Drøbakerskelen gjennom observasjoner med mikrostrukturmålinger og ADCP strømmålinger umiddelbart nedstrøms Drøbakerskelen. De identifiserte interne hydrauliske sprang (kritisk strømning) nedstrøms terskelen under de fleste tidevannssyklusene, som bidro til sterk turbulens. Likevel viste det seg at den interne responsen (og dermed mengden av turbulens og blanding) varierte betydelig mellom tidevannssyklusene, til tross for at tidevannsstyrken var den samme. Studien viste at en viktig faktor for denne variasjonen var den gjennomsnittlige barokline utvekslingsstrømmen, som kunne enten forsterke eller svekke de hydrauliske sprangene. Resultatene viste også at 60–90 % av den totale tidevannsenergien ved terskelen ble dissipert lokalt som turbulens. I (Staalstrøm og Røed 2016) ble det sett på romlige variasjoner i vertikal blanding og diffusjon i indre Oslofjord, med fokus på forskjeller mellom Vestfjorden og Bunnefjorden. Det ble vist at det var betydelig mer blanding i Vestfjorden sammenlignet med

Bunnefjorden. De argumenterte for at disse forskjellene skyldes mengden energi tilgjengelig gjennom indre bølger generert ved terskelen. Den sterke blandingen i Vestfjorden sikrer jevnere og hyppigere utskiftning av dypt vann, mens den svakere blandingen i Bunnefjorden fører til lengre perioder med oksygenfattig eller oksygenfri tilstand. Artikkelen benyttet numeriske modeller (ROMS) for å simulere og verifisere disse resultatene og påpekte viktigheten av realistisk topografi og geometri i modellering av diffusjonsprosesser.

NIVA utviklet i 2002 en empirisk modell av vannutskiftningen i fjorden, basert på Stigebrandts fjordmodell (Stigebrandt og Magnusson 2002). Modellen bygger på Knudsens relasjon, supplert med generelle betraktninger om tidevannsstrømmer, blanding fra indre tidevann og barokline strømmer. Modellen ble brukt til å beskrive effektene av utdypning av jetéen. De konkluderte at en utdypning vil påvirke fjordens dynamikk.

2.2 Hydrodynamisk modeller

I dag er det mulig å bruke høyoppløste tredimensjonale hydrostatiske numeriske modeller til å modellere vannutskiftningen i Oslofjorden. Eksempler på dette er ROMS som er brukt av NIVA eller MIKE 3 som er en tredimensjonal hydrodynamisk modell utviklet av DHI. Denne løser Reynolds midlet Navier-Stokes-ligninger for strøm og tetthetsfordeling i et finmasket beregningsnett av hele fjorden (DHI 2024). Fordelen med en slik modell er at den kan inkludere topografi, lagdelt tetthet (salinitet/temperatur) og tidsvarierende grensebetingelser som tidevann, elveavrenning og meteorologi. Dermed kan man unngå flere av forenklingene i tidligere teori – modellen beregner selv hvordan strømmene fordeler seg i alle retninger og nivåer, i stedet for å måtte anta to homogene lag. MIKE 3 har en spesiell vertikal diskretisering med delvis vannrette lag som er utviklet for lagdelte strømninger (sigma-z).

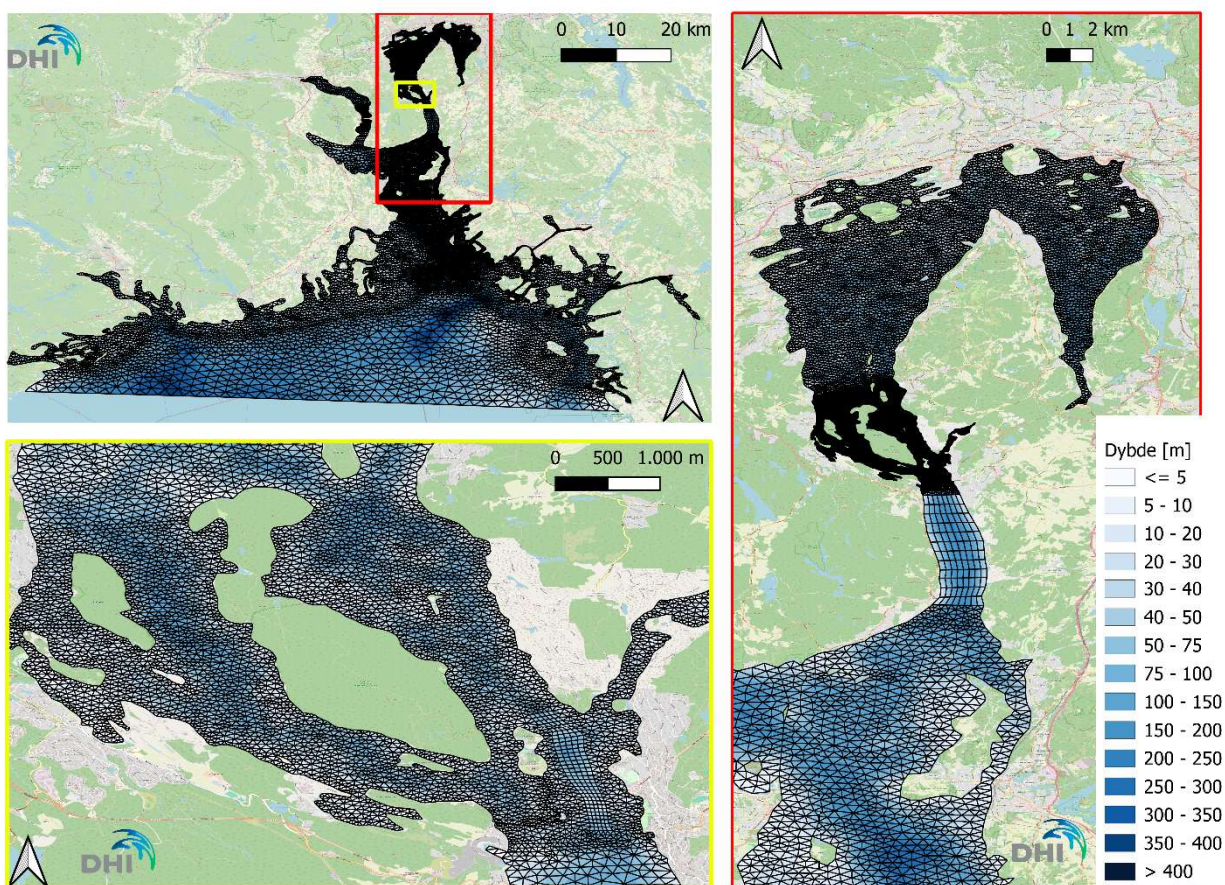
MIKE 3-modellen kan også innføre passende turbulensmodeller (f.eks. $k-\epsilon$ eller lignende) for å simulere turbulent blanding. Dette gjør at prosesser som indrebølgers brytning og energidissipasjon kan oppstå naturlig i simuleringen. MIKE 3 har mulighet for svært høy horisontal og vertikal oppløsning i viktige områder (for eksempel akkurat over en terskel), slik at bratte gradienter og spranglag kan fanges bedre enn i grovere modeller. En full 3D-modell også simulere effekten av endringer i miljøet – for eksempel fjerning av deler av/hele jetéen – og direkte beregne hvordan strømningsmønster, internbølge-generering og oksygenforhold påvirkes. En MIKE 3-simulering av Oslofjorden vil kunne vise om en åpning i Drøbakjetéen reduserer strømhastigheter, hvor turbulent energien da avsettes, og om blandingen i indre basseng svekkes. Den kan også simulere Oslofjorden over flere år, med kontinuerlig variasjon fra vind, avrenning og øvrige grensebetingelser. Men uansett hvor avansert en numerisk modell er, så er det avgjørende at den er kalibrert mot gode måledata innenfor modellområdet.

3 Metode

3.1 Modelloppsett og validering

Oppsetning og validering av den hydrodynamiske modellen er presentert i Vedlegg A.

Modellområdet er vist i Figur 3.1, oppløsningen i modellområdet varierer mellom 50 – 2500 m horisontalt, og mellom 1-100 m (1 m de øverste 20 m) vertikalt.



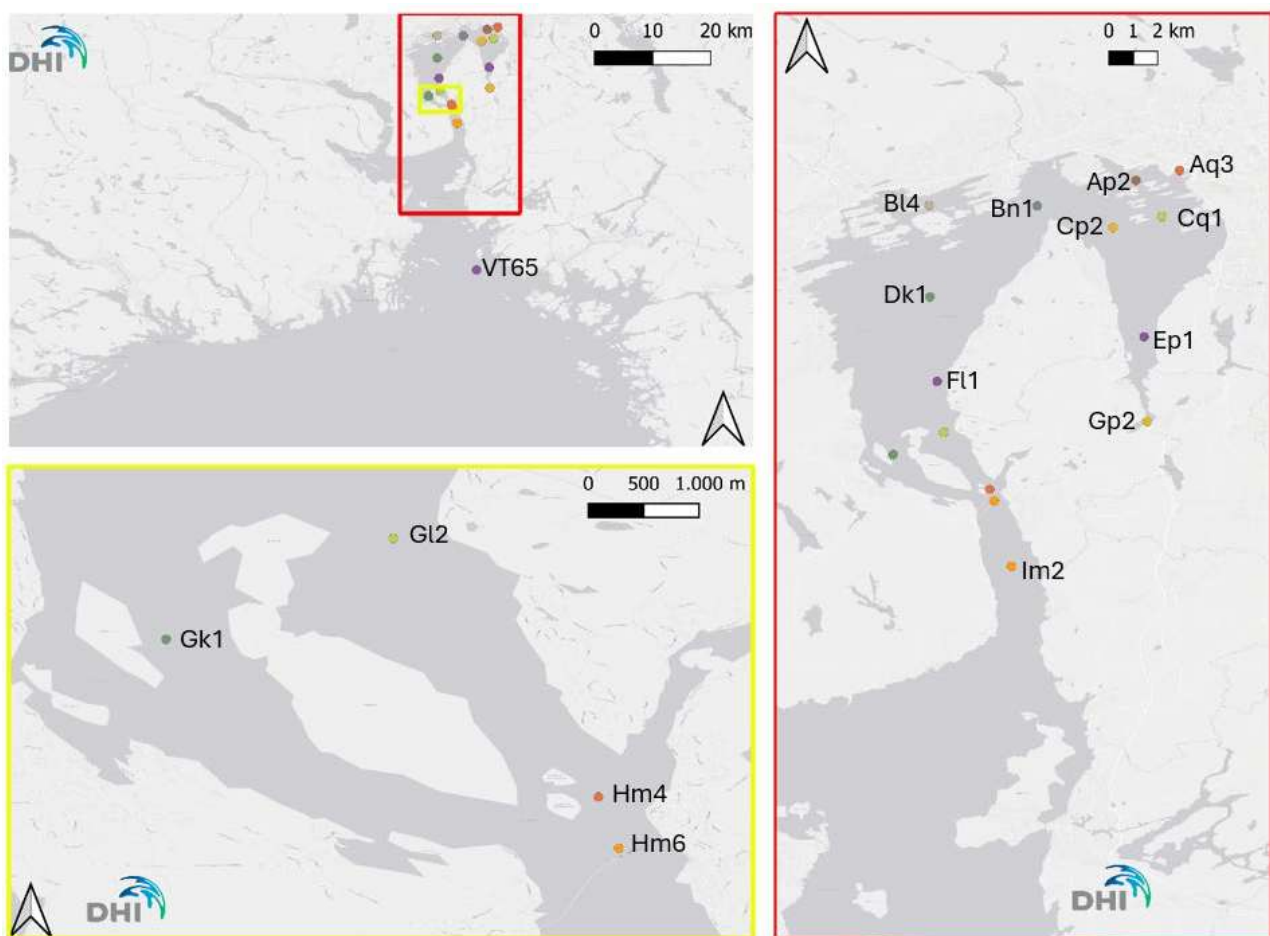
Figur 3.1 Modellområde, øverst til venstre er hele modelldomenet vist, nede til venstre ser vi oppløsningen rundt Drøbak, og til høyre kan man se oppløsningen for indre Oslofjord.

Strømningsmodellen er kalibrert og validert mot relevante og tilgjengelige målinger for området, dette gjelder salinitet, temperatur og vannstand. Dette er gjort for å sikre at modellens beskrivelse av sirkulasjon og vannutskifting i simuleringsperioden er så realistisk som mulig. Det foreligger ikke langtidsmålinger av strøm for området.

Modellen er satt opp til å simulere en sammenhengende periode på seks år, fra 1. januar 2018 til 1. januar 2024. Kalibreringen er gjennomført for årene 2018 og 2019, mens valideringen dekker perioden 2020–2024.

I Figur 3.2 vises målestasjonene for salinitet og temperatur. Selv om det er gjort sammenligninger mellom modell og målinger ved alle stasjoner, fokuserer denne rapporten på validering av salinitet og temperatur ved stasjonene VT65, Im2, Dk1 og Ep1. Disse stasjonene er valgt for å validere modellen i de mest sentrale områdene: VT65 ligger nær den sørlige modellgrensen, Im2 er plassert utenfor Drøbaksterskelen, Dk1 ligger sentralt i Vestfjorden, og Ep1 sentralt i Bunnefjorden.

Måledataene er hentet fra overvåkingsprogrammene Overvåkning av Indre Oslofjord (stasjonene Im2, Dk1 og Ep1) og Overvåkning av Ytre Oslofjord (stasjon VT65), og er tilgjengelige via <https://vannmiljo.miljodirektoratet.no>.



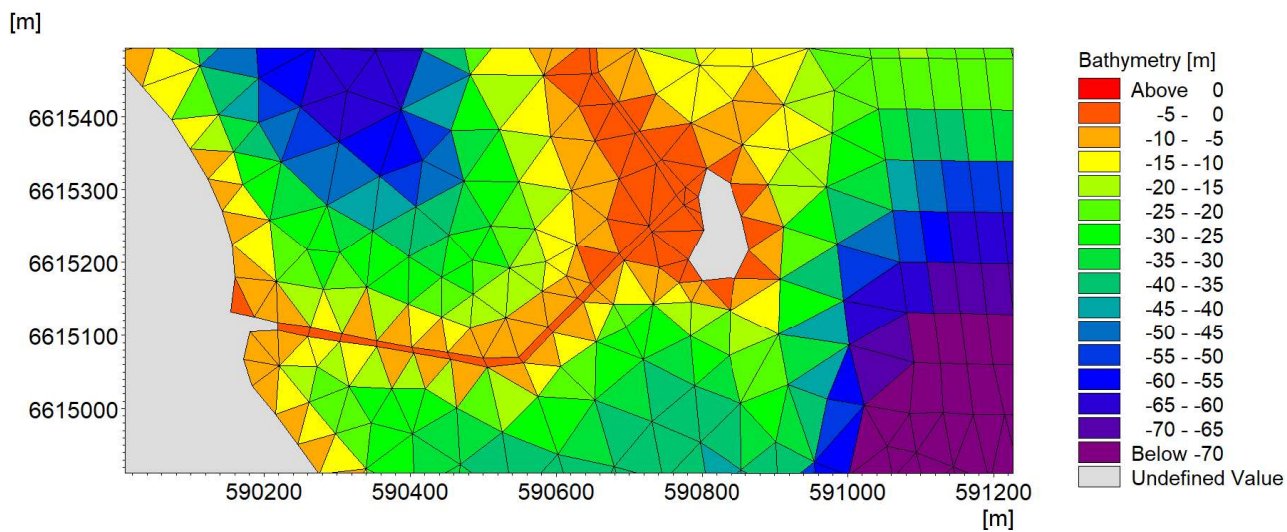
Figur 3.2 Målestasjoner for salinitet og temperatur, fra måleprogrammene Overvåkning av Indre Oslofjord og Overvåkning av Ytre Oslofjord, og er hentet fra <https://vannmiljo.miljodirektoratet.no/>.

3.2 Scenarier

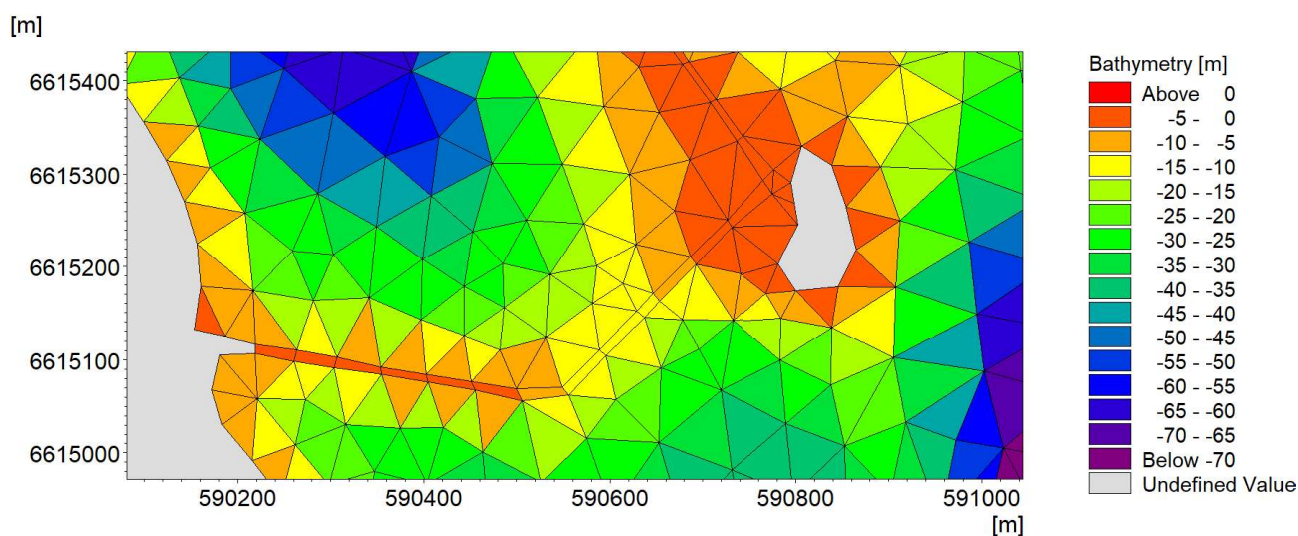
I tillegg til en *Baseline*-kjøring (modelldybde vist i Figur 3.3), som representerer dagens forhold i Oslofjorden, er det modellert to scenarier med tiltak ved jetéen, for å vurdere jetéen virkning på vannutskiftningen. Scenario 1 omfatter en åpning på 140 m med utdypning ned til 10,4 m i den vestlige delen av jetéen mellom Småskjær og Hurumlandet, vist i Figur 3.4 og Figur 1.1. Scenario 2 innebærer en åpning på 150 m med utdypning ned til 24 m i den vestlige delen av jetéen mellom Småskjær og Hurumlandet, vist i Figur 3.5 og Figur 1.1.

Modellen er benyttet til å undersøke om de eventuelle åpningene kan bidra til forbedret vannutskiftning. Med dette menes økt innstrømning av «friskt» og salt bunnvann fra området utenfor Drøbaksterskelen. Slike vannmasser har vanligvis høyere oksygeninnhold, og bidrar til bedre miljøforhold og livsgrunnlag i de dype delene av Indre Oslofjord.

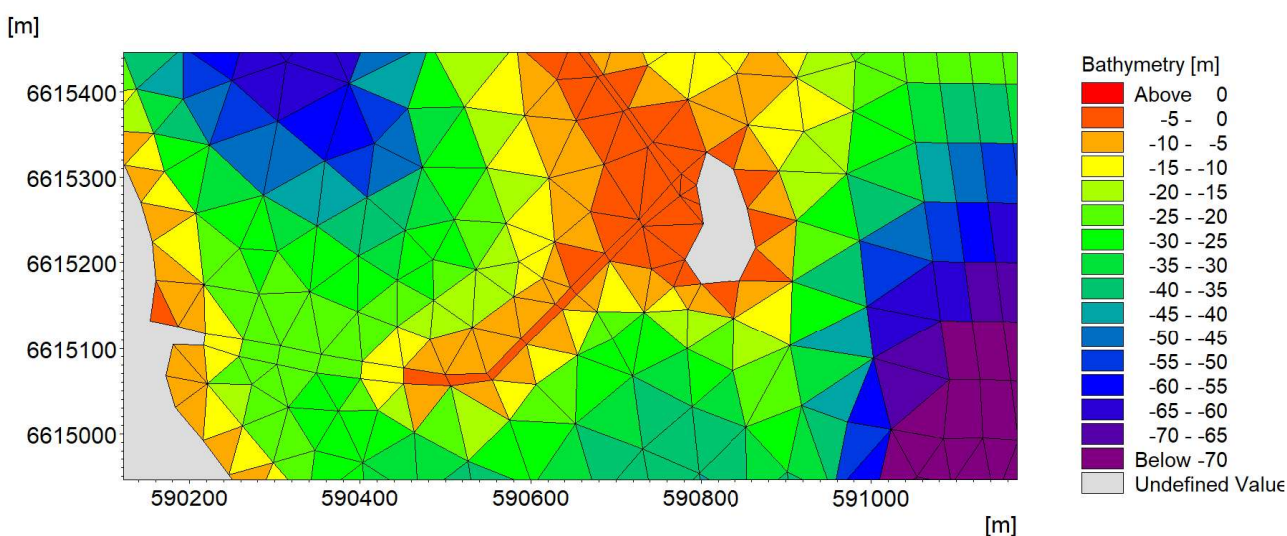
I kapittel 4.2 analyseres effekten av de to scenarioene på vannutskiftningen.



Figur 3.3 Modelldybde Baseline ved jetéen.



Figur 3.4 Modelldybde Scenario 1 ved jetéen.



Figur 3.5 Modelldybde Scenario 2 ved jetéen.

3.3 Analyser

For å vurdere hvordan en åpning i jetéen mellom Småskjær og Hurumlandet påvirker vannutskiftningen i Indre Oslofjord, er det gjennomført flere analyser. Disse analysene er basert på modellresultater for Baseline (dagens situasjon) og to scenarioer med ulike utforminger av åpningen. Analysene tar sikte på å fange både den overordnede utviklingen i strømmønstre og vanntransport og dypvannsfornyelse.

Strømningsanalyser

For å vurdere hvordan tiltakene påvirker sirkulasjonen i fjorden, er det utført analyser av gjennomsnittlig nettostrøm på tre dyp: overflaten, 10 meter og 50 meter. Strømdataene er hentet fra hele kalenderåret 2021, og er beregnet som et vektor- og tidsmiddel av de horisontale strømkomponentene i hvert modellpunkt. Resultatene er deretter fremstilt som vektorplott som viser både retning og styrke på nettostrømmen i de ulike scenarioene.

Strømningsanalysene har to hovedformål: For det første gir de innsikt i hvordan vannmassene beveger seg under ulike fysiske forutsetninger i fjorden, inkludert mulige endringer i sirkulasjonsmønstre og transportveier. For det andre gir de et grunnlag for å vurdere effekten av en åpning i jetéen, og i hvilken grad en slik åpning skaper nye utløps- eller innløpsveier som kan endre den naturlige vannutskiftningen. Det er kun på jetéen at det gjøres en fysisk endring mellom Baseline og scenarioene, og endringene innenfor terskelen skyldes endringen som skjer i nærfeltet til jetéen.

Analysen legger særlig vekt på Drøbaksundet og området rundt Håøya, der dagens strømningsmønstre i stor grad påvirkes av jetéens fysiske utforming. Ved å sammenligne de tre scenarioene (Baseline, Scenario 1 og Scenario 2), kan man undersøke hvordan en åpning i jetéen påvirker strømfeltet. Dette viser hvordan en eventuell åpning i jetéen endrer strømningsbanene ved å gi vannmassene en ny passasjemulighet gjennom jetéen i stedet for å måtte følge dagens løp rundt Håøya. Observasjoner på ulike dyp gir også innsikt i forskjeller mellom overflate- og dypvannsstrømmer, noe som er sentralt for å forstå transporten av salt og oksygenrikt vann inn mot de indre delene av fjorden.

Beregning av transport gjennom tverrsnitt

For å vurdere hvordan ulike utforminger av åpningen i jetéen påvirker vannutvekslingen mellom Indre og Ytre Oslofjord, er det gjennomført en detaljert analyse av salttransporten i fjorden. Salttransporten gir et mål på fjordens fysiske utvekslingsprosesser og brukes som indikator på både innstrømning av salt, tungt vann og utstrømning av lettere, ferskere overflatevann. Sammen med analyser av volumtransport gir dette innsikt i hvordan tiltakene påvirker vannmassenes sirkulasjon, fordeling og endring over tid – og dermed den samlede vannutskiftningen i fjordsystemet.

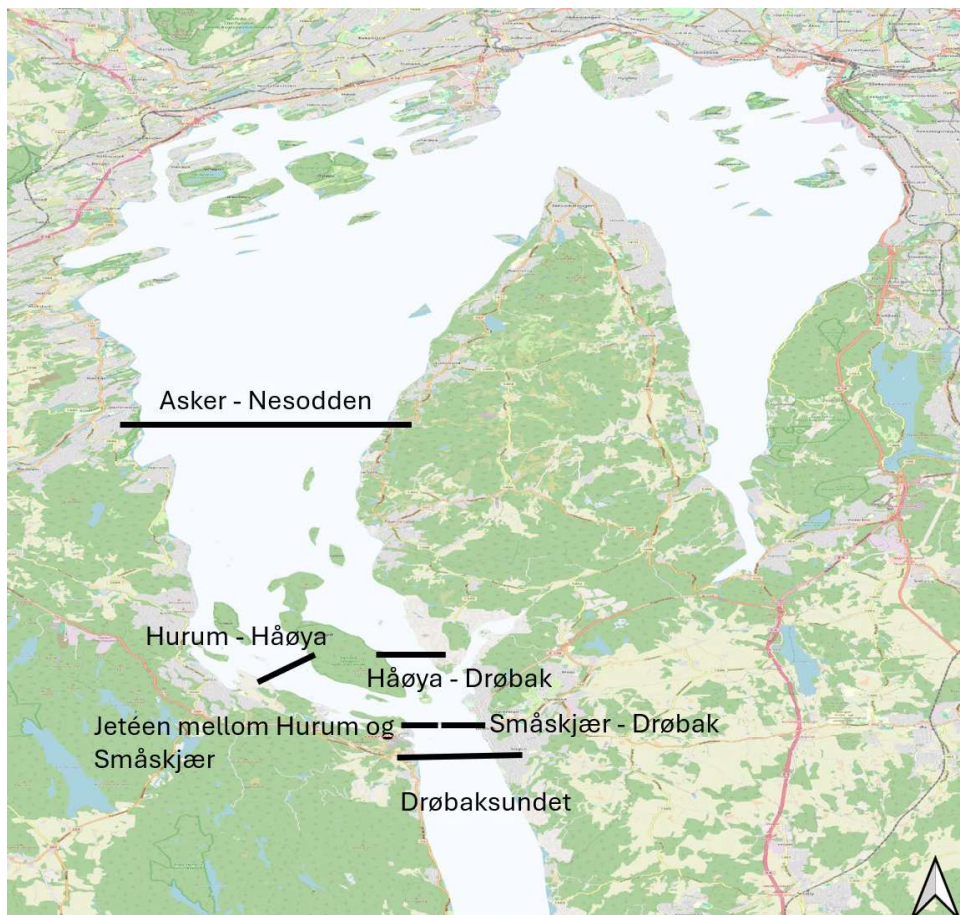
Analysen er utført i seks tverrsnitt, vist i Figur 3.6, som dekker sentrale transportveier i fjorden: Drøbaksundet, Småskjær-Drøbak, jetéen mellom Hurum og Småskjær, Håøya-Drøbak, Hurum-Håøya og Asker-Nesodden. Transporten er beregnet på grunnlag av modellresultater med lagdelte snittdata for strøm (volum av vann) og saltholdighet (salinitet). For hvert tverrsnitt er transporten beregnet som produktene av vannvolumet og salt, integrert over tverrsnittene, og deretter akkumulert over året. Det skilles mellom to ulike typer salttransport:

Akkumulert netto volum- og salttransport (kg/s): Dette er den samlede netto volum- og saltmengden som har passert gjennom tverrsnittet per år og for hele modellperioden 2018–2023. Positive verdier indikerer netto innstrømning av salt/vann til Indre Oslofjord, mens negative verdier tilsier netto utstrømning. Nettoverdien gir et bilde av balansen mellom inn- og utstrømning og hvordan denne påvirkes av endringer i dypvannsinnbrudd, overflatestrømmer og jetéens utforming. Resultatene er oppsummert for hvert år og for gjennomsnittet av hele modellperioden.

- **Akkumulert positiv salttransport (kg/s):** Denne beregningen tar kun med den delen av salttransporten som strømmer inn mot Indre Oslofjord, uavhengig av utstrømning. Den viser altså den totale mengden salt som beveger seg inn i fjorden, og er et mål på potensialet for tilførsel av nytt, salt og ofte oksygenrikt vann – særlig i dype lag. Denne analysen er begrenset til

årene 2022 og 2023, som er de eneste årene med tilgjengelige resultater for denne parameteren for alle tre scenarioer.

Begge beregningstyper er gjort per scenario og for hvert år, og deretter oppsummert som årlige gjennomsnitt eller totaler over perioden. I resultatkapitlet er transportberegningene presentert i egne tabeller for hvert snitt.



Figur 3.6 Gjennomstrømning av vann (m^3) og salt (kg) beregnet for fire tversnitt i Oslofjorden. Verdiene viser hvor mye som passerer gjennom hvert snitt. Positive tall indikerer netto innstrømning til Indre Oslofjord, mens negative tall indikerer netto utstrømning.

Salinitet og lagdeling – isoplettanalyser

For å analysere endringer i vannmassenes sammensetning og vertikale lagdeling er det benyttet isoplettfigurer som viser modellert salinitet over tid og dybde ved fire sentrale målestasjoner i fjordsystemet: G12, Gk1, Dk1 og Ep1 (se Figur 3.7). Disse stasjonene er valgt for å dekke ulike deler av Indre Oslofjord, fra armene på hver side av Håøya til midtre deler av Vestfjorden og videre inn i Bunnefjorden.

Isoplettanalyser gir et helhetlig bilde av den vertikale og midlertidige utviklingen i salinitet, og er et sentralt verktøy for å identifisere perioder med innstrømning av saltere, tettere vannmasser. Slike innstrømninger er viktige for å forstå hvordan fjorden tilføres nytt, saltere vann i dypere lag, og hvordan dette påvirker lagdelingen og den fysiske fornyelsen av vannmassene. Figurene gjør det mulig å observere hvor ofte slike inntrengninger skjer, hvilken dybde de når, og hvor lenge effektene av innstrømningen varer i de ulike delene av fjordsystemet.

Ved å analysere utviklingen i isoplettene på tvers av de tre scenarioene – Baseline, Scenario 1 og Scenario 2 – kan man undersøke hvordan ulike utforminger av jetéåpningen påvirker

dypvannstilførselen. Dette er særlig relevant i områder som Bunnefjorden, hvor oksygenforholdene i dypvannet i stor grad er styrt av frekvensen og styrken på inntrengninger av nytt, saltere vann.

Sammenligning av isoplettmønstre mellom scenarioene gir også indikasjoner på om tiltakene endrer hvor raskt vannmasser med høyere salinitet strømmer innover i fjordsystemet, og hvor dypt de når. Ved stasjoner nær terskelen, som GI2 og Gk1, viser isoplettene hvor ofte vann strømmer inn i Indre Oslofjord via Drøbaksundet. Lenger inn, som ved Dk1 og Ep1, blir analysen et mål på hvorvidt og i hvilken grad disse vannmassene faktisk når dypere og mer avskjermede fjordområder.

Isoplettanalysen er dermed viktig både for å kartlegge generelle forskjeller i lagdeling og for å vurdere effekten av tiltak på fjordens evne til å fornye vannmassene i dypere lag. I tillegg gir analysen grunnlag for å tolke utviklingen i salinitet i kombinasjon med andre resultatpresentasjoner, som tidsserier for salinitet og transportberegninger gjennom tverrsnitt.

Salinitetsutvikling i bunnvannet

For å vurdere hvordan scenarioene påvirker de dypeste vannmassene i fjorden, er det hentet ut tidsserier av modellert salinitet i den dypeste cellen ved hver målestasjon: GI2, Gk1, Dk1 og Ep1 (se Figur 3.7). Disse tidsseriene gir et detaljert bilde av utviklingen i salinitet over hele modellperioden (2018–2023), og gjør det mulig å følge hvordan vannmassene i fjordens bunnlag påvirkes av innstrømning, stagnasjon og eventuell dypvannsfornyelse. Her identifiseres også perioder med stagnasjon, vi har definert det som minst 60 dager uten en signifikant dypvannsfornyelse, og med synkende salinitet. Slike perioder er markert i figurene og kvantifisert, inkludert stigningstall og prosentvis forskjeller mellom scenarioene og Baseline. Dette gir et mål på varigheten og styrken av perioder uten nytt friskt vann fra utenfor Drøbaksterskelen.

Saliniteten i bunnvannet er en sentral indikator på hvorvidt friskt og salt vann klarer å trenge inn til de dypeste delene av fjorden. Slike inntrengninger er avgjørende for å opprettholde stabile forhold i dypet, hindre langvarig stagnasjon og legge til rette for oksygentilførsel. I perioder med langvarig mangel på dypvannsfornyelse, kan de potensielt gi negative konsekvenser for vannkvalitet og bunnøkologi.

Periodene er identifisert direkte fra tidsseriene, via et script, og visuelt markert i figurene som inngår i kapittel 4.2.4. I tillegg er varigheten og styrken av stagnasjonsperiodene kvantifisert ved hjelp av stigningstall (endring i PSU per dag) for hver periode. De prosentvis forskjellene mellom Baseline og scenarioene er beregnet for hver stasjon og presentert i tabellene.



Figur 3.7 Målestasjonene hvor analysene på sammenligning mellom Baseline og Scenarioene er gjort.

Endringer i vannmassestabilitet mellom scenariene

Effektene av å utdype jetéen har vært diskutert ut fra ulike forutsetninger av mange anerkjente forskere. En måte å betrakte fjordens hydrografi på er å se på endringer i vannsøylens stabilitet, slik blant andre Stigebrandt og Sætre har gjort. Her beregner vi vannsøylens såkalte potensielle energianomali (PEA, se (Burchard og Hofmeister 2008), som angir den spesifikke energien som må tilføres for å bringe vannsøylen til fullstendig oppblanding. PEA defineres som

$$PEA = \int_h g \Delta \rho z \, dz / \int_h \rho \, dz$$

hvor g er gravitasjonen, $\Delta \rho$ er tetthetsanomali, ρ er gjennomsnittstettheten i vannsøylen, og z er det vertikale nivået fra $-h$ til η . PEA kan oppfattes som den potensielle energien i vannsøylen, slik at $PEA > 0$ angir en stabil vannsøyle, mens $PEA = 0$ tilsvarer en fullstendig oppblandet vannsøyle.

PEA kan relateres til Richardson-tallet ($R_i = g \Delta \rho h / \rho U^2$), som beskriver balansen mellom potensiell energi og kinetisk blandingsenergi eller turbulens. Når R_i er stort, er vannsøylen stabil, mens $R_i < 1$ indikerer at vannsøylen vil blandes.

De prosessene som bidrar til denne balansen kan være ferskvannsavrenning eller oppvarming ved overflaten, samt innstrømning av tungt saltvann ved bunnen, som begge virker stabiliserende. På den andre siden kan vindskapt turbulens, turbulens drevet av indre bølger eller tidevannsstrømmer, virvler dannet rundt innsnevring eller terskler, eller brytende bølger bidra til økt oppblanding. I tillegg kan andre prosesser, som nedkjøling ved overflaten eller skipstrafikk, også ha en innvirkning.

Interne bølger er identifisert som en viktig kilde til oppblanding i fjorden. Ved den smale Drøbaksterskelen og jetéen kan tidevannsstrømmen drive en kraftig gjennomstrømning over terskelen. Under bestemte kombinasjoner av lagdeling og strømforhold kan dette føre til forhold som gir opphav til interne bølger. Fenomenet kan beskrives ved det densimetriske Froude-tallet, $F = c_0/U$, hvor

$c_0 = \sqrt{(g\Delta\rho/\rho H)}$ er utbredelseshastigheten til en intern bølge i en tolags-strømning, og U er strømhastigheten. Når $F > 1$ er strømmingen superkritisk, og interne bølger kan ikke forplante seg oppstrøms. Når $F < 1$ er strømmingen subkritisk, og bølgene kan forplante seg i begge retninger. Når $F \approx 1$ oppstår en ustabil strømning, og stående interne bølger kan dannes nedstrøms terskelen.

Bølgene vil typisk ha en periode tilsvarende Brunt–Väisälä-frekvensen, $N^2 = g/\rho \partial_z \rho$ som i Oslofjorden vanligvis ligger mellom 1 og 5 minutter. Forekomst av interne bølger nedstrøms jetéen er dokumentert av (A. Staalstrøm 2015). Siden strømmen over terskelen er drevet av tidevannet, vil strømhastigheten variere kontinuerlig, og dermed også Froude-tallet. Interne bølger vil derfor opptre periodisk, avhengig av tidevannsfasen. I tillegg varierer lagdelingen gjennom året, slik at interne bølger bare oppstår under visse forhold.

4 Resultater

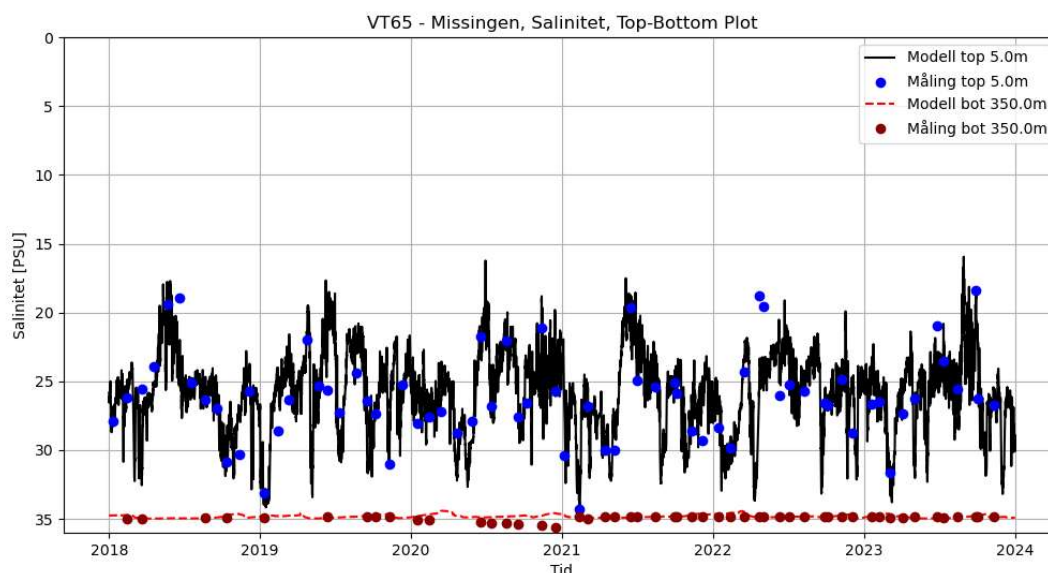
4.1 Modellering av dagens situasjon

Dette kapittelet presenterer utvalgte resultater fra valideringen av den hydrodynamiske modellen. Mer informasjon om modelloppsett, kalibrering og validering finnes i Vedlegg A. I Figur 4.1 - Figur 4.4 viser såkalte «top-bot»-figurer, der både overflate- og bunnverdier er fremstilt. Overflatedata er hentet fra 1, 2 eller 5 meters dyp, avhengig av hvilket nivå som har flest observasjonsdata, mens bunndata er hentet fra det dypeste nivået med tilstrekkelig måledekning. Validering av vannstand er vist i Figur 4.5. I overflaten ser vi perioder der modell og målinger ikke samsvarer fullt ut, for eksempel i starten av 2019 (Figur 4.3). Dette kan skyldes lokale variasjoner i vindfriksjonen. I valideringen har vi lagt vekt visuell sammenligning av tidsseriene sammenlignet med målepunktene.

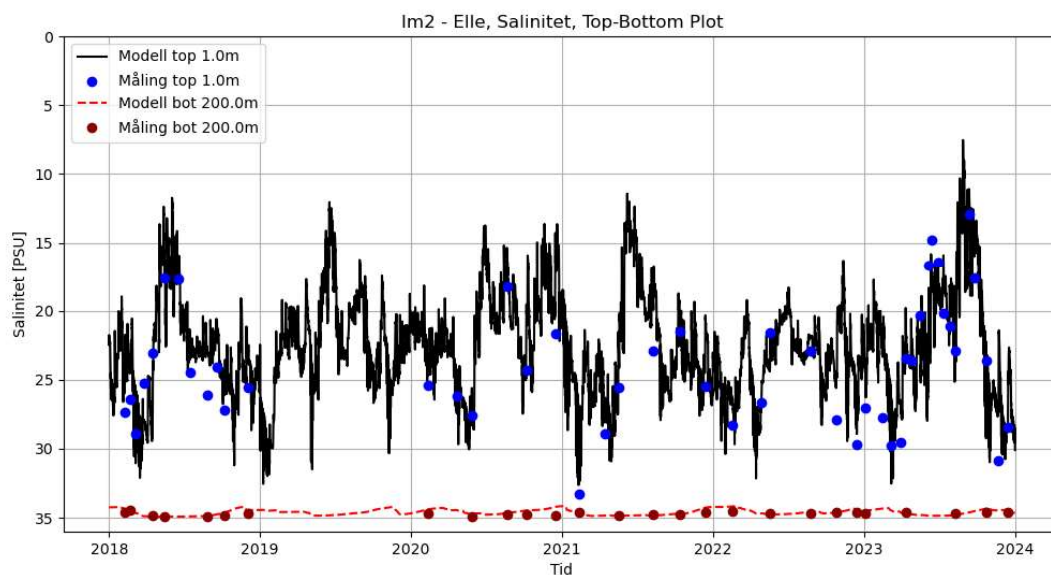
Sesongvariasjonene i fjorden kommer tydelig fram i modellresultatene. Om vinteren preges vannsøylen av lave temperaturer, mens sommeren viser en markert oppvarming i overflatelagene. Saliniteten i overflaten svinger gjennom året, påvirket av ferskvannstilførsel og fordampning. I dypvannet fremtrer dypvannsinnebrudd som periodiske økninger i salinitet. Dette skyldes innstrømming av tettere, salttrikt vann fra Ytre Oslofjord som kommer over Drøbaksterskelen/jetéen og fornyer bunnvannsmassene i Indre Oslofjord.

I Figur 4.6 vises punktene som inngår i transektene som er presentert i Figur 4.7- Figur 4.9. Disse figurene illustrerer hvordan et dypvannsinnebrudd opptrer i modellen. Transektene for datoene 01.01.21, 14.01.21 og 14.03.21 er inkludert for å vise utviklingen av innebruddet over tid. Disse må ses i sammenheng med tidsseriene.

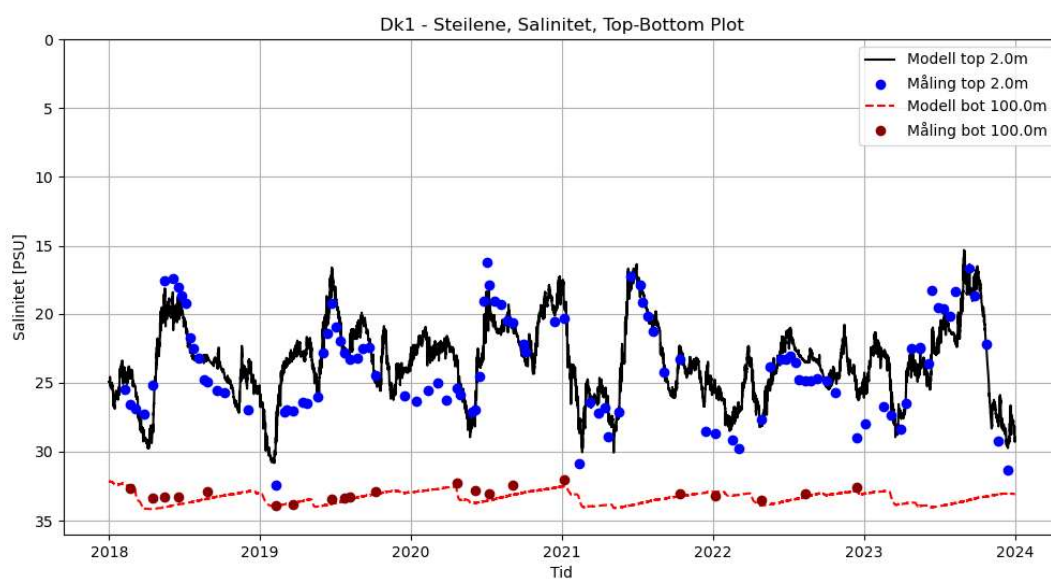
Valideringen mot måledata viser at modellen har god overensstemmelse med observasjonene, og den gir en god beskrivelse av fysikken til Oslofjorden. Modellen vurderes derfor som godt egnet til scenarioanalyser for å undersøke ulike påvirkninger på fjordsystemet.



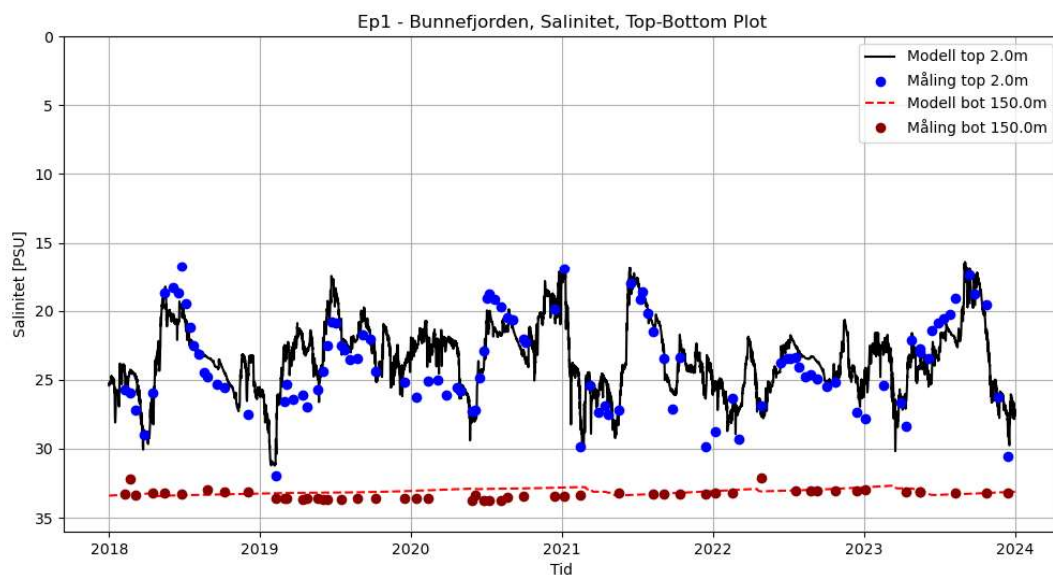
Figur 4.1 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 5 m (blå prikk for måling og sort linje for modell) og 350 m (rød prikk for måling og rødstiplet linje for modell).



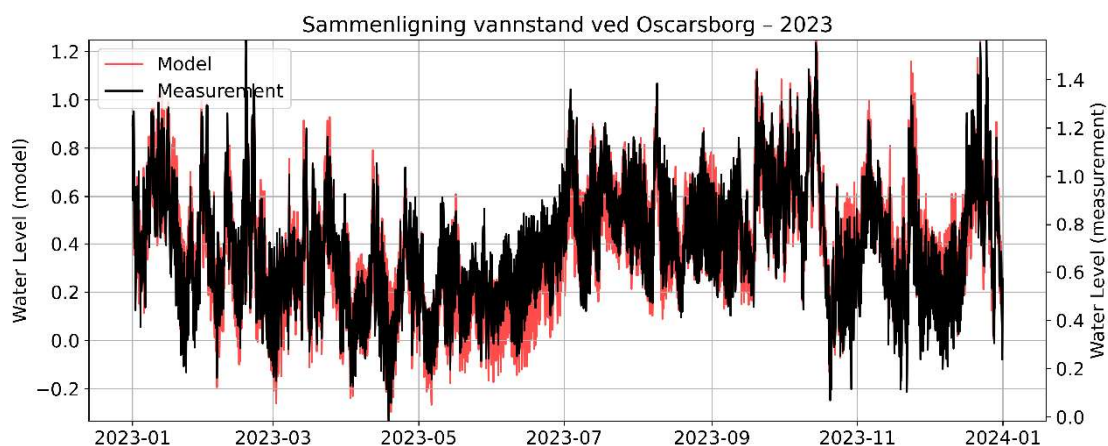
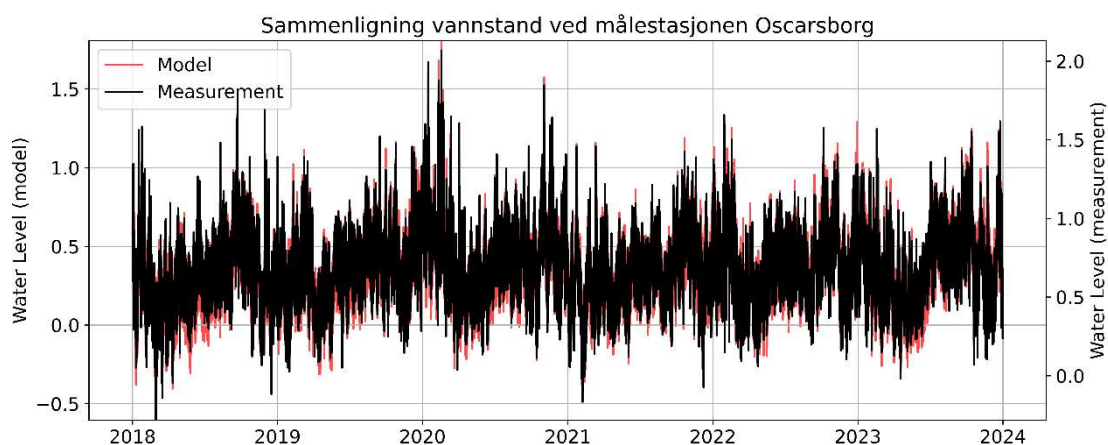
Figur 4.2 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 1 m (blå prikk for måling og sort linje for modell) og 200 m (rød prikk for måling og rødstiplet linje for modell).



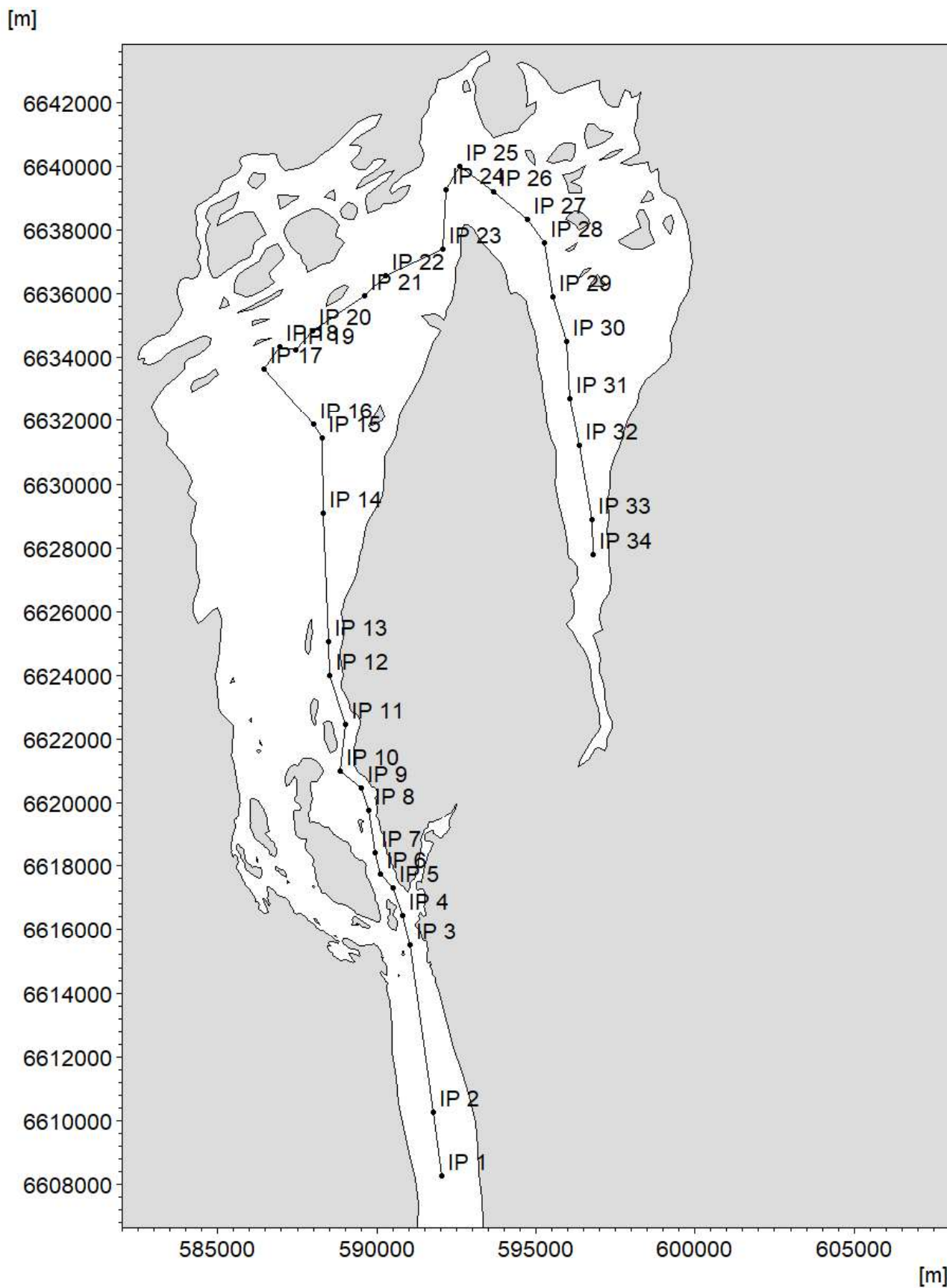
Figur 4.3 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 2 m (blå prikk for måling og sort linje for modell) og 100 m (rød prikk for måling og rødstiplet linje for modell).



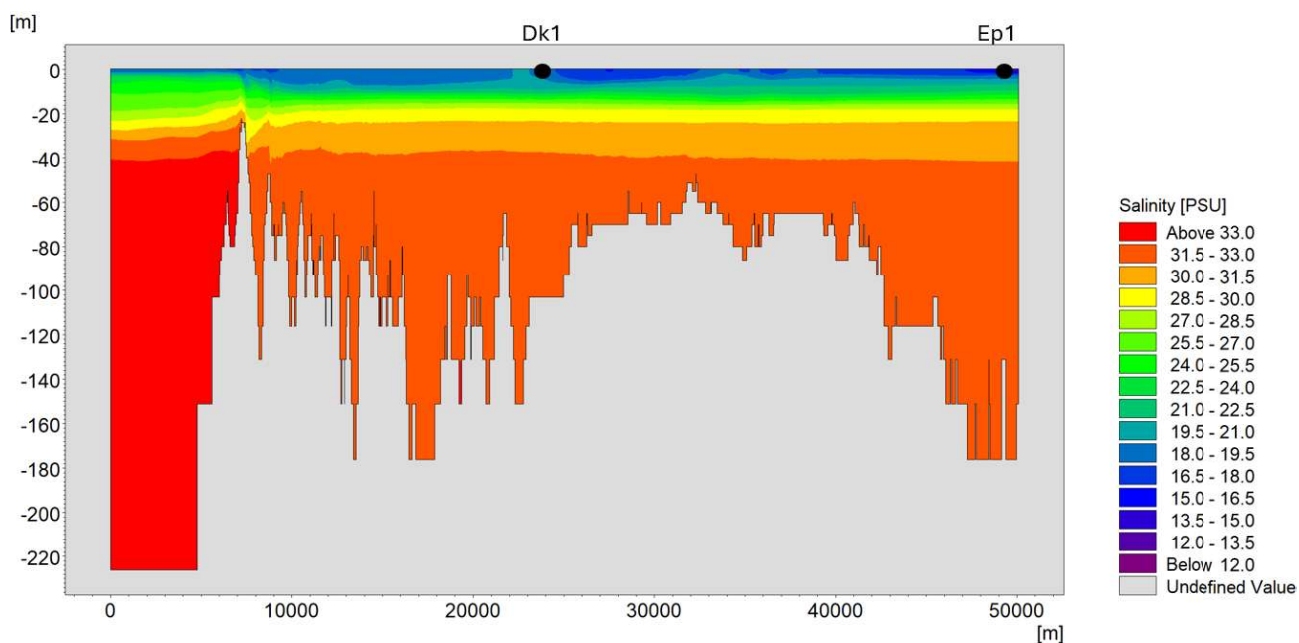
Figur 4.4 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 2 m (blå prikk for måling og sort linje for modell) og 150 m (rød prikk for måling og rødstiplet linje for modell).



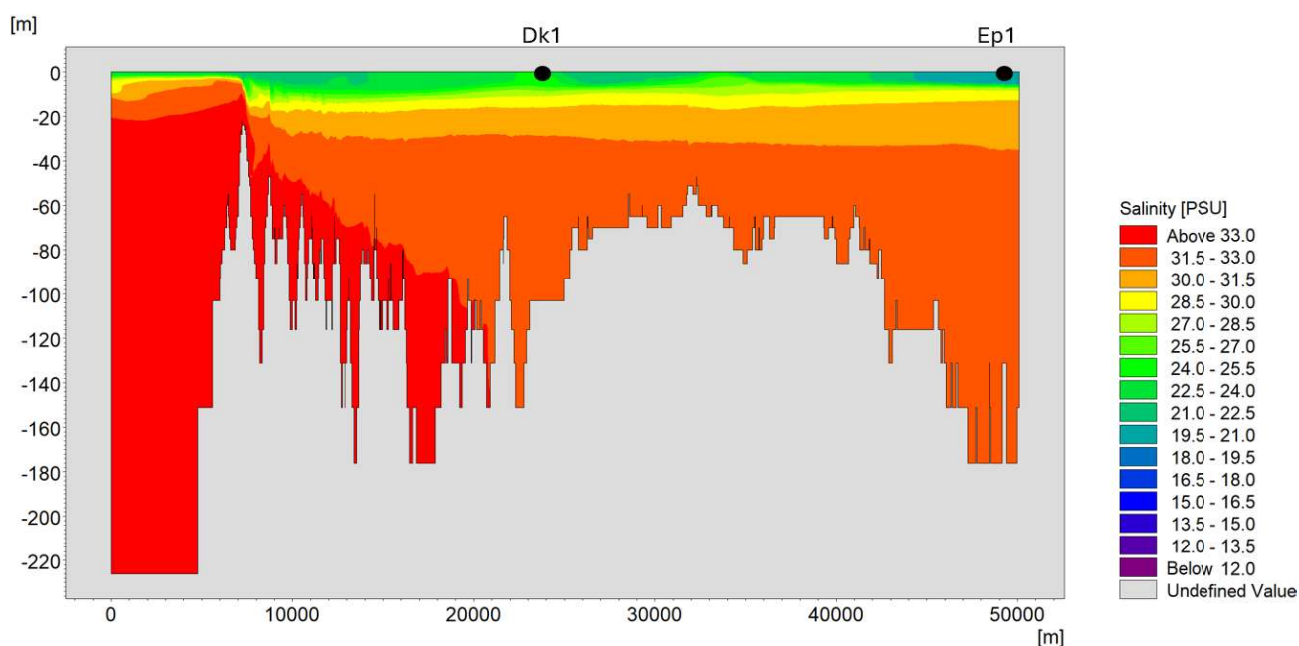
Figur 4.5 Vannstand ved Oscarsborg, sammenligning mellom modell (rød linje) og målinger (sort linje), for hele modellperioden (topp) og i 2023 (bunn). Målestasjonen er vist i Figur A-82.



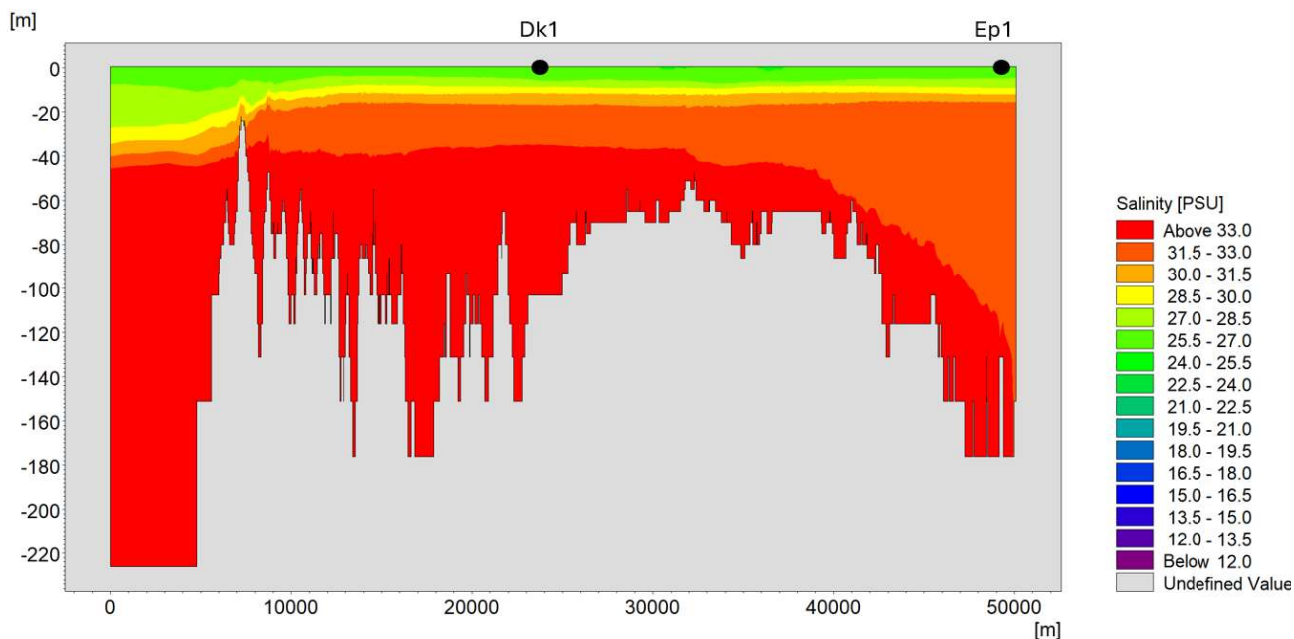
Figur 4.6 Punkter til transekt fra utenfor Drøbacterskelen og inn til Bunnefjorden.



Figur 4.7 Transekt av modellert salinitet fra utenfor Drøbaksterskelen inn til Bunnefjorden 01.01.21 (t₀), se hvor transekten går i Figur 4.7. Posisjonen til målestasjonene Dk1 og Ep1 er vist i figuren med en sort prikk.



Figur 4.8 Transekt av modellert salinitet fra utenfor Drøbaksterskelen inn til Bunnefjorden 14.01.21 (t₀ + 14 dager), se hvor transekten går i Figur 4.7. Posisjonen til målestasjonene Dk1 og Ep1 er vist i figuren med en sort prikk.



Figur 4.9 Transekt av modellert salinitet fra utenfor Drøbaksterskelen inn til Bunnefjorden 14.03.21 (t0 + 75 dager), se hvor transekten går i Figur 4.7. Posisjonen til målestasjonene Dk1 og Ep1 er vist i figuren med en sort prikk.

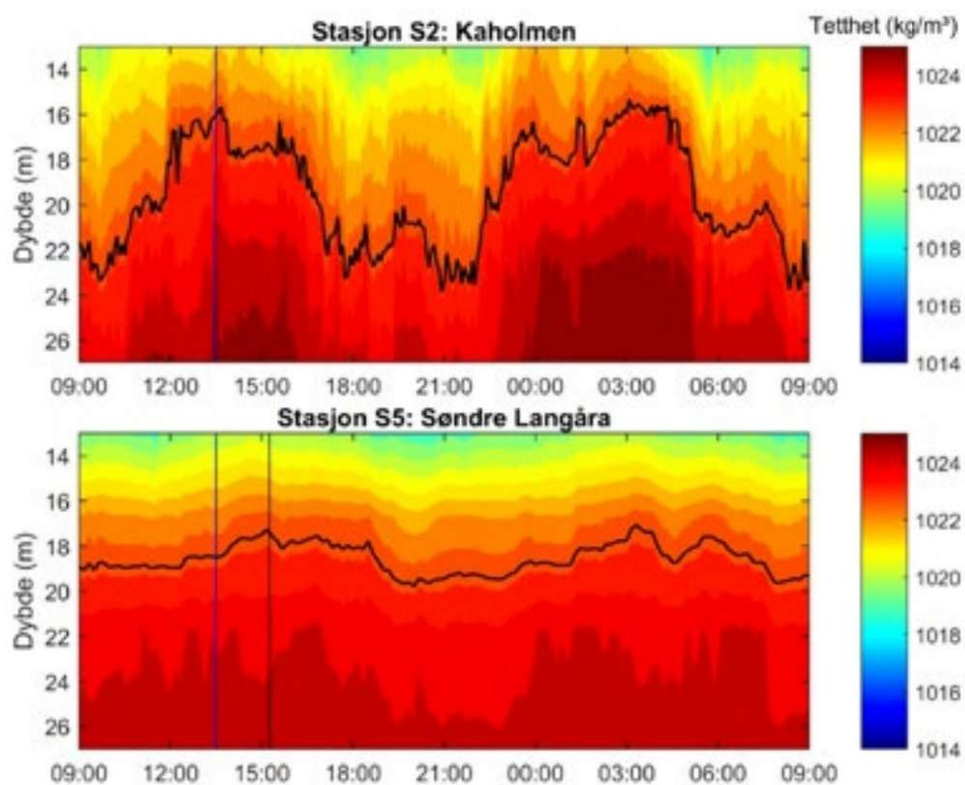
4.1.1 Indre bølger

I (A. Staalstrøm 2015) diskuteres betydningen av indre bølger i Oslofjorden, målingene er fra Søndre Langåra og Kaholmen, vist på Figur 4.10. I artikkelen vises det også til målinger av tetthet ved Søndre Langåra og Kaholmen, disse er vist i Figur 4.11, men disse er tatt før modellen starter. I modellen er tetthet ikke lagret som en egen parameter, men i Oslofjorden er salinitet den klart dominerende faktoren for tettheten i vannmassene. Derfor benyttes salinitet som et proxy for tetthet i denne analysen. For å illustrere tetthetsvariasjoner i en tidevannssyklus, er det i Figur 4.13 vist en tilfeldig valgt periode fra modellen. Modellpunktene som dataene er hentet fra, er vist i Figur 4.12, og er valgt basert på plasseringen av de målestasjonene i dagens måleprogram som ligger nærmest Søndre Langåra og Kaholmen.

Vi kan se fra både målingene fra (A. Staalstrøm 2015) og modellresultatene at de indre tidevannsbølgene er størst nærmest terskelen (Kaholmen og Hm6), mens de er svakere når en ser på Søndre Langåra og FI1. I tillegg så ser en at for både måling og modell følges tidevannssyklusen og man får to topper/bunner i løpet av ett døgn.



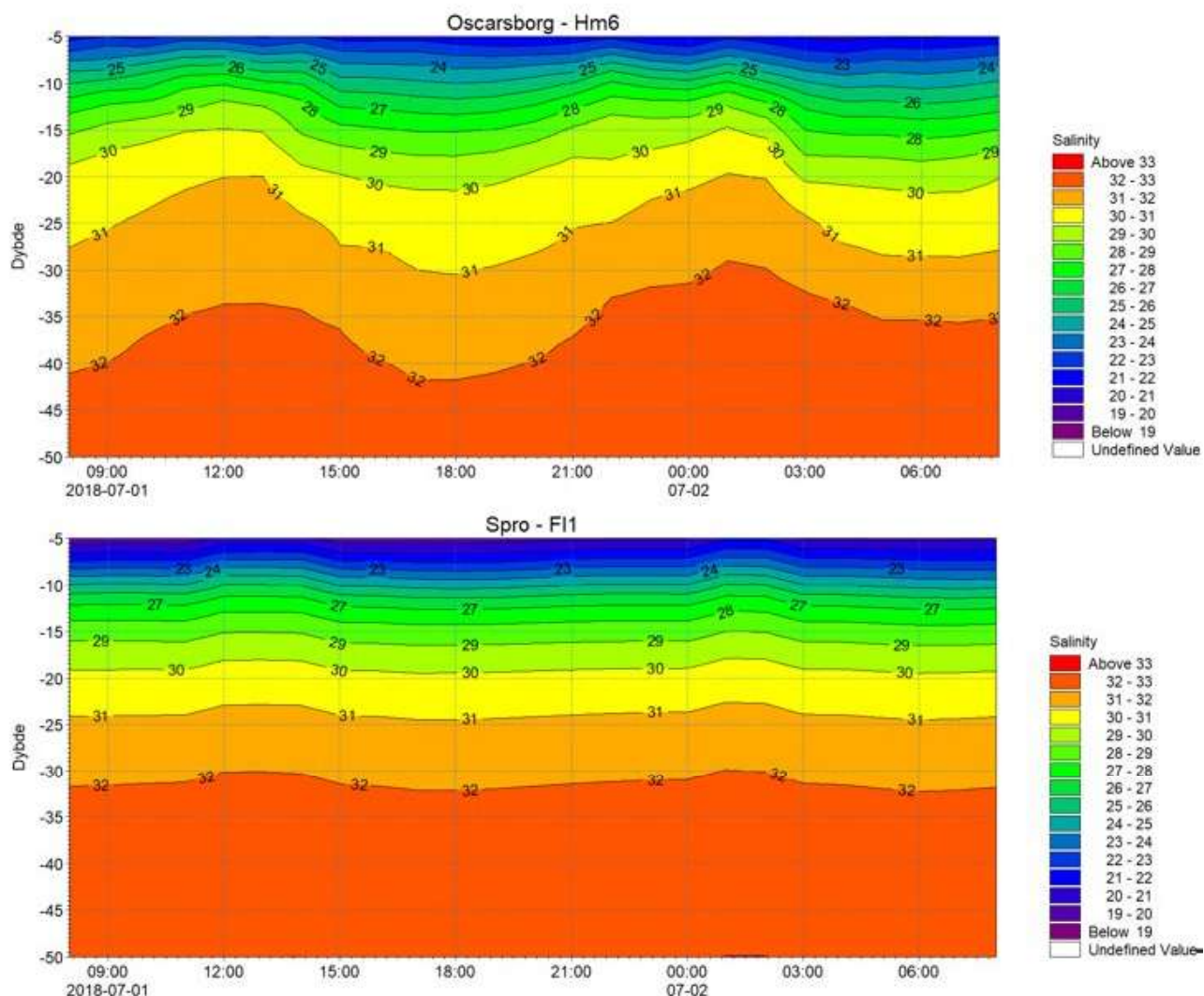
Figur 4.10 Målingene i Figur 4.11 er gjort ved Søndre Langåra og Kaholmen markert med gule sirkler.



Figur 4.11 Målinger av tetthet ved Søndre Langåra og Kaholmen (vist i Figur 4.10) over en tidevannssyklus, fra (A. Staalstrøm 2015).



Figur 4.12 Plasseringen til målestasjonene FI1 (lilla prikk) og Hm6 (oransje prikk), som ligger nærmest Søndre Langåra og Kaholmen. Modellresultatene i Figur 4.13 er tatt fra lokasjonen til målestasjonene.



Figur 4.13 Modellresultat av salinitet ved målestasjonene FI1 og Hm6 (vist i Figur 4.12) over en tidevannssyklus.

4.2 Scenarioer

I de understående kapitlene presenteres resultatene og sammenligningene mellom Baseline og scenarioene for nettostrøm, lagdeling, endringer i salinitet i dypvann ved målestasjoner og transport av salt.

4.2.1 Nettostrøm

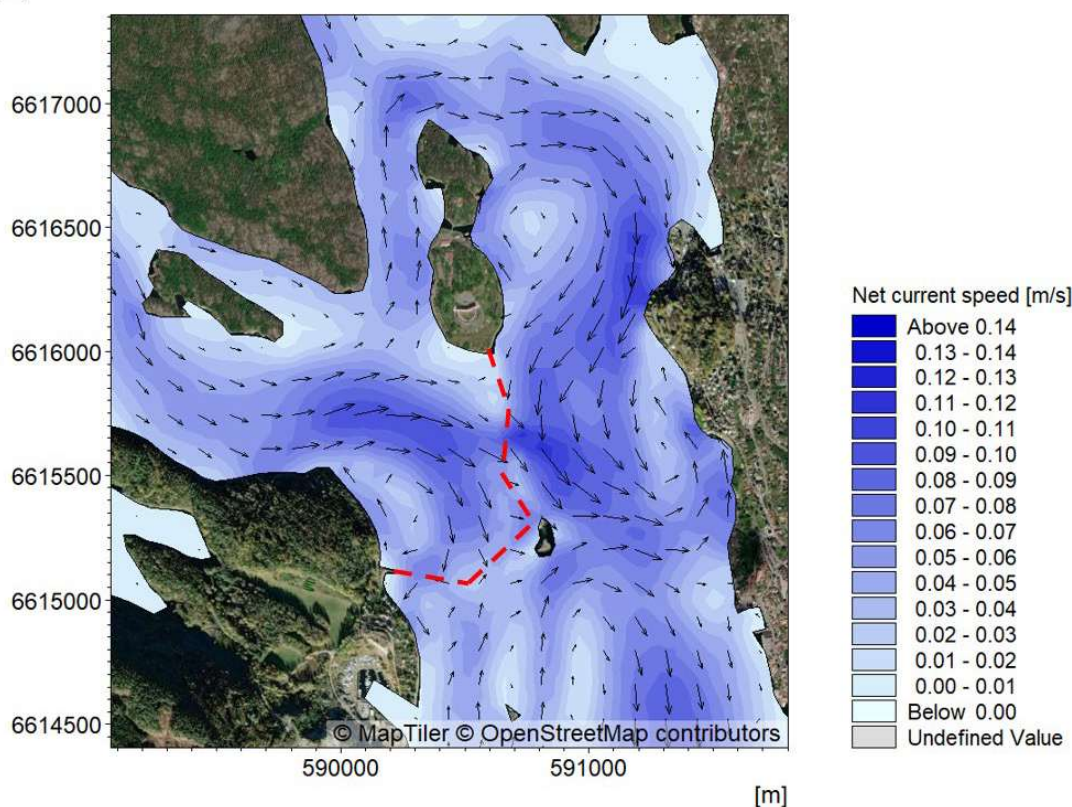
For å forstå hvordan en åpning i jetéen påvirker vannutskiftningen i Indre Oslofjord, er det analysert nettostrøm i overflaten og ulike dyp i Baseline og i de to scenarioene. Figurene nedenfor viser gjennomsnittlig strømretning og -styrke i 2021 på tre dyp: overflaten, 10 meter og 50 meter.

Figur 4.14 - Figur 4.22 viser nettostrømmen i Baseline, Scenario 1 og Scenario 2. I Scenario 1, der det er laget en åpning i jetéen, får vannet en ny utløpsvei gjennom åpningen. En ser da at nettostrømhastighet øker noe sammenlignet med Baseline, i overflaten. Åpningen reduserer vanntransporten gjennom sundet mellom Kaholmen og Håøya fra et gjennomsnitt på 174 m³/s i Baseline til 66 m³/s i Scenario 1. Ut fra transport analysene, i kapittel 4.2.2 ser man i dagens situasjon (Baseline) at mesteparten av vannet strømmer fra Skagerak inn over Drøbakterskelen og videre inn mot Vestfjorden på østsiden av Håøy. Ved utstrømning fortsetter vannet ut igjen på vestsiden av

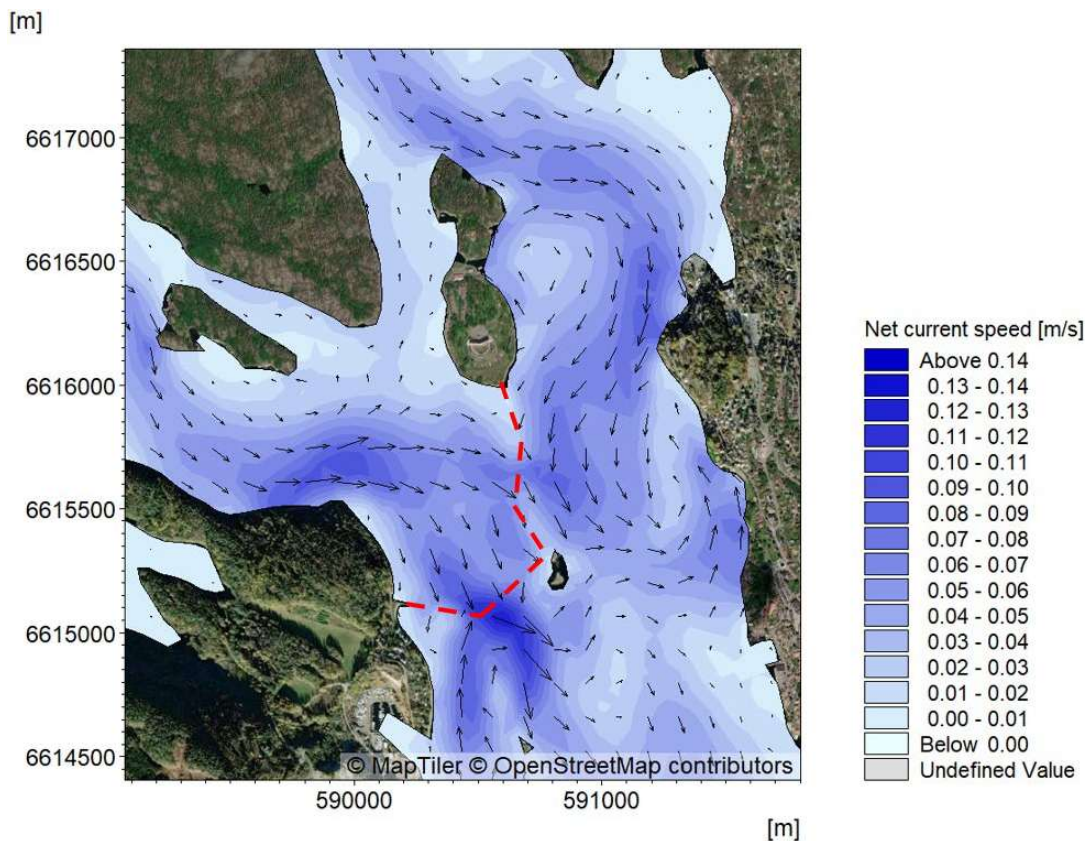
Håøya. På grunn av jetéen får vannet ikke direkte utløp, og det må derfor strømme rundt Håøya før det til slutt kommer ut mellom Kaholmen og Håøya.

Tilsvarende ser en i Scenario 2. Strømmønsteret i overflatelagene er i hovedsak likt som i Scenario 1, med redusert gjennomstrømning via Kaholmen og Håøya som følge av åpningen i jetéen. I Scenario 2 er gjennomsnittlig vanntransport redusert til 49 m³/s. Ved 50 meters dybde observeres en mer markant endring nordvest for Håøya: netto strømretning endrer seg fra å være søroverrettet i Baseline, til å bli nordoverrettet i Scenario 2. Denne endringen i dypvannsstrømmen må ses i sammenheng med endringene i salinitet og den generelle vannutvekslingen i fjorden, som igjen er påvirket av åpningen i jetéen. Dette illustrerer kompleksiteten i Oslofjord-systemet og hvordan en fysisk endring som en åpning kan ha både lokale og dypgående effekter på vannmassenes bevegelser.

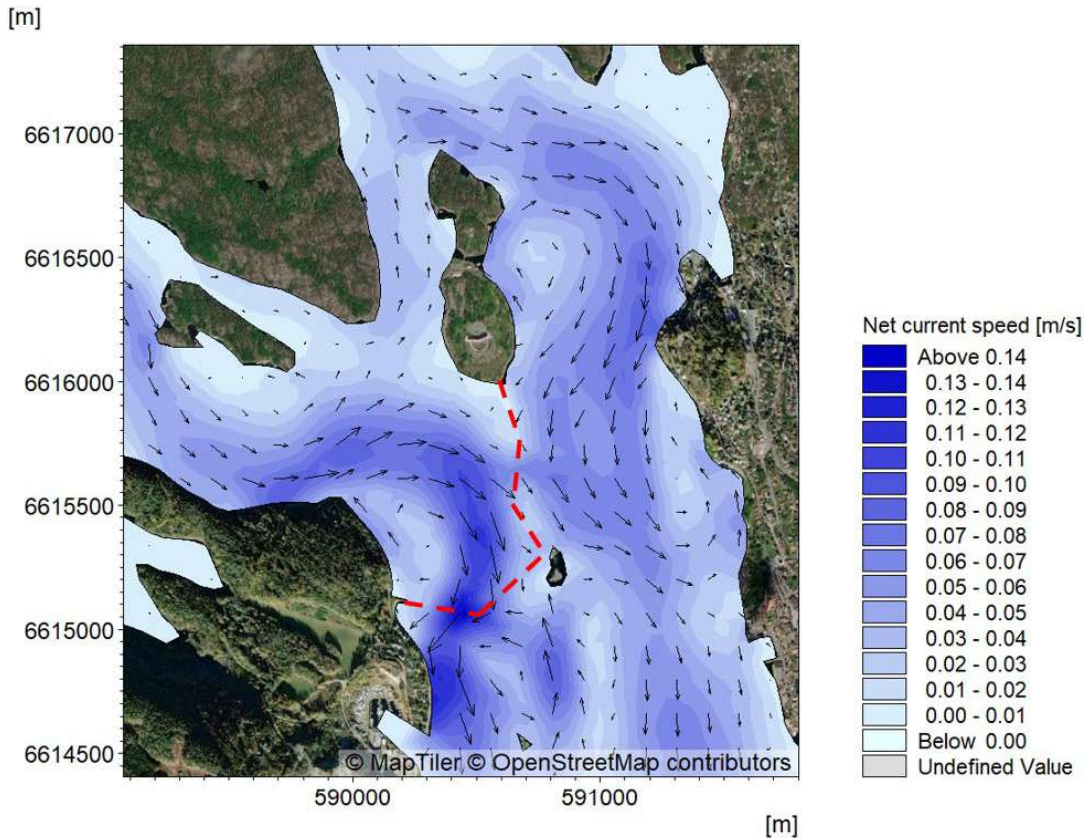
[m]



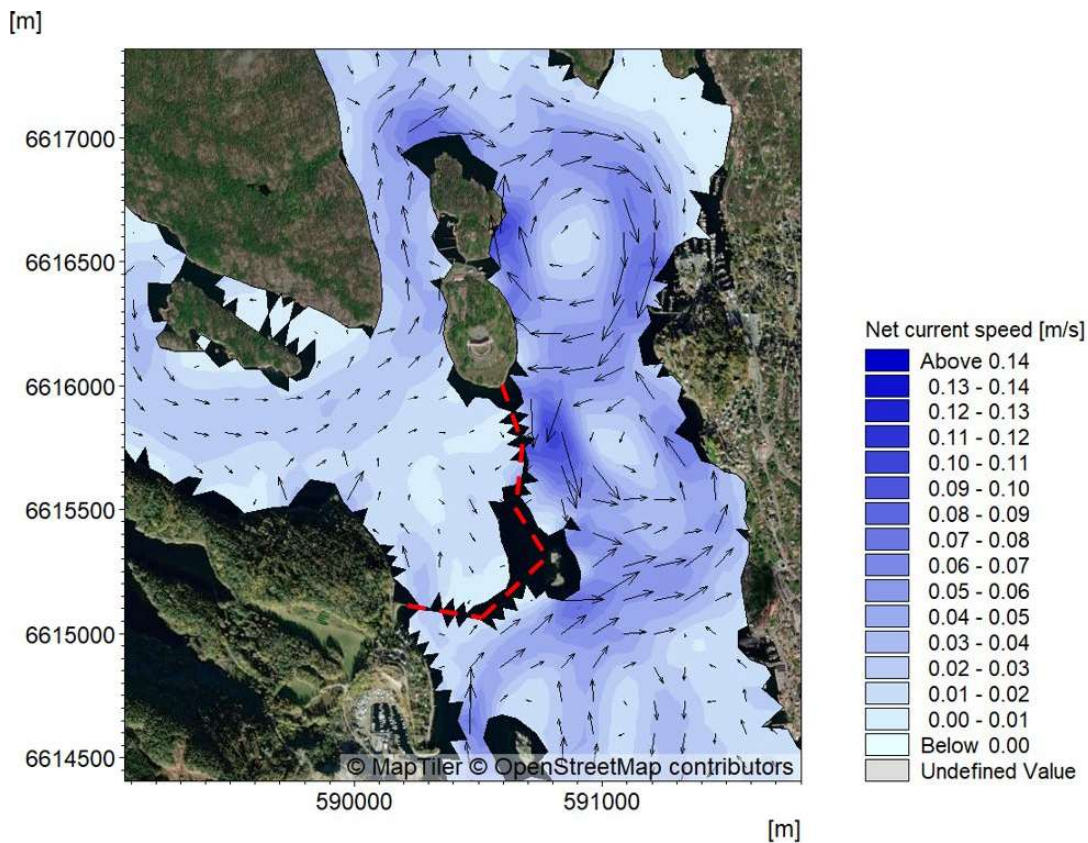
Figur 4.14 Nettostrøm i overflaten (2021) for Baseline, rød stiplet linje viser ca. hvor jetéen er.



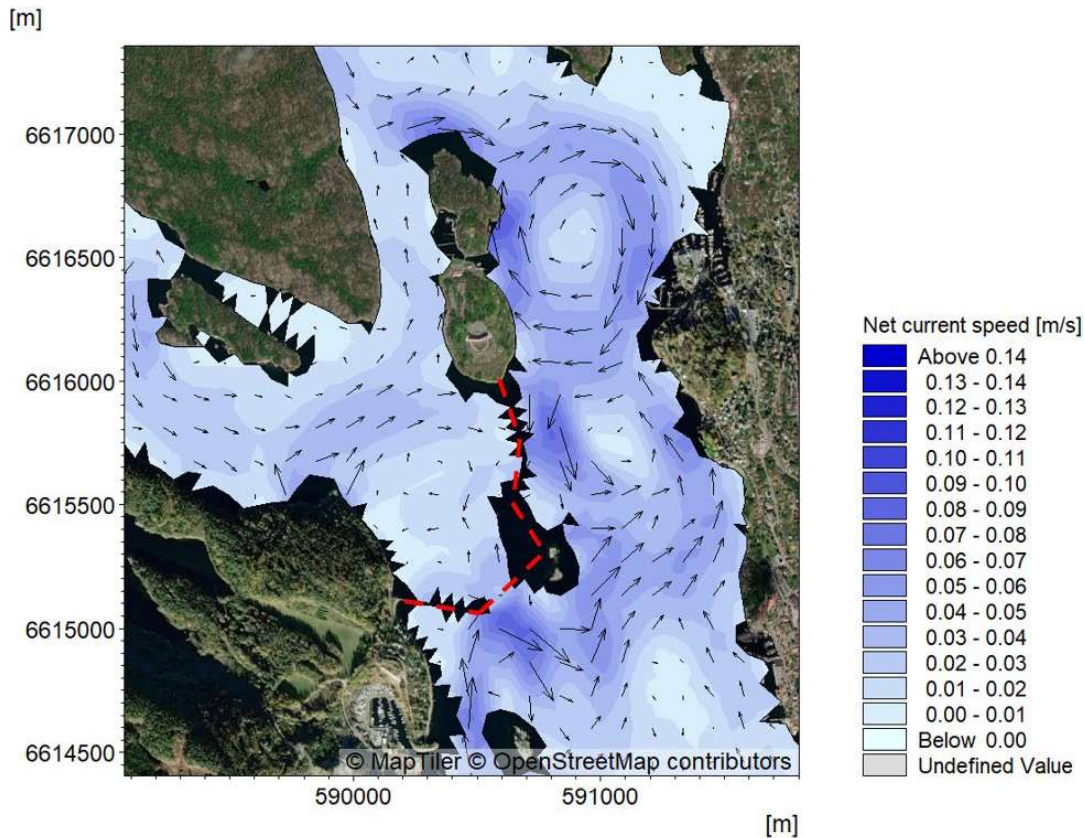
Figur 4.15 Nettostrøm i overflaten (2021) for Scenario 1, rød stiplet linje viser ca. hvor jetéen er.



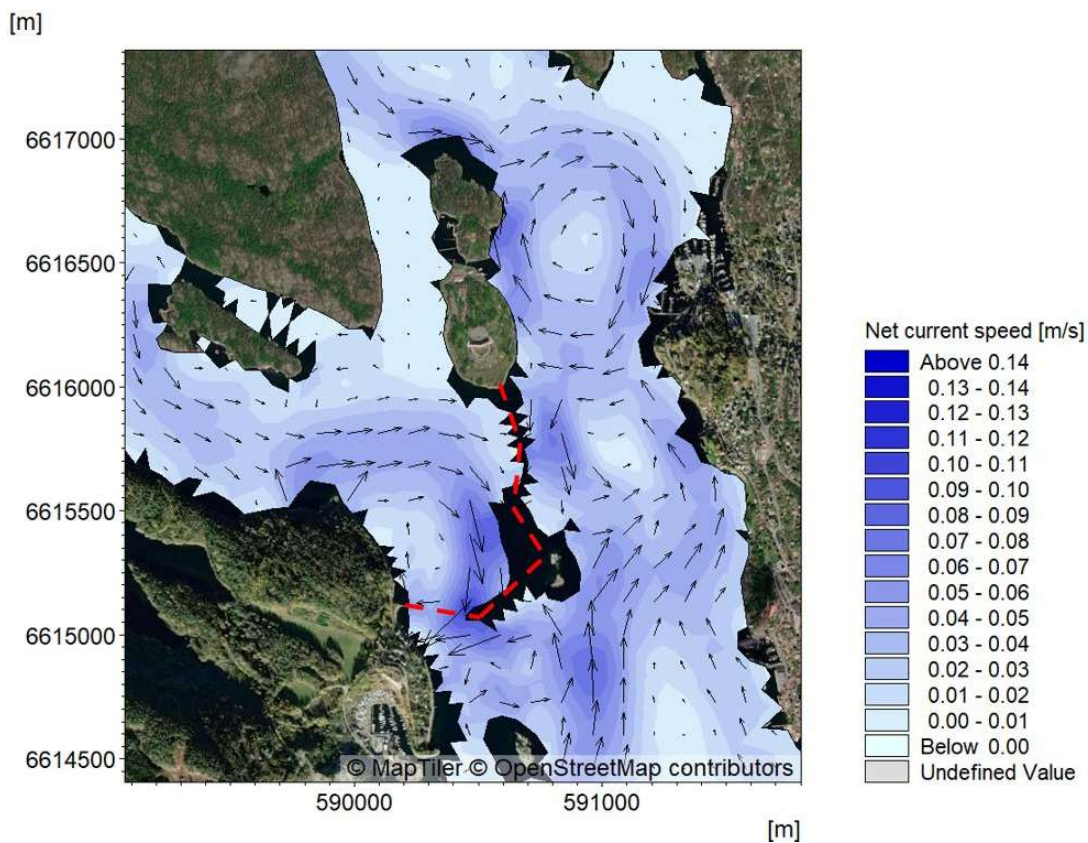
Figur 4.16 Nettostrøm i overflaten (2021) for Scenario 2, rød stiplet linje viser ca. hvor jetéen er.



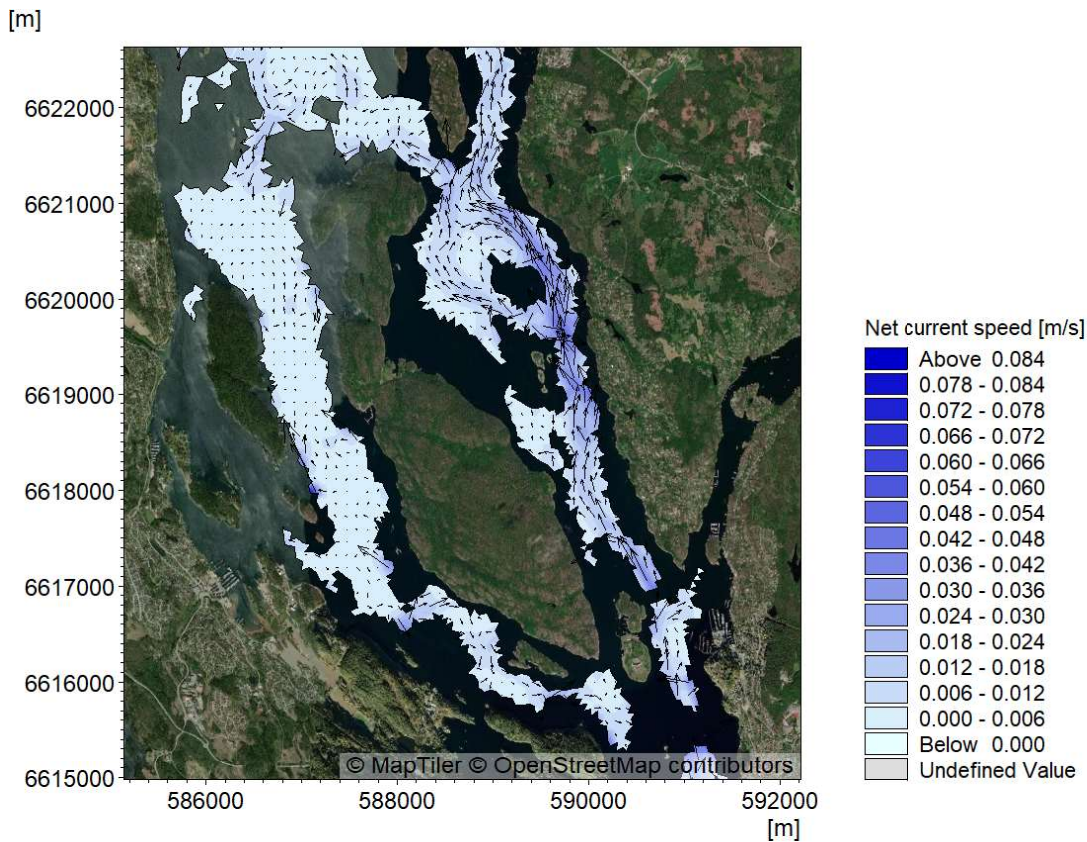
Figur 4.17 Nettostøm i 10 m dybde (2021) for Baseline, rød stiplet linje viser ca. hvor jetéen er.



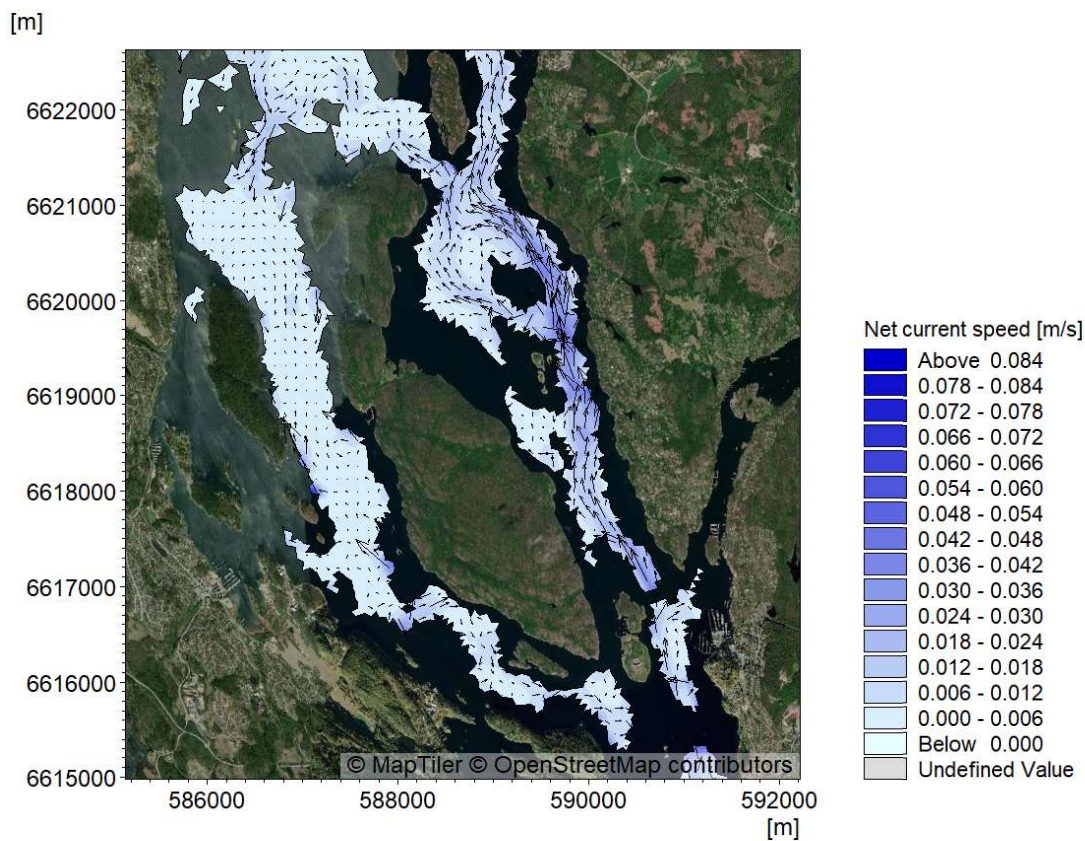
Figur 4.18 Nettostøm i 10 m dybde (2021) for Scenario 1, rød stiplet linje viser ca. hvor jetéen er.



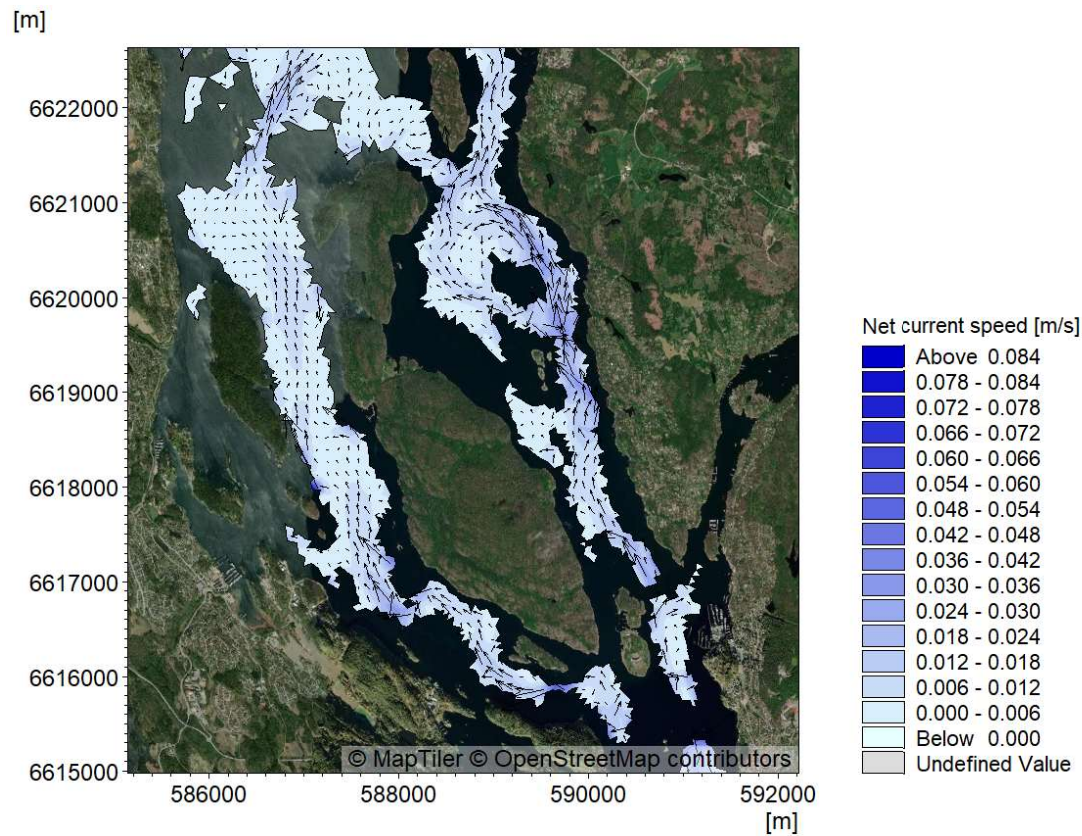
Figur 4.19 Nettostrøm i 10 m dybde (2021) for Scenario 2, rød stiplet linje viser ca. hvor jetéen er.



Figur 4.20 Nettostrøm i 50 m dybde (2021) for Baseline.



Figur 4.21 Nettostrøm i 50 m dybde (2021) for Scenario 1.



Figur 4.22 Nettostrøm i 50 m dybde (2021) for Scenario 2.

4.2.2 Transport

Netto akkumulert transport

Drøbaksundet

Volumtransporten gjennom hele Drøbaksundet er tilnærmet lik i alle tre scenarioer, med et gjennomsnitt på $-27,1 \text{ m}^3/\text{s}$. Som ventet vil ikke den totale vannmengden som passerer gjennom sundet som helhet ikke påvirkes vesentlig av åpningen i jetéen.

Salttransporten over samme snitt viser en tilsvarende tendens. Gjennomsnittlig netto akkumulert salttransport over seks år er $47,9 \text{ kg/s}$ i Baseline, $51,8 \text{ kg/s}$ i Scenario 1 og $55,1 \text{ kg/s}$ i Scenario 2. Dette viser at det fortsatt strømmer inn saltvann gjennom dette snittet i alle scenarioer, men at den økte verdien i scenarioene ikke nødvendigvis betyr mer innstrømning, men at mindre saltvann strømmer ut. Forskjellen mellom Scenario 1 og Scenario 2 må også sees i sammenheng med hvordan vannmassene fordeler seg mellom terskelen mellom Småskjær og Drøbak og jetéåpningen. I Scenario 1, hvor åpningen er grunnere, må dypvannsinbrudd fortsatt passere over terskelen mellom Småskjær og Drøbak. I Scenario 2, hvor åpningen er dypere, får dypvannet en alternativ vei, og strømmen over terskelen reduseres ytterligere.

I Scenario 2, hvor åpningen er dypere (24 meter), får vannskiftet en dypere åpning. Dette gjør at en større andel av dypvannsinbruddene kan passere gjennom åpningen, slik at noe av strømmingen som tidligere gikk over terskelen mellom Småskjær og Drøbak nå omdirigeres via jetéen. Dermed er både volum- og salttransport her lavere i Scenario 2 enn i Scenario 1, selv om samlet innstrømning av saltvann til Indre Oslofjord fortsatt er høyere enn i Baseline.

Småskjær - Drøbak

Dette snittet representerer passasjen over Drøbaksterskelen mellom Småskjær og Drøbak. Gjennomsnittlig årlig akkumulert volumtransport over terskelen er $3,9 \text{ m}^3/\text{s}$ inn i fjorden i Baseline, $88,2 \text{ m}^3/\text{s}$ i Scenario 1 og $46,4 \text{ m}^3/\text{s}$ i Scenario 2. Dette indikerer at i Baseline må vannmassene nødvendigvis strømme ut over terskelen, mens scenarioene åpner for en alternativ utløpsvei gjennom jetéåpningen.

Salttransporten over snittet viser en enda tydeligere endring: fra $910,5 \text{ kg/s}$ i Baseline til $3208,1 \text{ kg/s}$ i Scenario 1 og $1632,4 \text{ kg/s}$ i Scenario 2. Dette innebærer at nettostrømmen over terskelen både i volum og saltinnhold reduseres når åpningen blir dypere. I Scenario 1 strømmer mer vann både inn og ut gjennom jetéåpningen, noe som reduserer inn- og utstrømningen gjennom dette tverrsnittet, særlig utstrømningen. Dermed øker den netto akkumulerte salttransporten her. I Scenario 2 gjelder det samme mønsteret, men i tillegg strømmer mer dypvann inn i Oslofjorden via jetéen, noe som reduserer innstrømningen gjennom snittet Småskjær–Drøbak.

Jetéen mellom Hurum og Småskjær

For snittet over jetéåpningen mellom Hurum og Småskjær er endringene markante. Netto volumtransporten øker fra $-31,9 \text{ m}^3/\text{s}$ i Baseline til $-119,2 \text{ m}^3/\text{s}$ i Scenario 1 og $-73,5 \text{ m}^3/\text{s}$ i Scenario 2. Dette viser at en betydelig vannmengde nå strømmer ut gjennom åpningen, spesielt i Scenario 1 hvor overflatevann sannsynligvis dominerer utstrømningen.

Netto salttransport følger samme mønster: fra $-891,2 \text{ kg/s}$ i Baseline til $-3244,7 \text{ kg/s}$ i Scenario 1 og $-1577,9 \text{ kg/s}$ i Scenario 2. Den høyere negative verdien i Scenario 1 antyder at mer av det salte vannet som tidligere gikk over terskelen nå strømmer ut via åpningen.

Håøya–Drøbak

Tverrsnittet mellom Håøya og Drøbak viser et motsatt mønster av det som observeres over terskelen i Drøbaksundet. Her er innstrømningen størst i Baseline, mindre i Scenario 1, og minst i Scenario 2. Den gjennomsnittlige årlige akkumulerte volumtransporten for perioden 2018–2023 er $265 \text{ m}^3/\text{s}$ i Baseline, $195 \text{ m}^3/\text{s}$ i Scenario 1 og $135 \text{ m}^3/\text{s}$ i Scenario 2. Dette tyder på at en større andel av vannet som i dagens situasjon strømmer mellom Håøya og Kaholmen, i scenarioene i stedet benytter åpningen i

jetéen som ny utløpsvei. I tillegg kan åpningen i jetéen også fungere som en alternativ innstrømningsvei for vannmasser som tidligere måtte passere over terskelen.

Denne endringen i gjennomstrømningen gjenspeiles tydelig i salttransporten. I Baseline er netto akkumulert salttransport i gjennomsnitt over seks år på 7861 kg/s. Dette reduseres i scenarioene, til 6223 kg/s i Scenario 1 og 3955 kg/s i Scenario 2. Dette viser at både vannmengde og saltmengde som strømmer inn i fjorden via dette snittet reduseres når jetéåpningen er til stede. Endringen skyldes både at dypvannsinnstrømningen delvis kanaliseres gjennom jetéen, og at strømningsfeltet i området endres som følge av det alternative løpet.

Hurum – Håøya

I snittet mellom Hurum og Håøya observeres netto utstrømning i alle tre scenarioer, men også her er det betydelige forskjeller i transportens styrke. Gjennomsnittlig akkumulert volumtransport over seks år er -291 m³/s i Baseline, -222 m³/s i Scenario 1 og -162 m³/s i Scenario 2. Utstrømningen avtar altså med økende åpning i jetéen. Dette viser at tiltaket fører til økt innstrømning gjennom jetéåpningen.

Salttransporten følger samme mønster: - Gjennomsnittlig netto salttransport er -7816 kg/s i Baseline, 6175 kg/s i Scenario 1 og -3903 kg/s i Scenario 2. Dette innebærer at den totale mengden salt som transporteres ut gjennom snittet Hurum–Håøya er betydelig lavere i scenarioene sammenlignet med dagens situasjon, noe som trolig skyldes økt innstrømning gjennom åpningen i jetéen.

Asker - Nesodden

Volumtransporten gjennom snittet mellom Asker og Nesodden er tilnærmet lik i alle tre scenarioer, med et gjennomsnitt på ca. -23 m³/s. Dette indikerer at tiltakene ved Drøbaksundet har liten innvirkning på den samlede vannmengden som strømmer gjennom dette mer nordlige snittet.

Når det gjelder salttransporten, viser det seg imidlertid små, men systematiske forskjeller: Gjennomsnittlig netto akkumulert salttransport i dette snittet er 30,3 kg/s i Baseline, 33,1 kg/s i Scenario 1 og 36,1 kg/s i Scenario 2. Dette antyder at det i scenarioene kommer noe mer salt inn i indre Oslofjord også gjennom dette snittet, selv om endringen er vesentlig mindre enn i de sørligere snittene. Forskjellen skyldes at vannmassene i scenarioene er noe saltare generelt, og at dette gradvis forplanter seg nordover gjennom fjordsystemet.

Positiv akkumulert salttransport

I tillegg til netto akkumulert salttransport, som viser balansen mellom inn- og utstrømning av salt over hele perioden 2018–2023, er det også gjort beregninger av positiv akkumulert salttransport – altså kun den delen som representerer innstrømning til Oslofjorden, uavhengig av eventuell returstrøm. Disse analysene gjelder årene 2022 og 2023, som er de eneste årene med tilgjengelige modellresultater for alle tre scenarioer.

Ved å inkludere kun innstrømmende saltvann, gir denne tilnærmingen et supplerende bilde av hvordan tiltakene påvirker tilførselen av saltvann, særlig i de dypere vannlagene. Det er imidlertid viktig å være klar over at slike beregninger ikke nødvendigvis uttrykker netto fornyelse av vannmasser – samme vannmasse kan registreres flere ganger dersom den beveger seg frem og tilbake over et snitt.

Drøbaksundet

Gjennomsnittlig positiv salttransport i Drøbaksundet viser en svak, men systematisk økning fra scenario til scenario: 74 125 kg/s i Baseline, 74 740 kg/s i Scenario 1 og 75 903 kg/s i Scenario 2. Dette bekrefter at det i scenarioene kommer inn noe mer saltvann til Indre Oslofjord via dette snittet, særlig i Scenario 2, som har en dypere åpning. Den prosentvise forskjellen fra Baseline er på 0,8 % for Scenario 1 og 2,4 % for Scenario 2. Dette samsvarer med resultatene fra netto salttransport, og viser at åpningen i jetéen ikke bare omfordeler utstrømningen, men også fører til noe høyere total tilførsel av saltvann til fjorden gjennom dette snittet.

Småskjær - Drøbak

Den positive salttransporten reduseres fra 56 588 kg/s i Baseline til 50 231 kg/s i Scenario 1 og 44 633 kg/s i Scenario 2. Det tilsvarer en nedgang på henholdsvis 11,2 % og 21,1 %, og bekrefter at en stadig større andel av saltvannstilførselen kanaliseres gjennom jetéåpningen når denne gjøres dypere.

Jetéen mellom Hurum og Småskjær

Den positive salttransporten gjennom jetéen øker betraktelig: fra 2539 kg/s i Baseline til 10 207 kg/s i Scenario 1 og hele 17 840 kg/s i Scenario 2. Dette tilsvarer en økning på henholdsvis 302 % og 603 %, og bekrefter at jetéåpningen i økende grad har innstrømning av saltvann, spesielt når den er dyp nok til å tillate dypvannsinnbrudd.

Håøya-Drøbak

Her vises motsatt trend. Den gjennomsnittlige positive salttransporten reduseres fra 52 367 kg/s i Baseline til 48 899 kg/s i Scenario 1 og videre til 45 873 kg/s i Scenario 2. Det gir en reduksjon på henholdsvis 6,6 % og 13,4 % sammenlignet med Baseline. Dette tyder på at noe av innstrømningen som tidligere gikk gjennom dette snittet, nå kanaliseres inn via åpningen i jetéen. Dette er i tråd med observasjonene for netto volum- og salttransport, og underbygger at åpningen bidrar til å omfordele innstrømningsmønsteret i fjorden.

Hurum – Håøya

I dette snittet observeres en tydelig økning i positiv salttransport i scenarioene. Gjennomsnittet øker fra 16 618 kg/s i Baseline til 22 098 kg/s i Scenario 1 og hele 25 737 kg/s i Scenario 2. Dette tilsvarer en økning på 33,0 % og 54,9 %. Dette indikerer at tiltakene ved jetéen ikke bare reduserer utstrømningen gjennom snittet (som vist i netto analysen), men fremfor alt muliggjør økt innstrømning i dypere lag. Scenario 2 har høyest verdi, noe som sannsynligvis skyldes at dypvann lettere kan trenge inn gjennom den dypere åpningen i jetéen, og deretter føres videre inn i fjordsystemet via Hurum–Håøya-snittet.

Asker – Nesodden

Gjennomsnittlig positiv salttransport er her relativt lik i alle scenarioer, men med en svak økning: 95 742 kg/s i Baseline, 98 834 kg/s i Scenario 1 og 96 818 kg/s i Scenario 2. Det tilsvarer en økning på 2,7 % i Scenario 1 og 1,1 % i Scenario 2. Forskjellene er små, men systematiske, og tyder på at endringer i saltinnhold i sør også kan gi en svak, men merkbar effekt nord i fjorden over tid – sannsynligvis fordi saltvann forplanter seg gjennom fjordsystemet.

De positive salttransportene støtter opp under funnene fra analysene av netto transport: åpningen i jetéen fører til økt innstrømning av saltvann, særlig i de sørlige delene av fjorden. Effekten er mest uttalt i Scenario 2, der den dypere åpningen gir dypvannet en ny inngangsvei. Samtidig viser tallene fra snittet Håøya–Drøbak at en del av den tidligere innstrømningen over Drøbaksterskelen nå i større grad kan passere gjennom åpningen i jetéen. Dette antyder at innstrømningsmønsteret i fjorden påvirkes av tiltakene, ved at volum og salt fordeler seg annerledes mellom terskelen og den nye åpningen – snarere enn at det skjer en vesentlig økning i total tilførsel.

Tabell 4.1 Gjennomsnittlig akkumulert volumtransport (2018-2024).

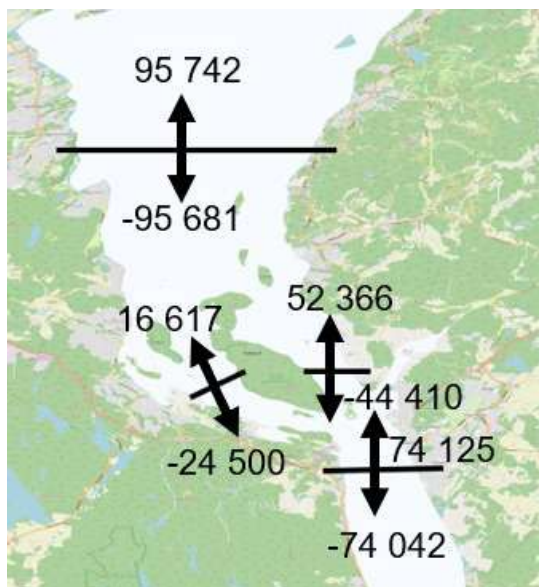
	Akkumulert Volumtransport (m ³ /s)			Akkumulert Volumtransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
Drøbaksundet	-27,1	-27,1	-27,1	0	0
Småskjær - Drøbak	3,9	88,2	46,4	403,3	111,0
Hurum og Småskjær	-31,9	-119,2	-73,5	269,8	157,1
Håøya - Drøbak	264,6	195,1	135,2	-26,4	-48,8
Hurum - Håøya	-291,3	-221,8	-162,0	-24,0	-44,3
Asker - Nesodden	-23,1	-23,1	-23,1	0,1	0,1

Tabell 4.2 Gjennomsnittlig akkumulert salttransport Drøbaksundet (2018-2024).

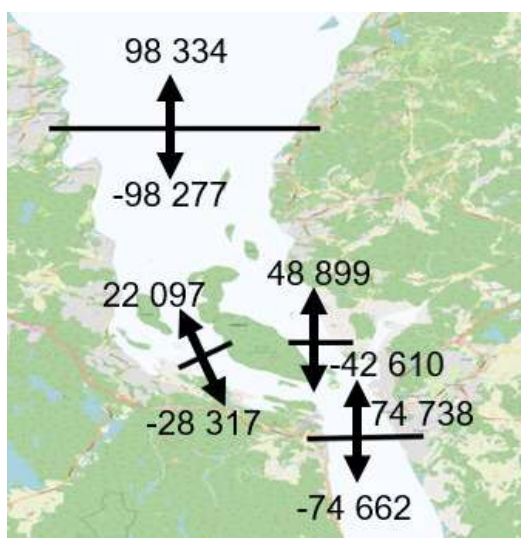
	Akkumulert Salttransport (kg/s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
Drøbaksundet	47,9	51,8	55,1	8,1	15,2
Småskjær - Drøbak	910,5	3208,1	1632,4	454,8	191,5
Hurum og Småskjær	910,5	3208,1	1632,4	264,1	77,1
Håøya - Drøbak	7861,1	6223,1	3954,8	-20,8	-49,7
Hurum - Håøya	-7816,4	-6174,6	-3903	-21,0	-50,1
Asker - Nesodden	30,3	33,1	36,1	9,5	19,2

Tabell 4.3 Gjennomsnittlig positiv akkumulert salttransport (2018-2024).

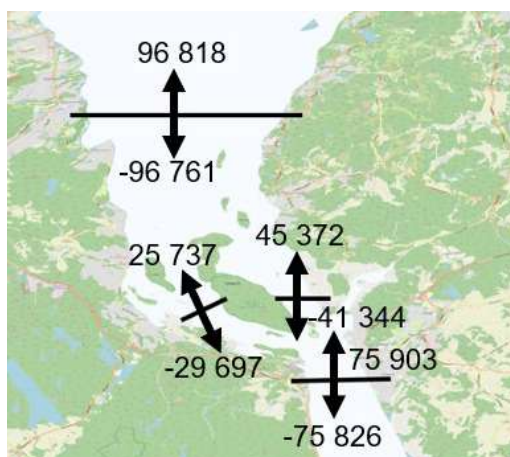
	Akkumulert Positiv Salttransport (kg/s)			Akkumulert Positiv Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
Drøbaksundet	74125	74739	75903	0,8	2,4
Småskjær - Drøbak	56587,9	50230,5	44633,2	-11,3	-21,1
Hurum og Småskjær	2538,8	10207,1	17840,4	303,7	610,7
Håøya - Drøbak	52367	48899	45373	-6,6	-13,4
Hurum - Håøya	16618	22097,5	25737	33,0	54,9
Asker - Nesodden	95742	98334	96818	2,7	1,1



Figur 4.23 Akkumulert salttransport (kg/s), både innstrømning og utstrømning, i Baseline. Tallene er gjennomsnittet av dataene for 2022 og 2023. Tverrsnittene er vist i Figur 3.6.



Figur 4.24 Akkumulert salttransport (kg/s), både innstrømning og utstrømning, i Scenario 1. Tallene er gjennomsnittet av dataene for 2022 og 2023. Tverrsnittene er vist i Figur 3.6.



Figur 4.25 Akkumulert salttransport (kg/s), både innstrømning og utstrømning, i Scenario 2. Tallene er gjennomsnittet av dataene for 2022 og 2023. Tverrsnittene er vist i Figur 3.6.

4.2.3 Salinitet og lagdeling

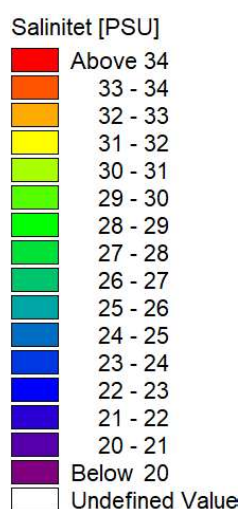
Vannsøylen kan i prinsippet deles i to lag, med et tydelig skille mellom ferskere vann over terskelnivå og saltare vann under. Figurene illustrerer gjentatte hendelser der saliniteten øker samtidig i store deler av vannsøylen under terskelnivå for samtlige scenarier. Dette er et resultat av innstrømning av saltare vann fra området utenfor Drøbaksterskelen. Etter slike innstrømninger observeres en gradvis reduksjon i salinitet i dypvannet, som starter i de øvre delene og forplanter seg nedover i vannsøylen, i linje med tidligere arbeider.

I Figur 4.27 - Figur 4.30 er isoplett-figurene for salinitet vist. Her ser man hvordan saliniteten og lagdelingen i vannsøylen endrer seg over tid ved målestasjonene presentert i Figur 3.7. Figurene viser at det med jevne mellomrom kommer inn «friskt» vann til Oslofjorden, men at hyppigheten av inntrengningene avtar jo lengre inn i fjordsystemet man kommer. Ved GI2 ser man at slikt vann strømmer inn flere ganger i året, mens ved Gk1 og Dk1 skjer det omtrent én gang i året. I Bunnefjorden (Ep1) skjer dette sjeldnere enn én gang i året. Dette samsvarer med at vannet som går over Drøbakterskelen, som er det dypeste området i fjordterskelen og ved jetéen, har kortere vei til Håøya (GI2) og Vestfjorden (Dk1) enn Bunnefjorden.

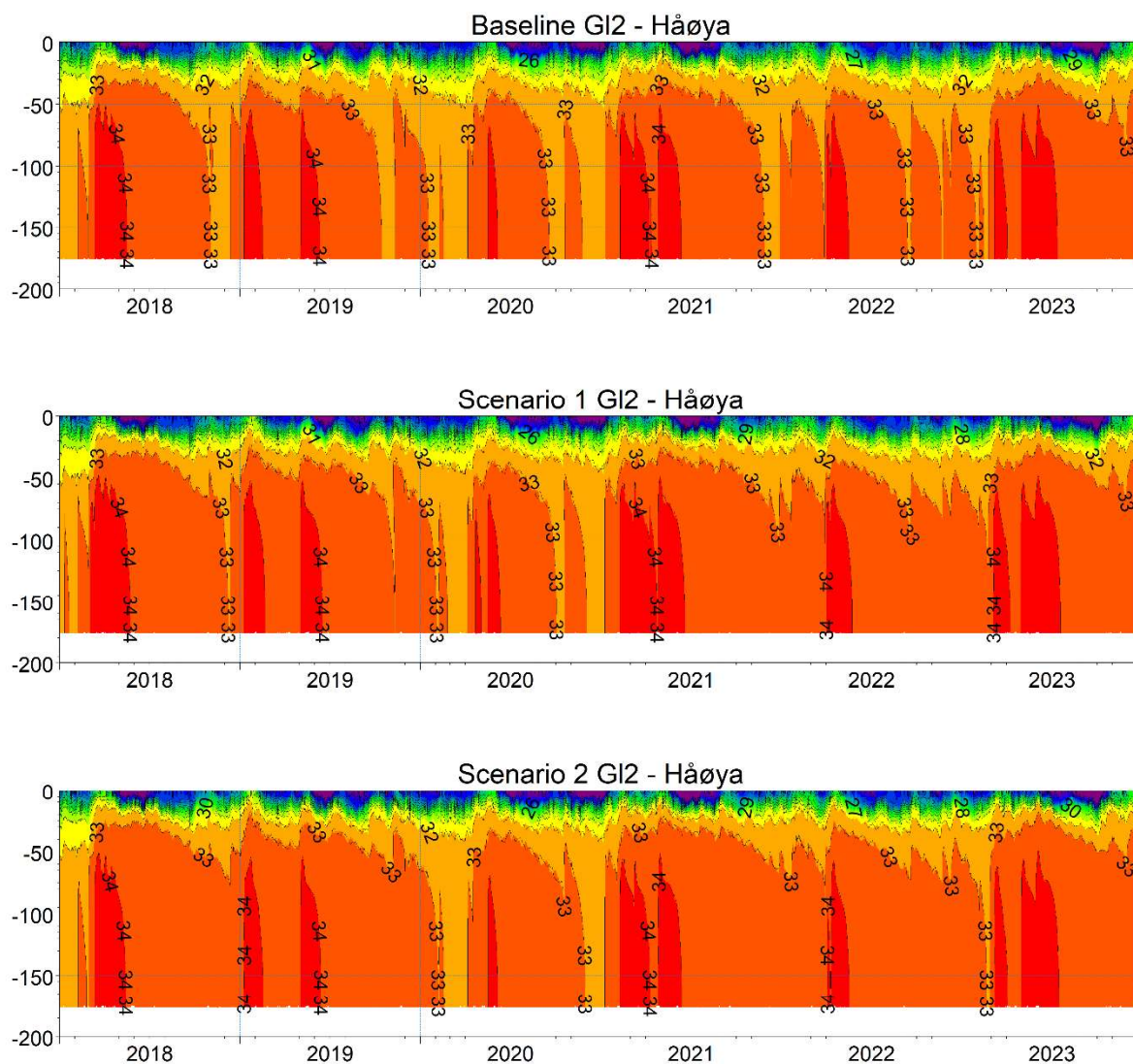
Både Scenario 1 og Scenario 2 kan i isoplett-figurene gi inntrykk av flere innbrudd enn i Baseline. Ved GI2 og Gk1 ser man at det i Scenario 2 kommer inn «friskt» vann flere ganger i året, mens for Dk1 (og Gk1 i Baseline) skjer dette omtrent én gang i året. For Ep1 er det sjeldnere enn én gang årlig i alle tilfeller.

Det er imidlertid viktig å tolke isoplett-figurene i sammenheng med figurene i kapittel 4.2.4, som viser saliniteten i det dypeste punktet ved de samme målestasjonene. Siden vannmassene i Scenario 1 og Scenario 2 generelt er noe saltare enn i Baseline, kan et innbrudd i Scenarioene forekomme rett over f.eks. 34 PSU, mens det i Baseline ligger rett under. Dette kan føre til at det i isoplett-figurene ser ut som det kun forekommer et innbrudd i scenarioene, selv om et tilsvarende innbrudd også skjer i Baseline. Paletten som er brukt i figurene er vist i Figur 4.26.

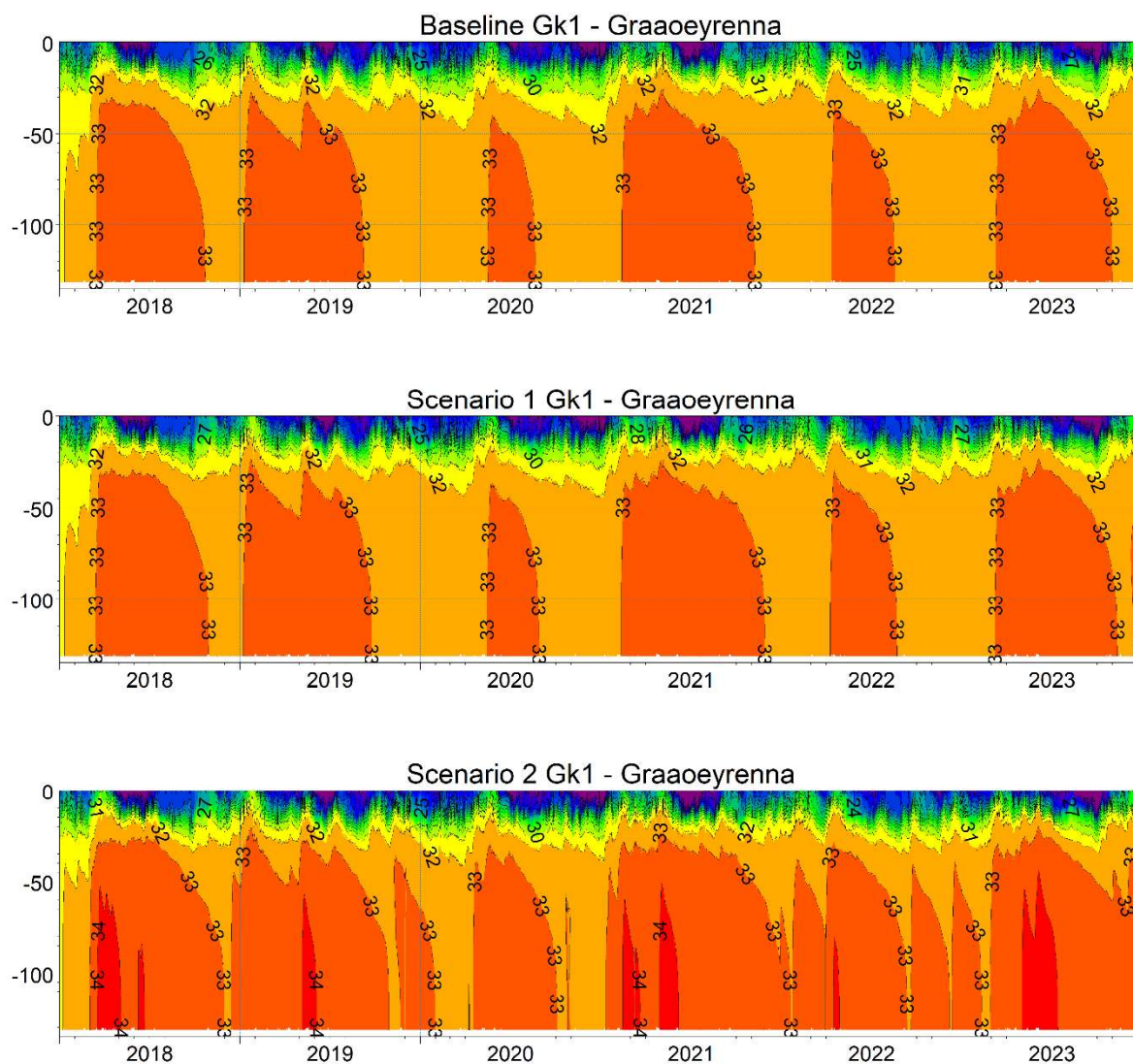
Sesongvariasjonene i fjorden kommer tydelig fram i modellresultatene. Om vinteren preges vannsøylen av lave temperaturer, mens sommeren viser en markert oppvarming i overflatelagene. Saliniteten i overflaten svinger gjennom året, påvirket av ferskvannstilførsel og fordampning. I dypvannet fremtrer dypvannsinnebrudd som periodiske økninger i salinitet. Dette skyldes innstrømning av tettere, saltrikt vann fra Ytre Oslofjord som overkommer Drøbaksterskelen og fornyer de stagnante bunnvannsmassene i Indre Oslofjord.



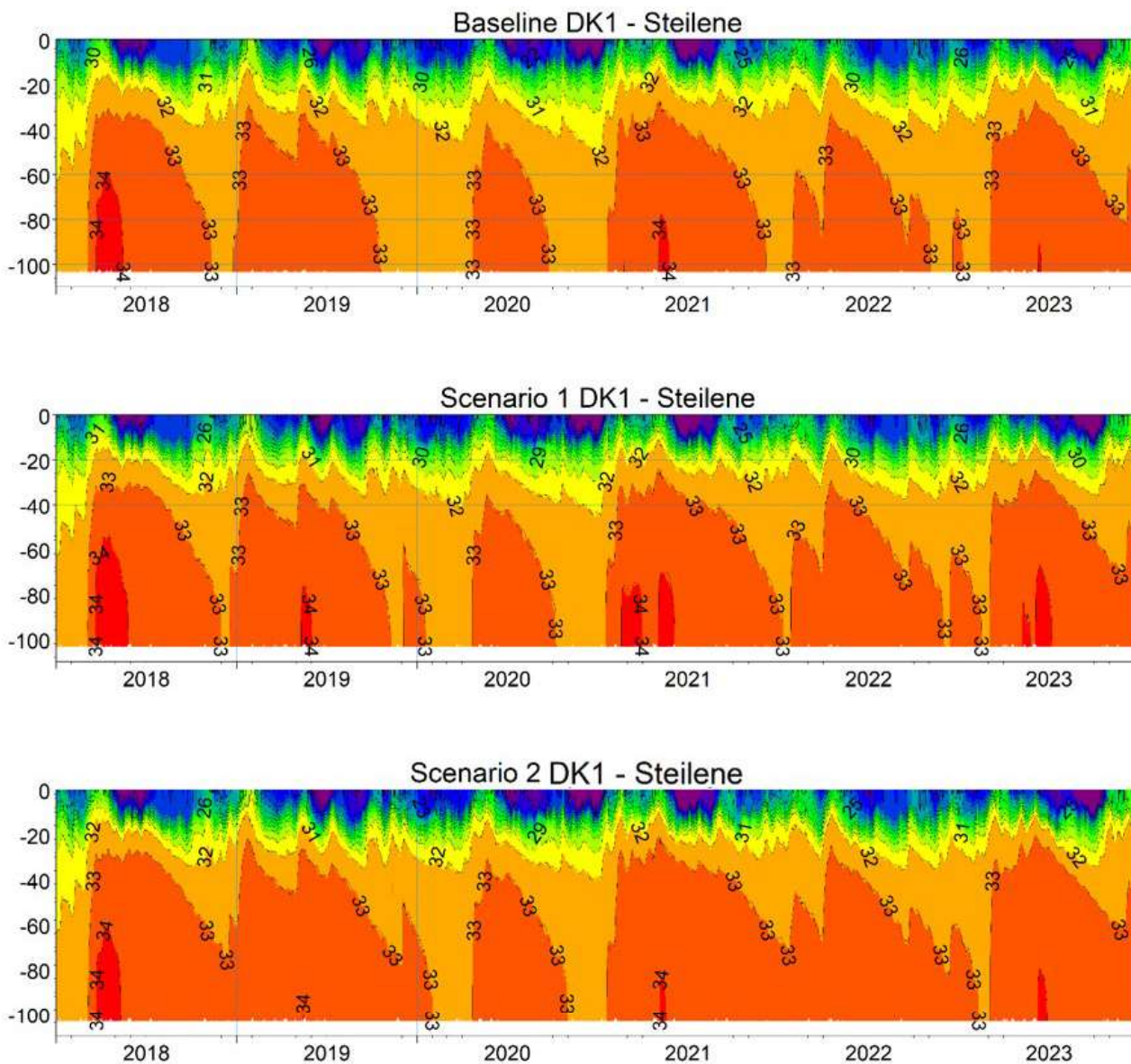
Figur 4.26 Palett for isoplett figurene Figur 4.27 - Figur 4.30.



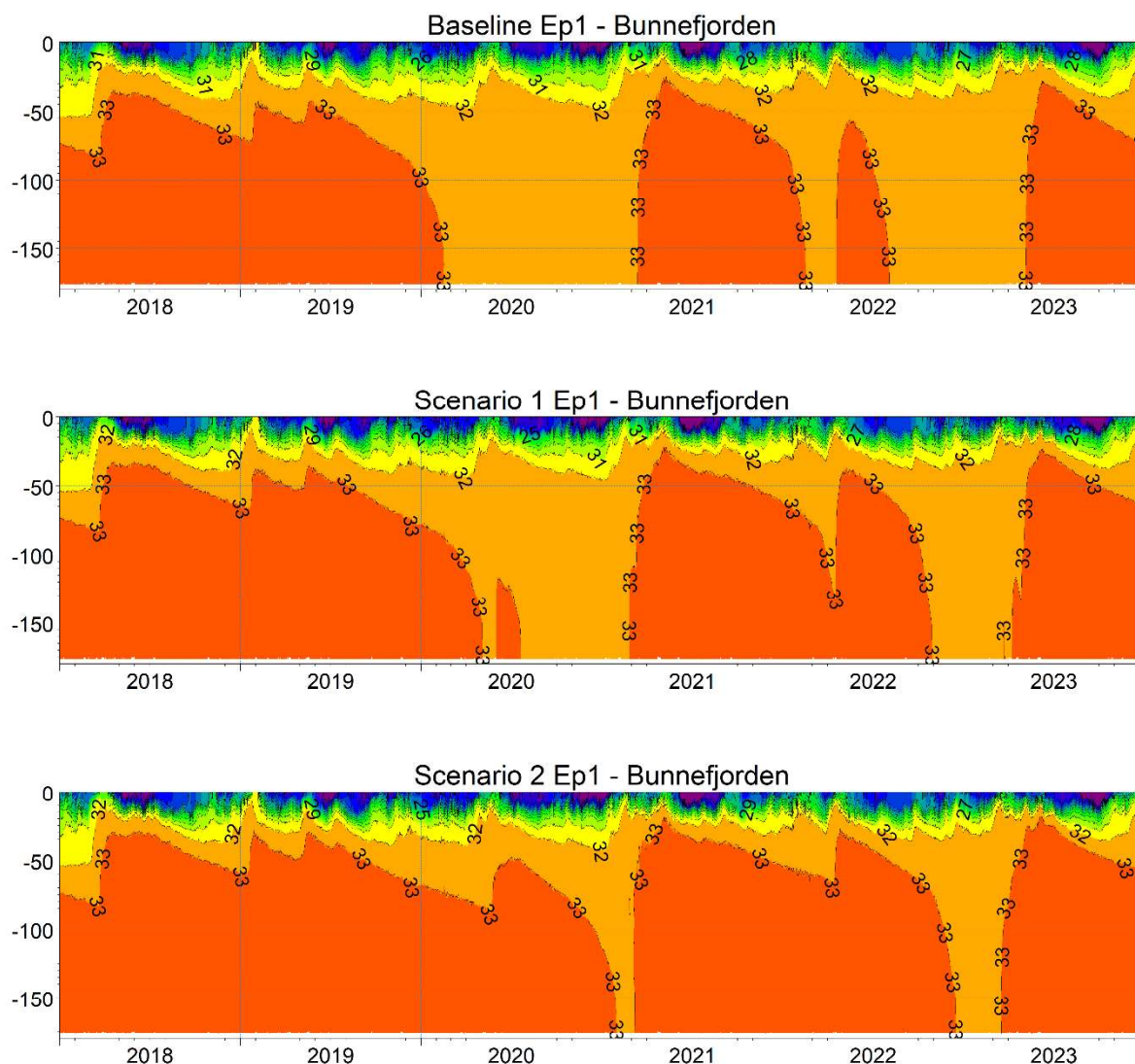
Figur 4.27 Isoplett figur av salinitet for Baseline, Scenario 1 og Scenario 2 ved målestasjonen G12 - Håøya. Her ser man hvordan den modellerte saliniteten for hele vannsøylen (y-aksen i meter) over modellperioden, i samme punkt som målestasjonen er.



Figur 4.28 Isoplett figur av salinitet for Baseline, Scenario 1 og Scenario 2 ved målestasjonen Gk1 - Gråøyrenna. Her ser man hvordan den modellerte saliniteten for hele vannsøylen (y-aksen i meter) over modellperioden, i samme punkt som målestasjonen er.



Figur 4.29 Isoplett figur av salinitet for Baseline og Scenario 1 ved målestasjonen Dk1 - Steilene. Her ser man hvordan den modellerte saliniteten for hele vannsøylen (y-aksen i meter) over modellperioden, i samme punkt som målestasjonen er.



Figur 4.30 Isoplett figur av salinitet for Baseline og Scenario 1 ved målestasjonen Ep1 - Bunnefjorden. Her ser man hvordan den modellerte saliniteten for hele vannsøylen (y-aksen i meter) over modellperioden, i samme punkt som målestasjonen er.

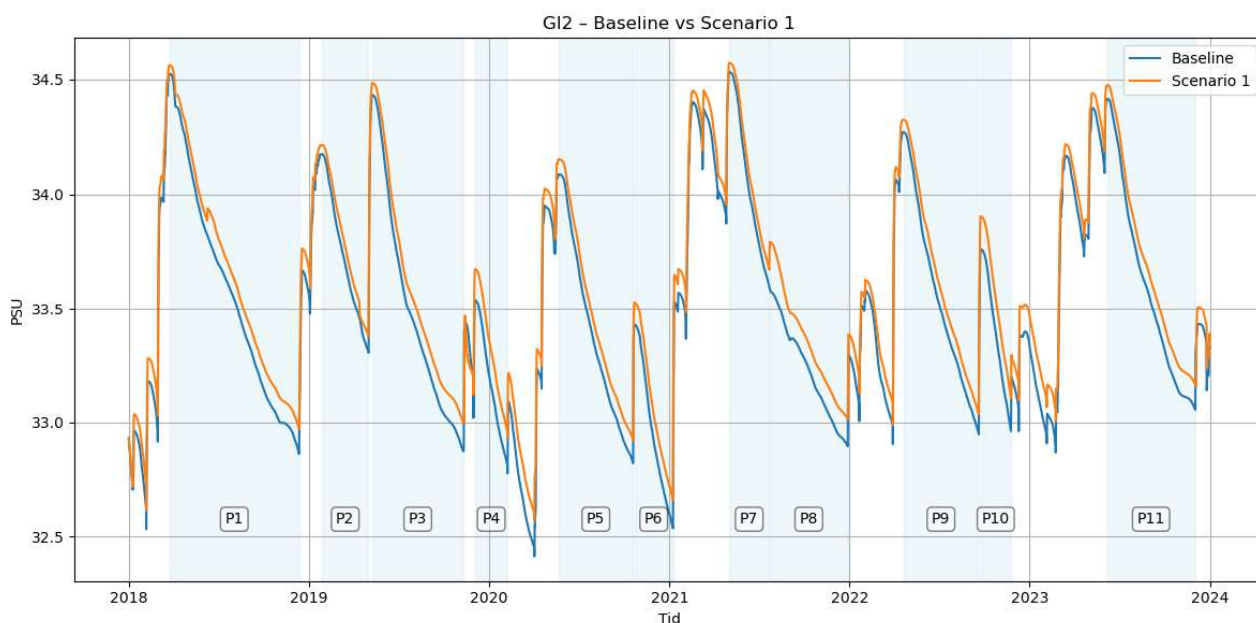
4.2.4 Salinitetsutvikling i bunnvannet

I dette avsnittet undersøkes den modellerte saliniteten i den dypeste cellen ved målestasjonene vist i Figur 3.7. Figur 4.31 - Figur 4.42 viser en sammenligning av tidsserier for saliniteten i den dypeste cellen for Baseline (blå linje) og Scenario 1 og/eller Scenario 2 (oransje og grønn linje). I figurene der begge scenarioene er inkludert, representerer den oransje linjen Scenario 1, mens den grønne linjen viser Scenario 2. De blå- og rødmarkerte områdene (for henholdsvis Scenario 1 og Scenario 2) angir perioder på minimum 60 dager med synkende salinitet, der det ikke forekommer dypvannsfornyelse over terskelen. Det skjer stadig vekk små innbrudd, for å kunne gjøre en analyse på det er det derfor fokusert på de større innbruddene. Disse periodene, med tilhørende stigningstall og prosentvise forskjeller, er presentert i Tabell 4.4 - Tabell 4.11.

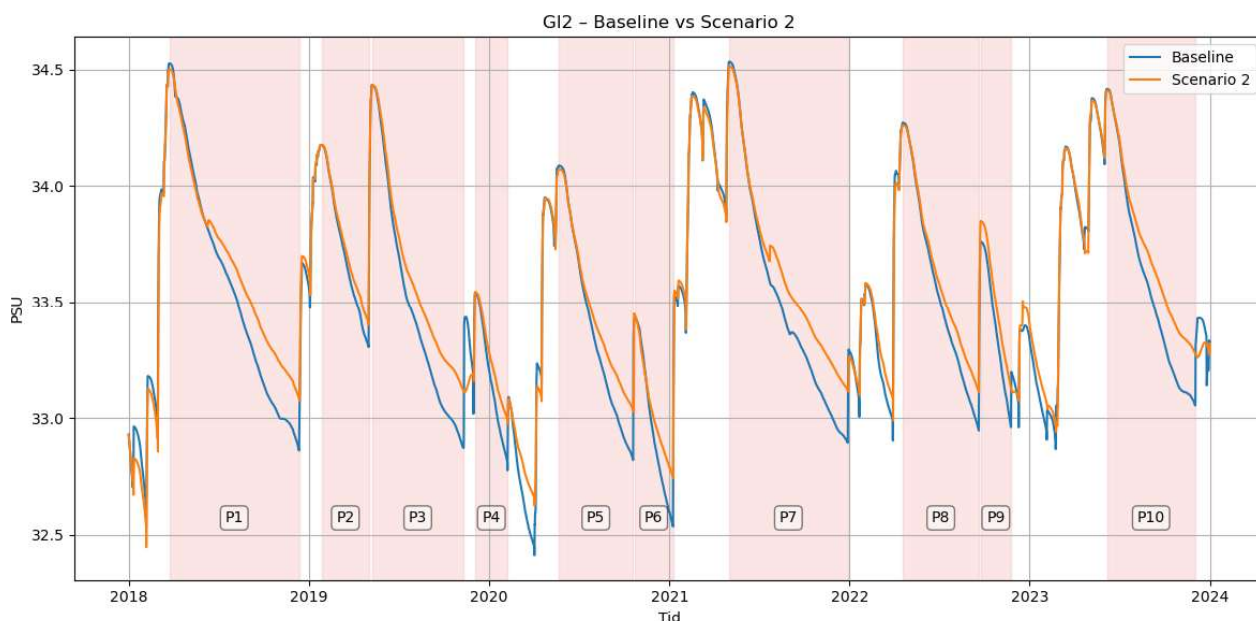
Figurene viser at Scenario 1 generelt har noe høyere salinitet enn Baseline. I de stagnante periodene med over 60 dager med synkende salinitet, ser vi at den vertikale blandingen i Scenario 1 generelt er

svakere enn i Baseline ved stasjonene GI2, Dk1 og Ep1, selv om dette varierer fra periode til periode. For stasjon Gk1 (vest Håøya) er det derimot Baseline som har svakere blanding enn Scenario 1.

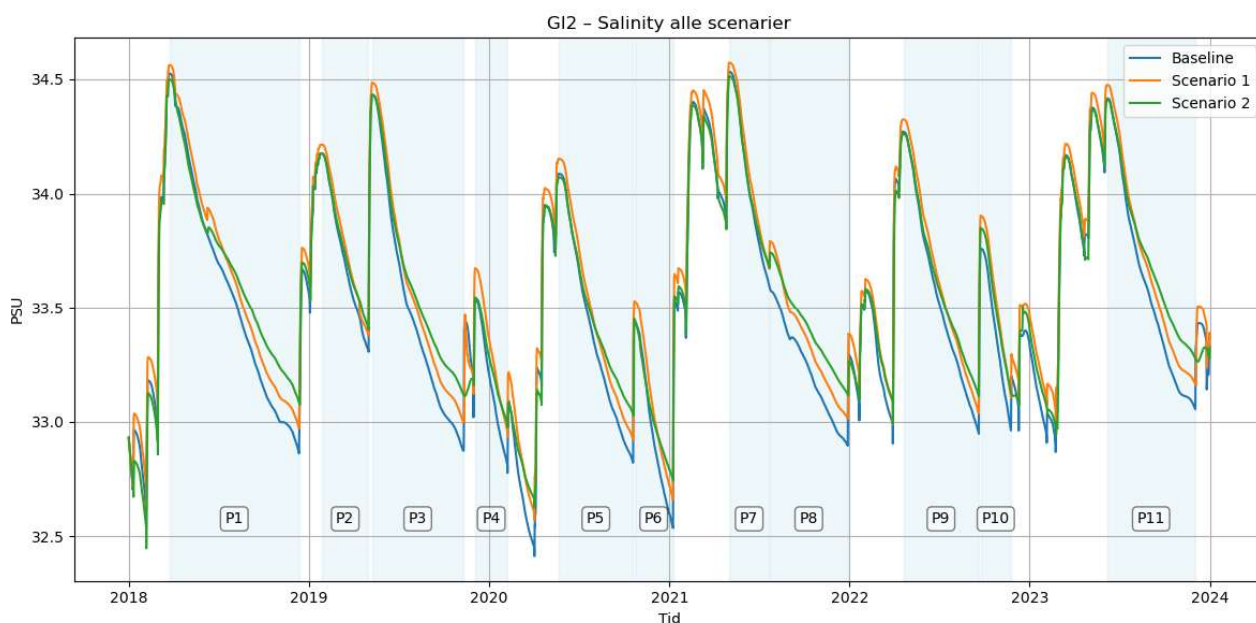
Scenario 2 viser et tilsvarende mønster, med noe høyere salinitet enn Baseline. Også her er den vertikale blandingen generelt svakere i Scenario 2 enn i Baseline ved GI2, Dk1 og Ep1, men variasjoner mellom periodene forekommer. For Gk1 er blandingen svakere i Baseline enn i Scenario 2, og det er dessuten flere innbrudd i Scenario 2 enn i Baseline ved denne stasjonen. Innbruddene ved Gk1 ser ut til å følge samme mønster som ved GI2, noe som er forventet ettersom åpningen i jetéen er noe dypere enn Drøbacterskelen.



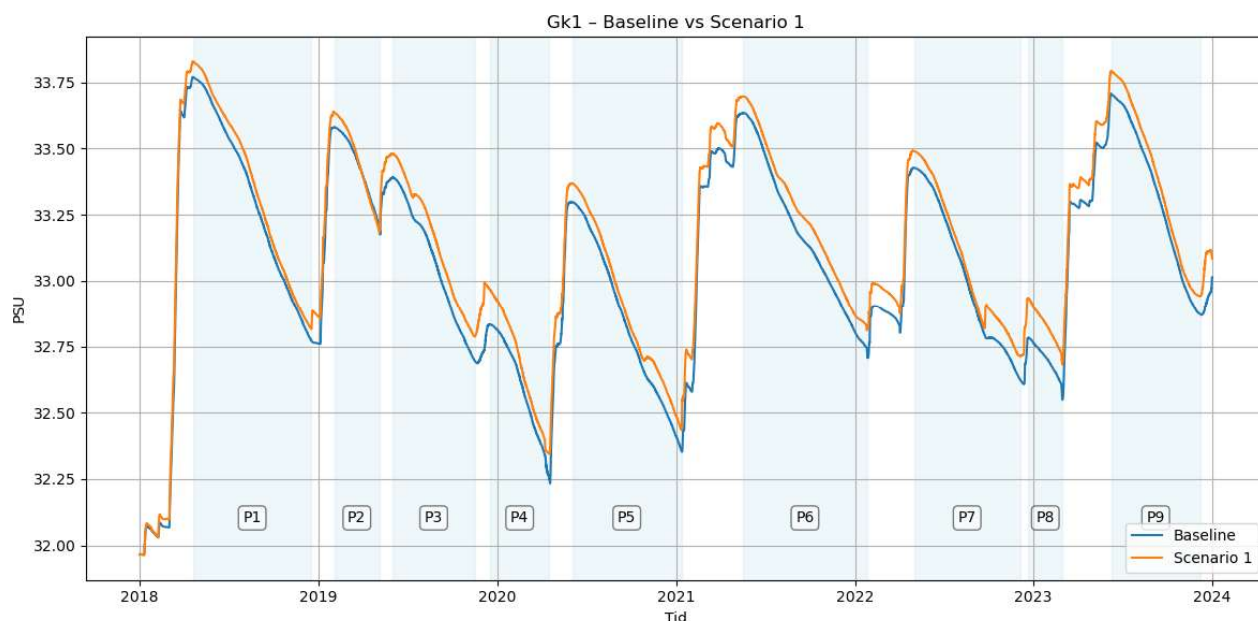
Figur 4.31 Sammenligning av tidsserien for den modellerte saliniteten i det dypeste punktet for målestasjonen GI2 – Håøya for Baseline (blå linje) og Scenario 1 (oransje linje). De blå markerte områdene viser periodene på minimum 60 dager, hvor saliniteten er synkende, og det ikke er noen dypvannsfornyinger over terskelen. Disse periodene og dere stigningstall, og differansen i prosent er presentert i Tabell 4.4.



Figur 4.32 Sammenligning av tidsserien for den modellerte saliniteten i det dypeste punkt for målestasjonen GI2 – Håøya for Baseline (blå linje) og Scenario 2 (oransje linje). De røde markerte områdene viser periodene på minimum 60 dager, hvor saliniteten er synkende, og det ikke er noen dypvannsfornyinger over terskelen. Disse periodene og dere stigningstall, og differansen i prosent er presentert i Tabell 4.5.



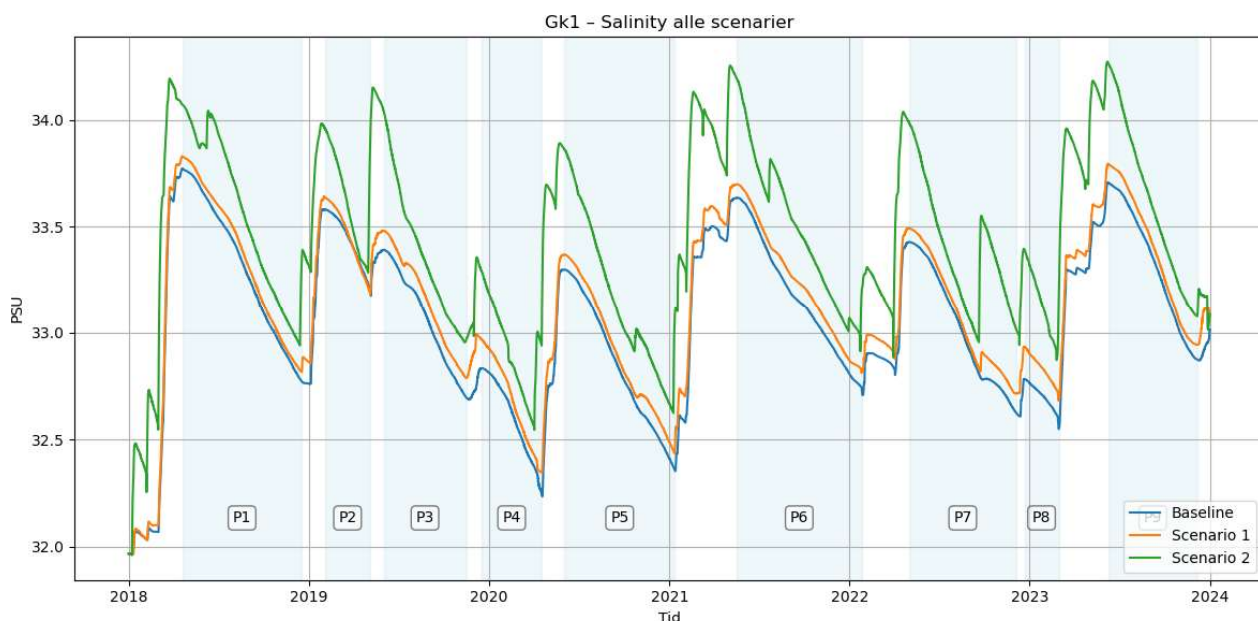
Figur 4.33 Sammenligning av tidsserien for den modellerte saliniteten i det dypeste punkt for målestasjonen GI2 – Håøya for Baseline (blå linje), Scenario 1 (oransje linje) og Scenario 2 (grønn linje). De blå markerte områdene viser periodene på minimum 60 dager, hvor saliniteten er synkende, og det ikke er noen dypvannsfornyinger over terskelen, for Scenario 1. Disse periodene og dere stigningstall, og differansen i prosent er presentert i Tabell 4.4 (Scenario 1) og Tabell 4.5 (Scenario 2).



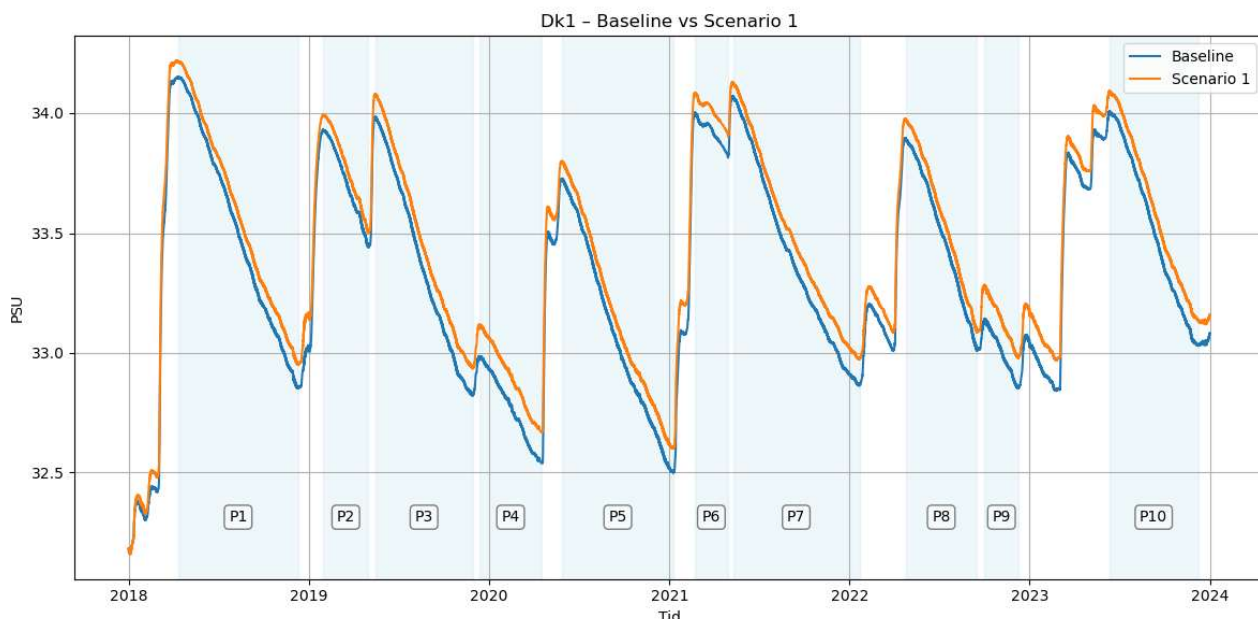
Figur 4.34 Sammenligning av tidsserien for den modellerte saliniteten i det dypeste punktet for målestasjonen Gk1 – Gråøyrenna for Baseline (blå linje) og Scenario 1 (oransje linje). De blå markerte områdene viser periodene på minimum 60 dager, hvor saliniteten er synkende, og det ikke er noen dypvannsfornyinger over terskelen. Disse periodene og dere stigningstall, og differansen i prosent er presentert i Tabell 4.6.



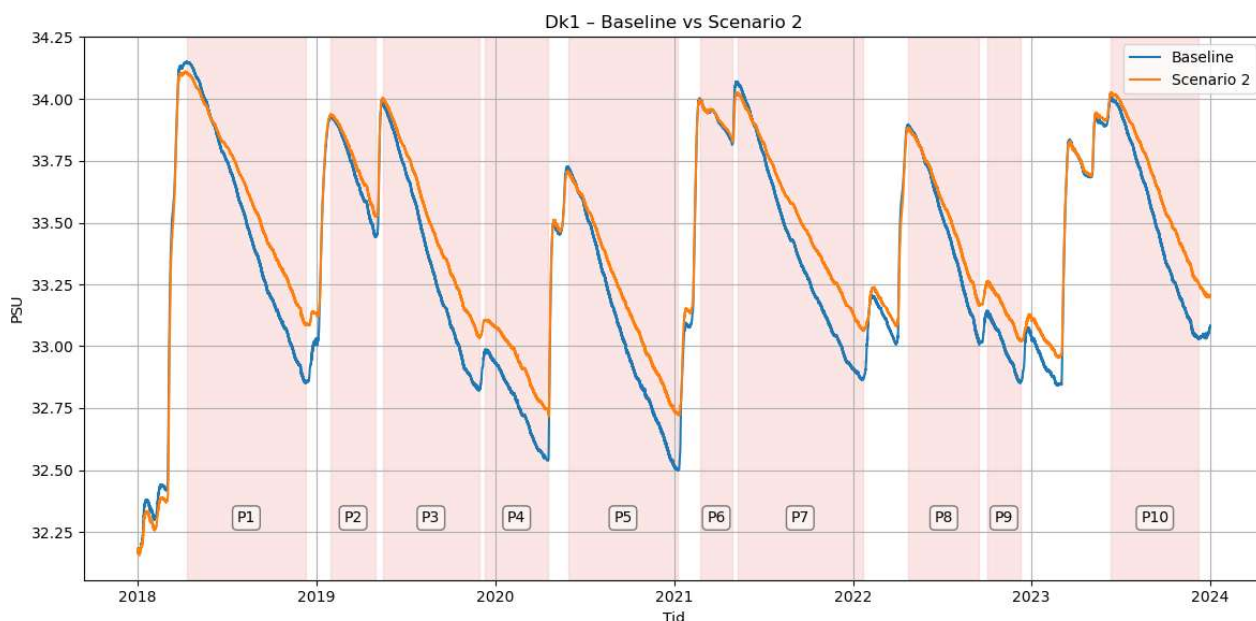
Figur 4.35 Sammenligning av tidsserien for den modellerte saliniteten i det dypeste punktet for målestasjonen Gk1 – Gråøyrenna for Baseline (blå linje) og Scenario 2 (oransje linje). De rød-markerte områdene viser periodene på minimum 60 dager, hvor saliniteten er synkende, og det ikke er noen dypvannsfornyinger over terskelen. Disse periodene og dere stigningstall, og differansen i prosent er presentert i Tabell 4.7.



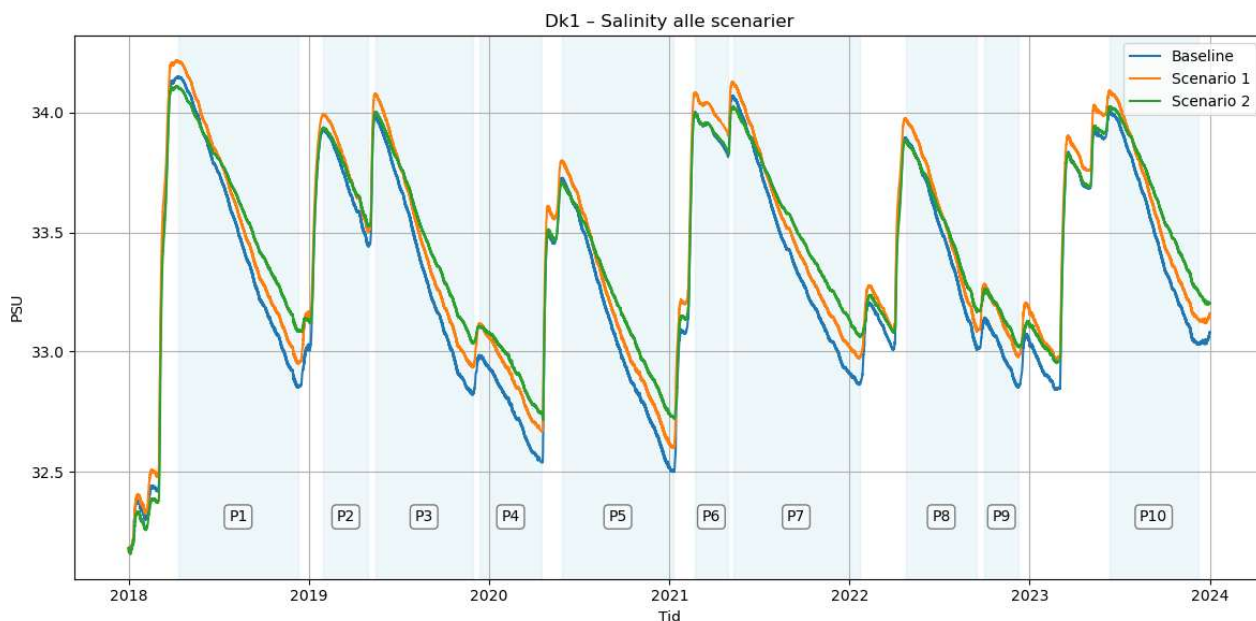
Figur 4.36 Sammenligning av tidsserien for den modellerte saliniteten i i det dypeste punktet for målestasjonen Gk1 – Gråøyrenna for Baseline (blå linje), Scenario 1 (oransje linje) og Scenario 2 (grønn linje). De blå markerte områdene viser periodene på minimum 60 dager, hvor saliniteten er synkende, og det ikke er noen dypvannsfornyinger over terskelen, for Scenario 1. Disse periodene og dere stigningstall, og differansen i prosent er presentert i Tabell 4.6 (Scenario 1) og Tabell 4.7 (Scenario 2).



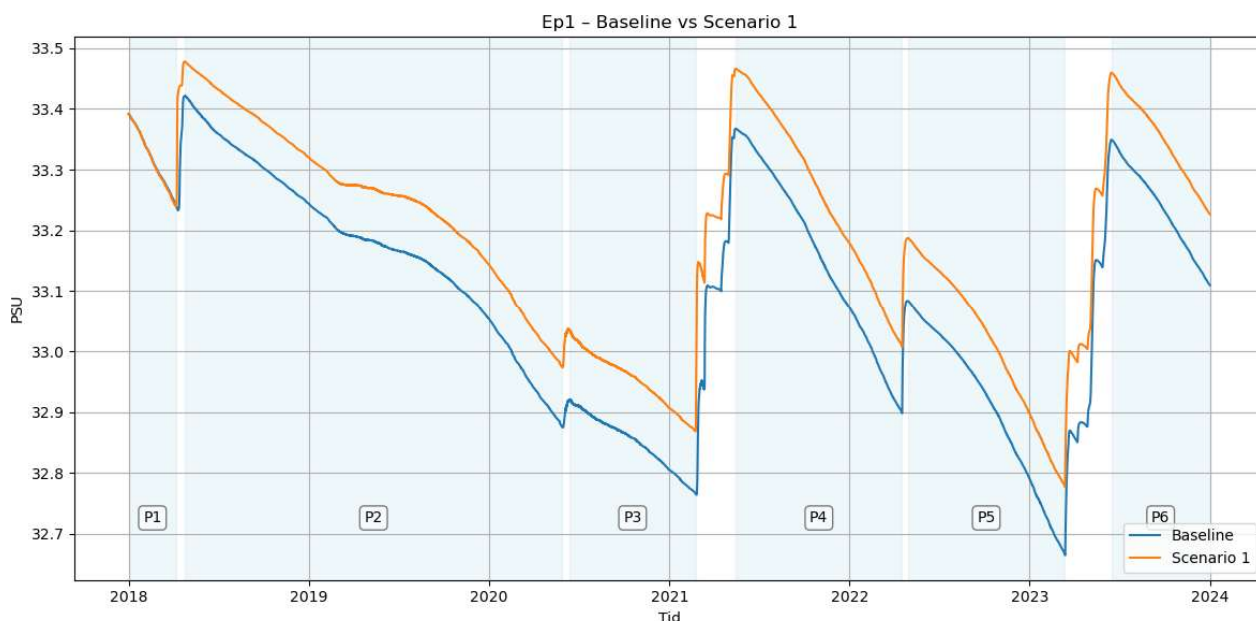
Figur 4.37 Sammenligning av tidsserien for den modellerte saliniteten i det dypeste punktet for målestasjonen Dk1 – Steilene for Baseline (blå linje) og Scenario 1 (oransje linje). De blå markerte områdene viser periodene på minimum 60 dager, hvor saliniteten er synkende, og det ikke er noen dypvannsfornyinger over terskelen. Disse periodene og dere stigningstall, og differansen i prosent er presentert i Tabell 4.8.



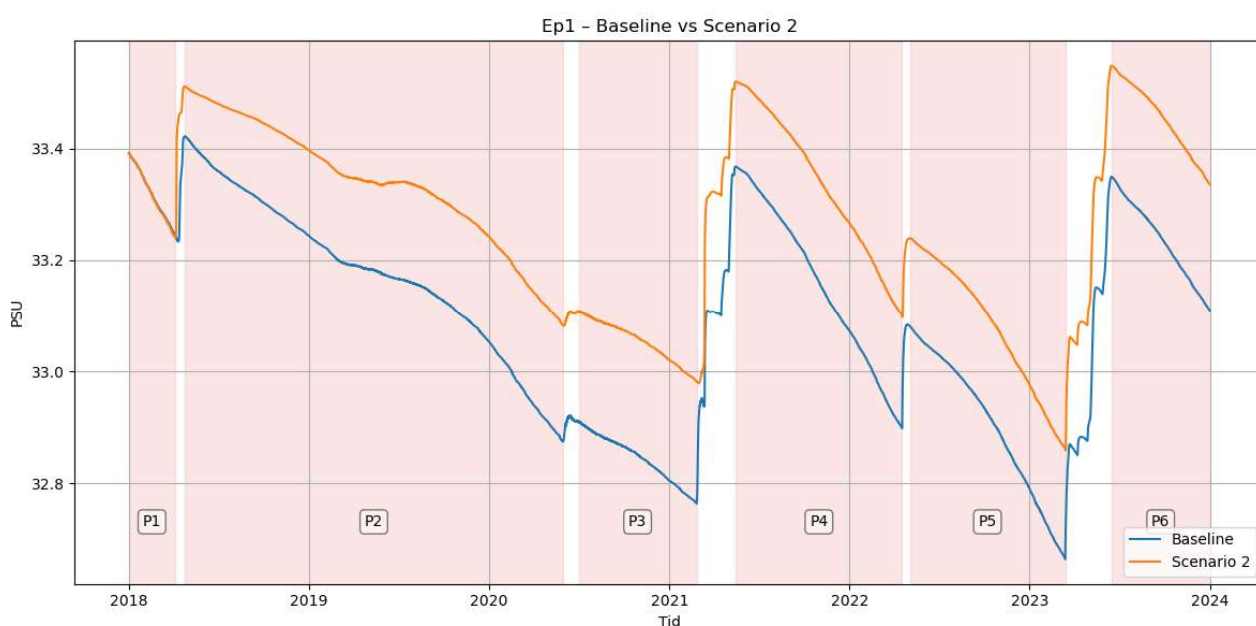
Figur 4.38 Sammenligning av tidsserien for den modellerte saliniteten i det dypeste punktet for målestasjonen Dk1 – Steilene for Baseline (blå linje) og Scenario 2 (oransje linje). De rød-markerte områdene viser periodene på minimum 60 dager, hvor saliniteten er synkende, og det ikke er noen dypvannsfornyinger over terskelen. Disse periodene og dere stigningstall, og differansen i prosent er presentert i Tabell 4.9.



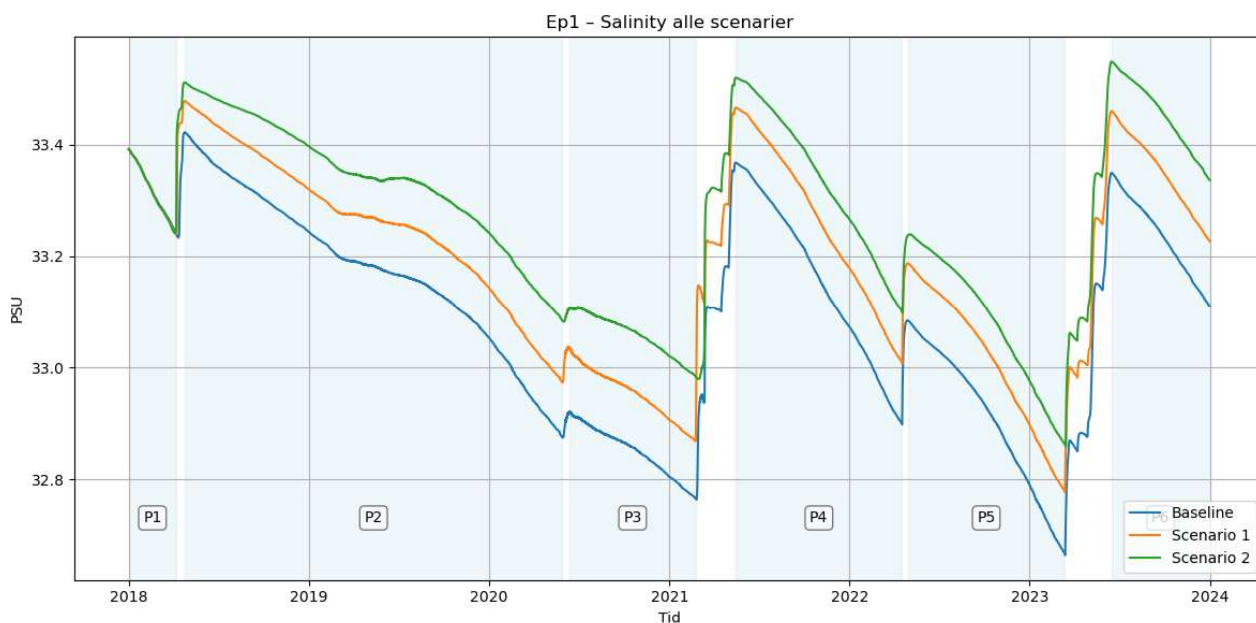
Figur 4.39 Sammenligning av tidsserien for den modellerte saliniteten i det dypeste punktet for målestasjonen Dk1 – Steilene for Baseline (blå linje), Scenario 1 (oransje linje) og Scenario 2 (grønn linje). De blå markerte områdene viser periodene på minimum 60 dager, hvor saliniteten er synkende, og det ikke er noen dypvannsfornyinger over terskelen, for Scenario 1. Disse periodene og dere stigningstall, og differansen i prosent er presentert i Tabell 4.8 (Scenario 1) og Tabell 4.9 (Scenario 2).



Figur 4.40 Sammenligning av tidsserien for den modellerte saliniteten i det dypeste punktet for målestasjonen Ep1 – Bunnefjorden for Baseline (blå linje) og Scenario 1 (oransje linje). De blå markerte områdene viser periodene på minimum 60 dager, hvor saliniteten er synkende, og det ikke er noen dypvannsfornyinger over terskelen. Disse periodene og dere stigningstall, og differansen i prosent er presentert i Tabell 4.10.



Figur 4.41 Sammenligning av tidsserien for den modellerte saliniteten i det dypeste punktet for målestasjonen Ep1 – Bunnefjorden for Baseline (blå linje) og Scenario 2 (oransje linje). De rød-markerte områdene viser periodene på minimum 60 dager, hvor saliniteten er synkende, og det ikke er noen dypvannsfornyinger over terskelen. Disse periodene og dere stigningstall, og differansen i prosent er presentert i Tabell 4.11.



Figur 4.42 Sammenligning av tidsserien for den modellerte saliniteten i det dypeste punktet for målestasjonen Ep1 – Bunnefjorden for Baseline (blå linje), Scenario 1 (oransje linje) og Scenario 2 (grønn linje). De blå markerte områdene viser periodene på minimum 60 dager, hvor saliniteten er synkende, og det ikke er noen dypvannsfornyinger over terskelen, Scenario 1. Disse periodene og dere stigningstall, og differansen i prosent er presentert i Tabell 4.10 (Scenario 1) og Tabell 4.11 (Scenario 2).

Tabell 4.4 Oversikt over periodene for saliniteten i den dypeste cellen i punktet for målestasjonen GI2 – Håøya vist i Figur 4.31, med lengden på de forskjellige periodene, stigningstallet og prosentmessig differanse mellom Baseline og Scenario 1.

Periode	Start	Slutt	Antall dager	Stigningstall Baseline (PSU/dag)	Stigningstall Scenario 1 (PSU/dag)	Stigningstall differanse (%)
1	2018-03-24	2018-12-12	262	-0,00617	-0,00600	2,8
2	2019-01-27	2019-05-01	94	-0,00970	-0,00965	0,6
3	2019-05-09	2019-11-10	185	-0,00841	-0,00816	2,9
4	2019-12-03	2020-02-07	65	-0,01222	-0,01206	1,3
5	2020-05-21	2020-10-19	151	-0,00891	-0,00878	1,5
6	2020-10-21	2021-01-08	78	-0,01269	-0,01240	2,3
7	2021-05-01	2021-07-22	81	-0,01305	-0,01268	2,8
8	2021-07-23	2021-12-28	157	-0,00451	-0,00493	-9,2
9	2022-04-19	2022-09-19	152	-0,00879	-0,00874	0,6
10	2022-09-23	2022-11-24	61	-0,01437	-0,01433	0,3
11	2023-06-06	2023-12-02	179	-0,00797	-0,00774	2,9

Tabell 4.5 Oversikt over periodene for saliniteten i den dypeste cellen i punktet for målestasjonen GI2 – Håøya vist i Figur 4.32, med lengden på de forskjellige periodene, stigningstallet og prosentmessig differanse mellom Baseline og Scenario 2.

Periode	start	slutt	Antall dager	Stigningstall Baseline (PSU/dag)	Stigningstall Scenario 2 (PSU/dag)	Stigningstall differanse (%)
1	2018-03-24	2018-12-12	262	-0,00617	-0,00493	20,1
2	2019-01-27	2019-05-02	94	-0,00970	-0,00854	11,9
3	2019-05-09	2019-11-10	185	-0,00841	-0,00701	16,6
4	2019-12-04	2020-02-07	65	-0,01225	-0,00931	24,0
5	2020-05-21	2020-10-19	151	-0,00891	-0,00715	19,7
6	2020-10-21	2021-01-08	78	-0,01269	-0,00920	27,5
7	2021-05-01	2021-12-28	240	-0,00645	-0,00529	18,0
8	2022-04-18	2022-09-19	153	-0,00880	-0,00762	13,4
9	2022-09-23	2022-11-24	61	-0,01437	-0,01315	8,5
10	2023-06-06	2023-12-02	178	-0,00797	-0,00640	19,7

Tabell 4.6 Oversikt over periodene for saliniteten i den dypeste cellen i punktet for målestasjonen Gk1 – Gråøyrenna vist i Figur 4.34, med lengden på de forskjellige periodene, stigningstallet og prosentmessig differanse mellom Baseline og Scenario 1.

Periode	Start	Slutt	Antall dager	Stigningstall Baseline (PSU/dag)	Stigningstall Scenario 1 (PSU/dag)	Stigningstall differanse (%)
1	2018-04-19	2018-12-17	242	-0,00447	-0,00457	-2,2
2	2019-02-02	2019-05-05	92	-0,00427	-0,00522	-22,2
3	2019-06-01	2019-11-16	167	-0,00446	-0,00447	-0,2
4	2019-12-17	2020-04-16	121	-0,00496	-0,00560	-12,7
5	2020-06-02	2021-01-11	223	-0,00448	-0,00437	2,5
6	2021-05-17	2022-01-25	252	-0,00362	-0,00354	2,2
7	2022-05-02	2022-12-04	216	-0,00417	-0,00397	4,7
8	2022-12-21	2023-02-28	69	-0,00263	-0,00311	-18,0
9	2023-06-08	2023-12-07	181	-0,00523	-0,00546	-4,3

Tabell 4.7 Oversikt over periodene for saliniteten i den dypeste cellen i punktet for målestasjonen Gk1 – Gråøyrenna vist i Figur 4.35, med lengden på de forskjellige periodene, stigningstallet og prosentmessig differanse mellom Baseline og Scenario 2.

Periode	start	slutt	Antall dager	Stigningstall Baseline (PSU/dag)	Stigningstall Scenario 2 (PSU/dag)	Stigningstall differanse (%)
1	2018-06-11	2018-12-13	185	-0,00476	-0,00624	-31,2
2	2019-02-02	2019-05-01	88	-0,00416	-0,00861	-107,1
3	2019-06-01	2019-11-12	164	-0,00446	-0,00629	-40,9
4	2019-12-17	2020-04-02	106	-0,00473	-0,00700	-48,0
5	2020-06-02	2020-10-21	141	-0,00470	-0,00701	-48,9
6	2020-10-26	2021-01-08	74	-0,00375	-0,00541	-44,3
7	2021-05-17	2021-07-21	64	-0,00438	-0,00946	-115,8
8	2021-07-24	2022-01-22	182	-0,00328	-0,00465	-42,0
9	2022-05-02	2022-09-20	140	-0,00469	-0,00755	-61,1
10	2022-09-25	2022-12-11	77	-0,00250	-0,00783	-212,6
11	2022-12-21	2023-02-24	65	-0,00250	-0,00761	-204,2
12	2023-06-08	2023-12-06	180	-0,00523	-0,00701	-34,0

Tabell 4.8 Oversikt over periodene for saliniteten i den dypeste cellen i punktet for målestasjonen Dk1 – Steilene vist i Figur 4.37, med lengden på de forskjellige periodene, stigningstallet og prosentmessig differanse mellom Baseline og Scenario 1.

Periode	Start	Slutt	Antall dager	Stigningstall Baseline (PSU/dag)	Stigningstall Scenario 1 (PSU/dag)	Stigningstall differanse (%)
1	2018-04-11	2018-12-09	242	-0,00566	-0,00547	3,4
2	2019-01-29	2019-05-01	91	-0,00554	-0,00560	-1,1
3	2019-05-15	2019-11-29	197	-0,00638	-0,00623	2,3
4	2019-12-13	2020-04-16	125	-0,00380	-0,00379	0,3
5	2020-05-28	2021-01-08	224	-0,00573	-0,00559	2,4
6	2021-02-20	2021-04-29	67	-0,00241	-0,00229	4,7
7	2021-05-09	2022-01-20	256	-0,00491	-0,00466	5,0
8	2022-04-24	2022-09-15	144	-0,00635	-0,00638	-0,4
9	2022-10-01	2022-12-08	68	-0,00438	-0,00453	-3,5
10	2023-06-11	2023-12-08	179	-0,00601	-0,00585	2,7

Tabell 4.9 Oversikt over periodene for saliniteten i den dypeste cellen i punktet for målestasjonen Dk1 – Steilene vist i Figur 4.38, med lengden på de forskjellige periodene, stigningstallet og prosentmessig differanse mellom Baseline og Scenario 2.

Periode	start	slutt	Antall dager	Stigningstall Baseline (PSU/dag)	Stigningstall Scenario 2 (PSU/dag)	Stigningstall differanse (%)
1	2018-04-11	2018-12-09	242	-0,00566	-0,00428	24,4
2	2019-01-29	2019-05-01	91	-0,00554	-0,00465	16,1
3	2019-05-16	2019-11-29	196	-0,00638	-0,00512	19,7
4	2019-12-11	2020-04-18	129	-0,00377	-0,00317	16,0
5	2020-05-28	2021-01-08	224	-0,00573	-0,00460	19,6
6	2021-02-23	2021-04-29	65	-0,00241	-0,00207	14,3
7	2021-05-10	2022-01-20	255	-0,00490	-0,00381	22,3
8	2022-04-24	2022-09-15	144	-0,00635	-0,00506	20,3
9	2022-10-03	2022-12-08	66	-0,00441	-0,00370	16,0
10	2023-06-12	2023-12-08	178	-0,00602	-0,00465	22,7

Tabell 4.10 Oversikt over periodene for saliniteten i den dypeste cellen i punktet for målestasjonen Ep1 – Bunnefjorden vist i Figur 4.40, med lengden på de forskjellige periodene, stigningstallet og prosentmessig differanse mellom Baseline og Scenario 1.

Periode	Start	Slutt	Antall dager	Stigningstall Baseline (PSU/dag)	Stigningstall Scenario 1 (PSU/dag)	Stigningstall differanse (%)
1	2018-01-01	2018-04-07	96	-0,00160	-0,00164	-2,5
2	2018-04-24	2020-05-29	765	-0,00061	-0,00057	6,6
3	2020-06-12	2021-02-22	255	-0,00058	-0,00059	-2,4
4	2021-05-15	2022-04-17	337	-0,00144	-0,00140	2,3
5	2022-04-28	2023-03-13	318	-0,00132	-0,00130	1,3
6	2023-06-15	2024-01-01	199	-0,00120	-0,00117	2,3

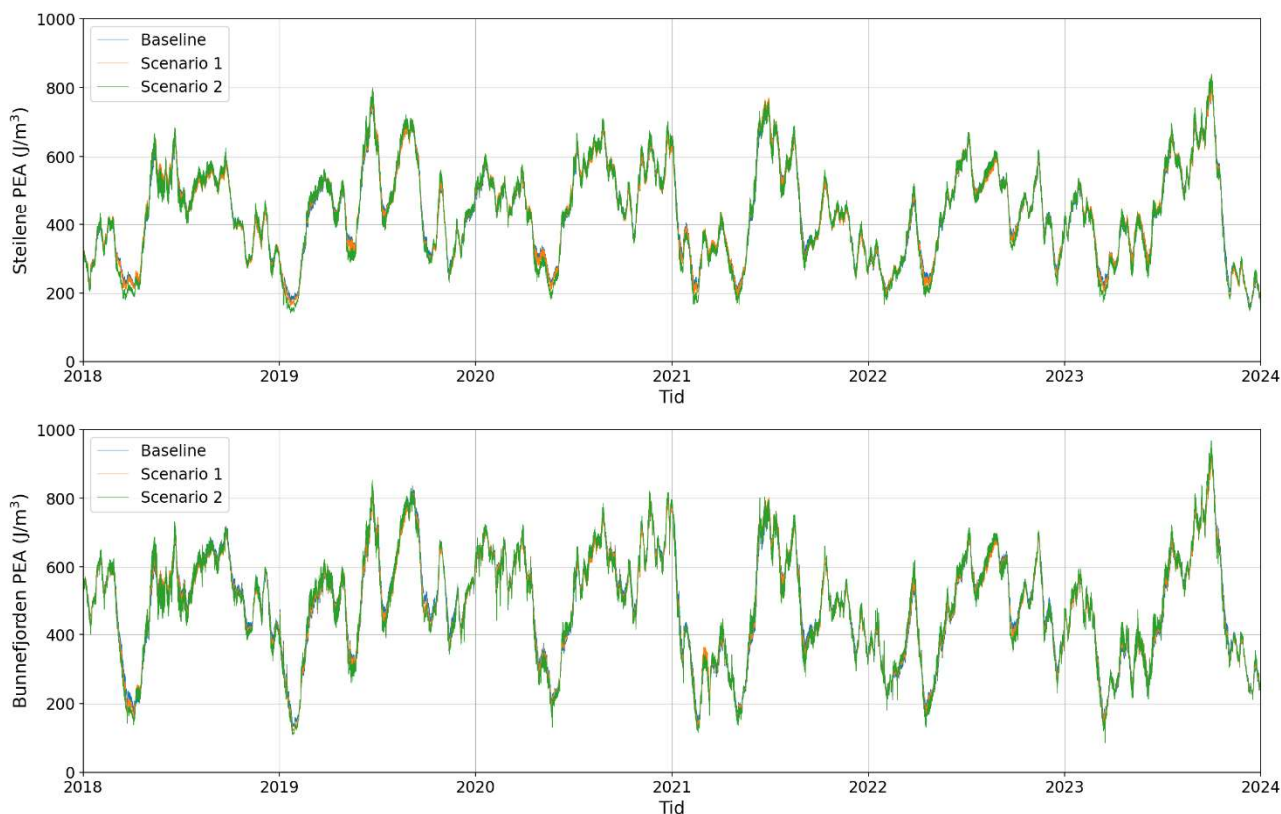
Tabell 4.11 Oversikt over periodene for saliniteten i den dypeste cellen i punktet for målestasjonen Ep1 – Bunnefjorden vist i Figur 4.41, med lengden på de forskjellige periodene, stigningstallet og prosentmessig differanse mellom Baseline og Scenario 2.

Periode	start	slutt	Antall dager	Stigningstall Baseline (PSU/dag)	Stigningstall Scenario 2 (PSU/dag)	Stigningstall differanse (%)
1	2018-01-01	2018-04-04	93	-0,00160	-0,00165	-3,2
2	2018-04-24	2020-05-30	766	-0,00061	-0,00048	20,6
3	2020-07-01	2021-02-24	238	-0,00059	-0,00051	13,2
4	2021-05-15	2022-04-17	336	-0,00144	-0,00128	10,7
5	2022-05-03	2023-03-13	314	-0,00133	-0,00124	7,1
6	2023-06-15	2024-01-01	199	-0,00120	-0,00108	9,8

4.3 Endringer i vannmassestabilitet mellom scenariene

I Figur 4.43 vises en tidsserie av PEA for 2023 ved Steilene (DK1) og i Bunnefjorden (EP1). Disse stasjonene er valgt fordi de best representerer de to største bassengene. PEA er gjennomgående positiv, noe som indikerer stabile forhold i vannsøylen. Verdiene varierer tydelig gjennom året, med økende stabilitet fra vår til sommer og avtagende stabilitet utover høsten. Figurene viser PEA for Baseline og de to scenariene. Forskjellene mellom scenarioene er små sammenlignet med den naturlige variasjonen. PEA er også svært lik i de to bassengene, men med noe høyere verdier i Bunnefjorden.

I Figur 4.44 vises tidsserier for endringen i PEA mellom Baseline og de to scenarioene. Endringene er generelt størst i Scenario 2 og varierer markant gjennom året, med perioder som preges av økt oppblanding og andre perioder av økt stabilitet. I Scenario 2 opptrer tidvis raskt varierende endringer med samme periode som tidevannet. En nærmere analyse viser at dette skyldes små faseforskyvninger i tidevannsstrømmene. Det er derfor ikke amplituden som endres, men snarere utbredeshastigheten til tidevannsvariasjonen. Den samlede effekten av tidevannet på PEA fremstår dermed som støy med svært liten amplitude i tidsseriene.



Figur 4.43 Potential Energy Anomaly (PEA) vist i 2018 - 2024 for Steilene og Bunnefjorden, Baseline og begge scenarioene er vist.



Figur 4.44 Endring i PEA for Scenario 2 i forhold til Baseline i Steilene og Bunnefjorden i perioden. En positiv endring betyr økt stabilitet.

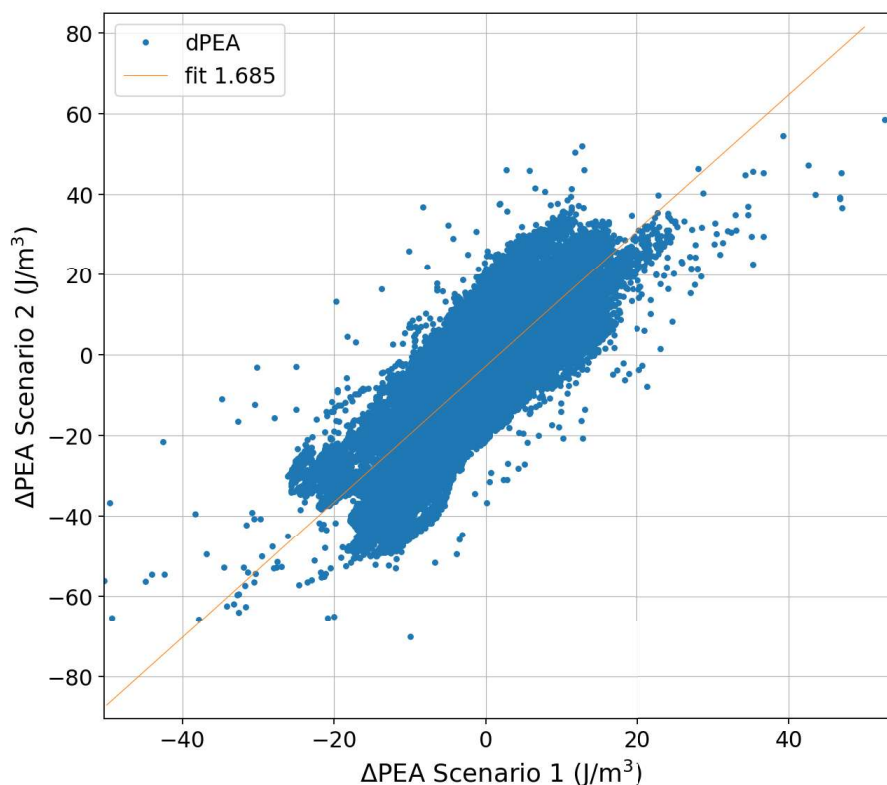
I Figur 4.45 og Figur 4.46 vises scatterplot som sammenligner endringene i PEA mellom de to scenariene ved Steilene og i Bunnefjorden. Endringene fremstår som godt korrelerte, og i gjennomsnitt er PEA-endringene i Scenario 2 1,66 ganger større enn i Scenario 1. Dette gjelder både positive og negative endringer.

For å sette størrelsesordenen i perspektiv kan man sammenligne med effekten av vindpåvirkning: en reduksjon i PEA på omtrent -40 J/m^3 i Bunnefjorden tilsvarer det som typisk kan oppnås ved en vedvarende vind på 10 m/s i rundt 3 dager.

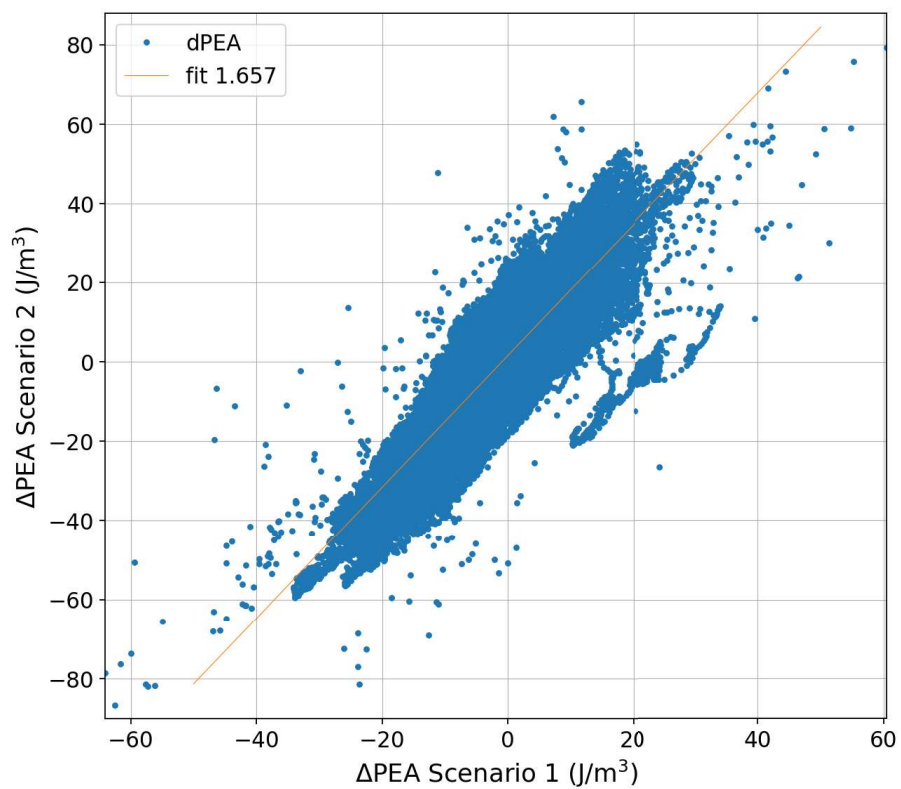
En simpel beregning av vindens energitilførsel W_{wind} kan beregnes ved:

$$W_{wind} = \tau_w U_s = \frac{1}{2} \rho_{air} C_D \alpha W_{10}^3$$

Hvor W_{10} er 10m vindhastighet, U_s er overflatestrøm, ρ_{air} er luftens densitet (1.2 kg/m^3), C_D er friksjonsfaktor (anslått til 0.0015) og α er ratio mellom 10m vindhastighet og overflatestrøm (anslått til 0.03). Av dette kan en tilsvarende periode T med konstant 10 m/s vind beregnes av $T \cong \Delta PEA * D / W_{wind}$ hvor D er dybden (anslått 180 m i Bunnefjorden). Innsatte tall gir $T \cong 3.4 \text{ døgner}$.



Figur 4.45 Scatterdiagram av PEA endringer (dPEA) i Steilene i Scenario 1 og Scenario 2 for hele modellperioden. Fit angir trendlinjens helning (stigningstall).



Figur 4.46 Scatterdiagram av PEA endringer (dPEA) i Bunnefiorden i Scenario 1 og Scenario 2 for hele modellperioden. Fit angir trendlinjens helning (stigningstall).

5 Diskusjon

Oslofjorden er en komplisert terskelfjord som består av flere bassenger adskilt av terskler. Fra Drøbaksterskelen, som i dag er relativt grunn, finnes det to større bassenger som skilles av Drøbaksterskelen (ca. 20 m dyp) og terskelen inn mot Bunnefjorden (ca. 60 m dyp). Fjorden er lagdelt som følge av ferskvannstilførsel og inntrengende saltvann fra Skagerrak.

Denne rapporten har undersøkt hvordan to alternative åpninger i jetéen ved Drøbaksundet kan påvirke vannutskiftningen i Indre Oslofjord. For å belyse dette er det analysert endringer i salinitet, strømforhold og salttransport i fjorden, med særlig fokus på dypvannsinstrømning og utvikling av salinitet i fjordens bunnlag over tid. Hensikten har vært å vurdere om tiltakene bidrar til forbedret fornyelse av vannmassene i fjordens indre områder. Fordi vannutskiftning er et komplekst fenomen som ikke kan beskrives med én enkelt indikator, er det benyttet flere ulike analyser. Til sammen gir disse et mer helhetlig bilde av hvordan tiltakene påvirker fjordens dynamikk.

For å forstå hvordan en åpning i jetéen påvirker vannutskiftningen, er det viktig å analysere både lokale endringer i transportveiene og den samlede effekten i hele fjordsystemet. Først når både lokale og regionale effekter vurderes i sammenheng, kan man danne seg et helhetlig bilde av konsekvensene for vannutskiftningen.

Generelle funn

Som vist i figurene og tabellene i kapittel 4.2, viser Scenario 1 og Scenario 2 gjennomgående høyere akkumulert saltinnstrømning sammenlignet med nåsituasjonen, Baseline. Dette tyder på at åpningen i jetéen gir økt tilgang for saltvann inn i de indre fjordområdene. Beregningene av PEA viser at endringene skjer i hele fjorden og at de varierer betydelig gjennom året. Endringene i lagdelingen tilsvarer en vertikal forskyvning av pyknoklinen på om lag 0,3 meter.

Samtidig viser analysene av salinitet i nær bunden ved målestasjonene Dk1 (midt i Vestfjorden) og Ep1 (Bunnefjorden) at det er forskjeller mellom scenarioene, spesielt mellom Scenario 2 og Baseline. I Scenario 2 observeres en jevnt lavere «fall» i salinitet over tid (mindre vertikal blanding) ved stasjonene G12, Dk1 og Ep1, sammenlignet med Baseline. Ved Gk1, derimot, er oppblandingen høyere i Scenario 2 enn i Baseline.

I en fjord som Oslofjorden vil der være lokale forskjeller, men mønsteret kan henge sammen med endringer i den vertikale stabiliteten i vannkolonnen, som vist ovenfor. Når det strømmer inn saltere vann, slik det gjør i Scenario 2, vil tetthetsforskjellen mellom overflate- og bunnvann kunne øke. Dette kan gi en sterkere lagdeling, som potensielt reduserer den vertikale blandingen. I så fall vil det kreve mer energi for å oppnå blanding mellom vannmassene, og dette kan ha betydning for hvor raskt oksygenfattig bunnvann fornyes. Det skal nevnes at salt tilføres utelukkende via innstrømning, mens oksygen tilføres delvis via innstrømning, men også fra atmosfæren ved vertikal blanding.

Selv om det tilføres mer salt i scenarioene, særlig i Scenario 2, viser analysene at saliniteten i bunnvannet ved Dk1 og Ep1 synker saktere enn i Baseline. Dette avhenger av mange faktorer, men antyder at utskiftningen av bunnvann går tregere, noe som kan skyldes sterkere lagdeling og redusert vertikal blanding.

Analysene av PEA viser at effekten av en utdyping av jetéen i hovedsak består i økte variasjoner i vannsøylens stabilitet, snarere enn systematiske endringer i gjennomsnittsnivået. Dette innebærer at åpningen bidrar til perioder med både økt oppblanding og økt stabilitet, avhengig av kombinasjonen av lagdeling og tidevannsstrømmer. Særlig i Scenario 2 blir utslagene tydeligere, med større amplitude i endringene og tidvis raskt varierende signaler koblet til tidevannsfasen. Sett i sammenheng med transportanalysene understøtter dette at jetéåpningen primært endrer dynamikken i fjorden – ved å øke svingningene i stabilitet og blanding – fremfor å gi en varig, gjennomsnittlig svekkelse eller styrking av lagdelingen.

Dette reiser spørsmål om hvordan tiltakene påvirker den funksjonelle vannutskiftningen, altså ikke bare hvor mye vann som strømmer inn, men hvor godt det bidrar til fornyelse av dypvannet. For å kunne svare tydeligere på dette, er en mulighet en analyse av hvor vannmassene kommer fra og hvordan de blandes, for eksempel gjennom bruk av sporstoff eller fortynningsmodellering.

For Scenario 1 er bildet mer uklart. Her varierer oppblanding mer mellom stasjonene og mellom perioder, og det er derfor vanskelig å trekke en entydig konklusjon om vertikal blanding og vannutskiftning.

Usikkerhet i tolkningen av salinitet og salttransport

En svakhet ved å bruke salinitet og akkumulert salttransport som indikator på vannutskiftning, er at det ikke direkte fremgår hvor det salte vannet kommer fra. Det kan være nytt, «friskt» vann som har passert terskelen i Drøbaksundet, men det kan også være eldre vann som har sirkulert rundt Håøya og kommet inn i Vestfjorden fra andre veier. Dette gjør det vanskelig å si noe sikkert om kvaliteten og opprinnelsen til vannmassene basert på salinitetsdata alene.

Det er også en metodisk begrensning at analysene i denne studien er basert på Euleriansk betraktning (stasjonære snitt og punktdata). Uten å følge vannmassenes bane gjennom fjorden (f.eks. ved bruk av partikkelsporing eller sporstoff), er det vanskelig å si sikkert om det salte vannet som observeres i dypet er «nytt» vann fra ytre fjord eller en blanding av nytt vann og eksisterende bunnvann.

Mulig videre utredninger

Et sentralt spørsmål er om vannutskiftningen faktisk er blitt bedre, altså om det kommer inn mer nytt, oksygenrikt dypvann som effektivt fortrenger og fornyer det gamle vannet. Selv om innbruddsmønsteret i scenarioene tilsynelatende er likt som i Baseline, er det mulig at det nye vannet i scenarioene ikke blandes like effektivt på grunn av høyere salinitet og sterkere lagdeling.

For å vurdere dette mer presist, anbefales det å gjennomføre en fortynnings- eller sporstoffanalyse (tracer-modellering) for å følge vannmassenes opprinnelse og spredning. En slik analyse gjør det mulig å skille mellom nytt innstrømmende vann og vann som har vært i fjordsystemet over lengre tid.

Dersom man ønsker å vurdere hvilken effekt en endring i jetéen faktisk har på vannmiljøet, kunne det vært nyttig å kombinere den hydrodynamiske og fortynningsmodellen med en biogeokjemisk modell som inkluderer sentrale biologiske prosesser. Dette ville gitt bedre grunnlag for å si noe om konsekvensene for oksygenforhold og biologisk produksjon i fjorden.

5.1 Antagelser i tidligere teori

Tidligere teorier og modeller for indre bølger og fjordsirkulasjon har benyttet en del idealiserende forenklinger. (Stigebrandt 1976) introduserte en tolags-modell for vertikal blanding drevet av indre bølger i terskelfjorder, der fjorden betraktes som to horisontale lag med en skarp grenseflate. Slike to-lags eller analytiske modeller (ofte basert på hydraulisk kontrollteori) har vist seg å gi riktig størrelsesorden for energiutbredelsen til indre tidevann, spesielt i fjorder med enkel havbunnstopografi. I senere arbeid ble det utviklet enkle analytiske formler for hvor mye av tidevannets energi som tapes lokalt ved terskelen versus sendes videre innover som indre bølger. Disse modellene antar typisk en jevn og enkel geometri (f.eks. en "fjord" som et todimensjonalt snitt) og at strømmen er stasjonær eller periodisk på en idealisert måte. Fjordsystemet ble ofte behandlet som ett eller to homogene basseng med en gjennomsnittlig diffusivitet, mens vi nå vet at miksing kan være svært ulikt fordelt horisontalt (f.eks. konsentrert nær terskler).

I NIVA-studien fra 2002 (NIVA 2002), antok de hydrauliske beregningene «steady-state» eller periodiske strømninger gjennom et visst tverrsnitt, og konklusjonene (f.eks. 2 % reduksjon i blanding) var basert på relativt enkel oppløsning av fysikken. Selv om disse tilnærmingene er basert på gyldig teori, utelater de prosesser av høyere orden – for eksempel samspillet mellom flere terskler, endring i strømningsmønster, eller variasjon i blanding mellom spring- og nipptidevann – som kan være viktige for lokale utfall.

I den tidligere 3D-modellen ROMS for Oslofjorden (Staalstrøm og Røed 2016), var dybdene og geometrien av fjorden inkludert, men denne var kun drevet med tidevann og hadde konstante vertikale blandinger i de forskjellige bassengene i Oslofjorden. I tillegg hadde denne kun sigma-lag, som vil si at geometrien følger bunnen, sammenlignet med for eksempel sigma-z lag som gir en mer nøyaktig beskrivelse av den vertikale blandingen (Berntsen 2002) (Petersen og Burchard 1998).

5.2 Indre bølger

Betydningen av indre bølger for oppblanding i Vestfjorden og Bunnefjorden har vært diskutert i tidligere studier (A. Staalstrøm 2015) (Stigebrandt og Magnusson 2002). Her er det pekt på hvordan tidevannsgenererte indre bølger, bidrar til transport av energi ved å øke turbulensen og blandingen når de indre bølgende bryter som følge av interaksjon med topografien. Dette kan igjen bidra til vertikal blanding og dermed påvirke dypvannets oksygen- og saltinnhold.

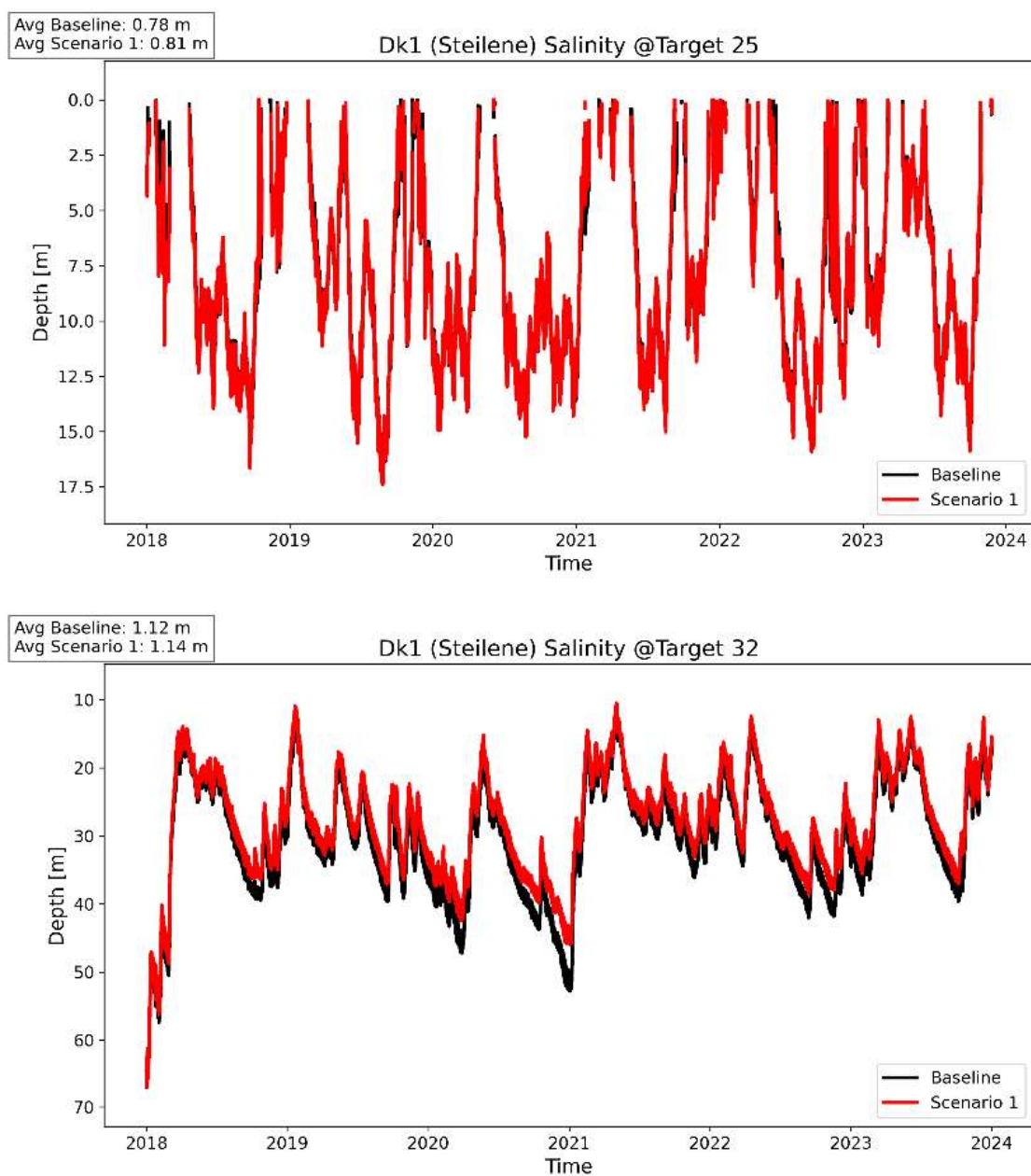
For å belyse dette, er det sett på vertikal bevegelse av vannmasser med 25 PSU og 32 PSU ved stasjonene Dk1 (Vestfjorden) og Ep1 (Bunnefjorden), over hele modellperioden, som her benyttes til å karakterisere de indre tidevannsbølgene. Amplituden beregnes simpelt ved at estimere dybden til 25 PSU eller 32 PSU konturen. I Figur 5.1 og Figur 5.2 sammenlignes Baseline og Scenario 1. Her fremgår det at den gjennomsnittlige interne bølgeamplituden ved begge salinitetsnivåene er marginalt større i Scenario 1 enn i Baseline. Det må imidlertid tas høyde for at de spesifikke salinitetene ligger på forskjellige dyp i de to scenarioene, noe som påvirker amplituden. Merk at de tidevannsgenererte indre bølgene vanligvis har en amplitude på noen få meter (se Figur 5.1). De store svingningene skyldes saltvannsinntrenging som skjer noen få ganger i året.

Tilsvarende sammenligning mellom Baseline og Scenario 2 er vist i Figur 5.3 og Figur 5.4. Her er amplituden enten identisk eller marginalt større i Baseline enn i Scenario 2. Også her varierer dypet til de aktuelle salinitetene noe mellom scenarioene, noe som gjør sammenligningen mindre entydig.

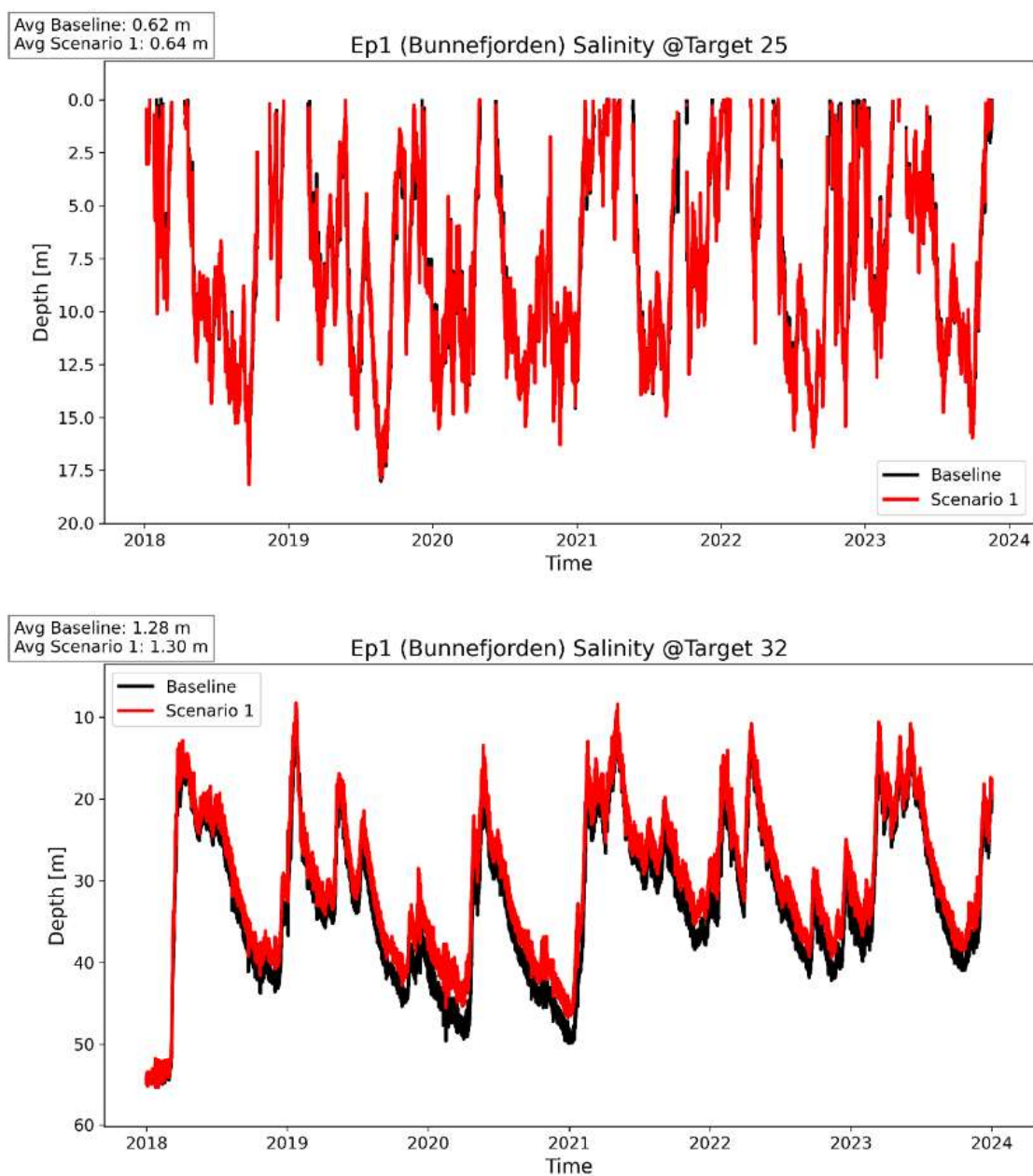
Det er viktig å skille mellom indre tidevann og indre bølger. Indre bølger er relativt kortperiodiske bølger i sprangsjiktet, som typisk oppstår ved grunne terskler der strøm og lagdeling vekselvirker. Slike bølger kan antas å dannes når det densimetriske Froude-tallet er rundt 1. Figur 5.5 viser en tidsserie av Froude-tallet ved Drøbaksterskelen. Her ser man at forholdene ofte ligger til rette for dannelse av indre bølger, særlig under innadgående strøm.

Hvis man teller antall hendelser der det er mulighet for indre bølger ved innadgående strøm, ser man at det er 821 hendelser per år i Baseline og 611 hendelser i Scenario 2. Siden turbulens og indre bølger ved terskelen øker blandingen og dermed reduserer saliniteten i det innstrømmende vannet, vil dette innebære en noe høyere salinitet i det innstrømmende vannet i Scenario 2. Disse funnene indikerer at de større variasjonene i vannføringen over tersklene kan føre til at indre bølger blir noe sterkere som følge av åpningen i jetéen. Likevel indikerer variasjonene i amplitudene at bølgenes virkning på blandingen kan være følsom for endringer i både strømningsmønster og vannmassenes tetthetsstruktur. Det er derfor mulig at de endrede salinitetsforholdene og økt lagdeling i Scenario 2 gjør det vanskeligere for indre bølger å opprettholde like effektiv vertikal blanding som i Baseline.

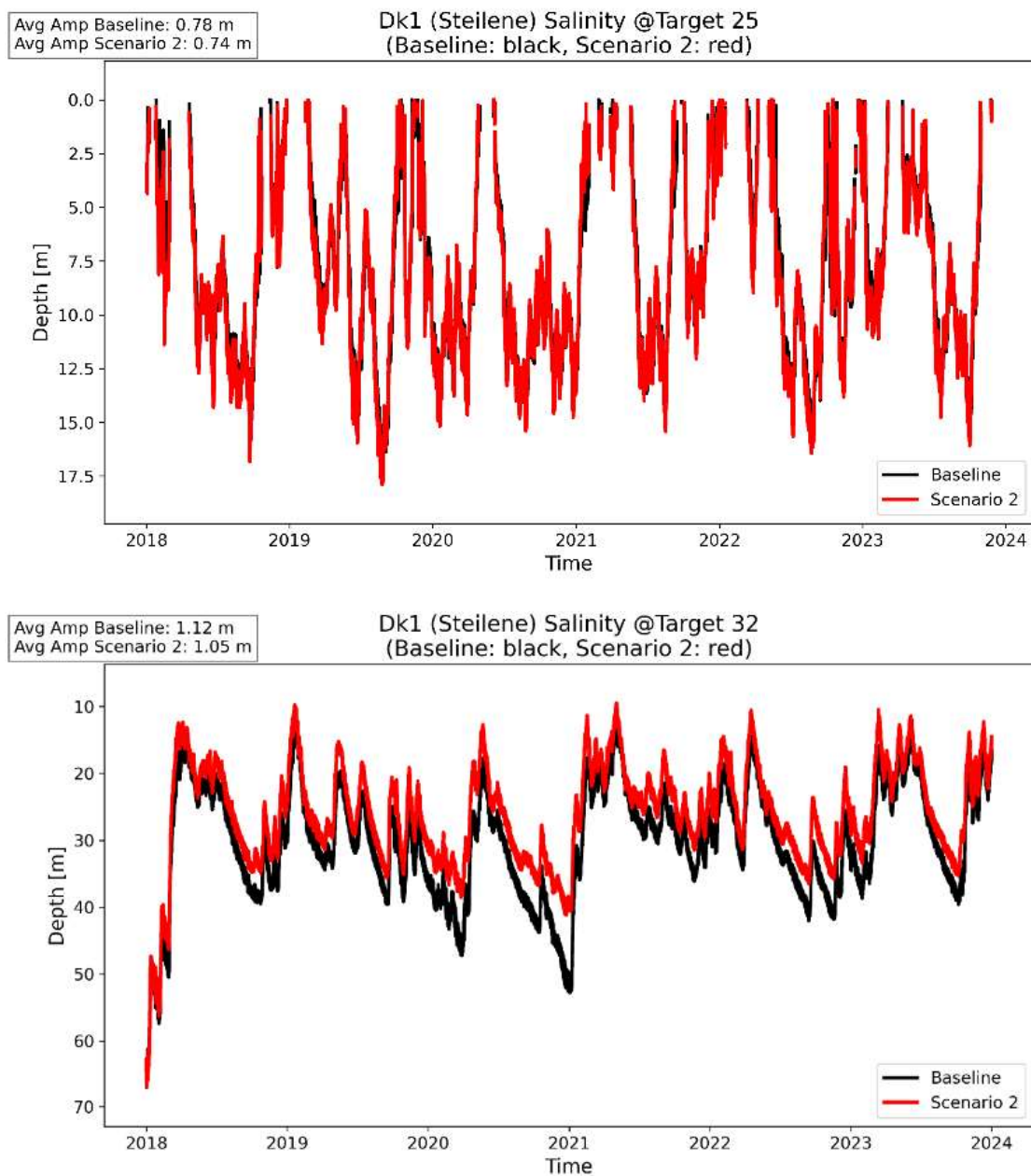
En mer presis vurdering kan oppnås med sporstoffmodellering hvor alle scenarioene sammenlignes, noe som ikke inngår i denne studien.



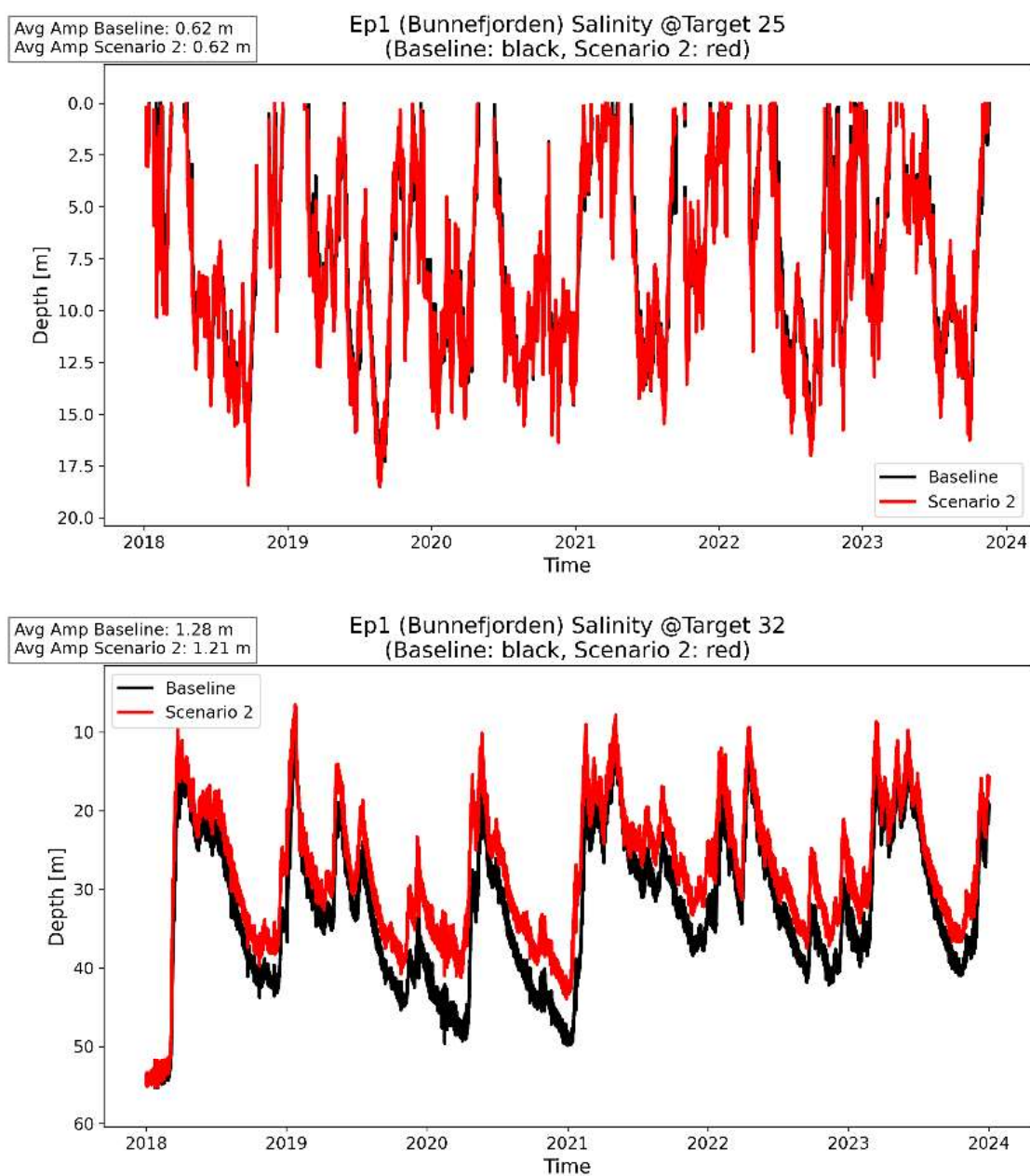
Figur 5.1 Dybde av salinitetskontur ved Dk1 (vist i Figur 3.2) for henholdsvis 25 PSU (øverst) og 32 PSU (nederst), og dybden den ligger på. Her sammenlignes Baseline (sort) og Scenario 1 (rød), for alle figurene er den gjennomsnittlige amplituden for perioden vist oppe til venstre.



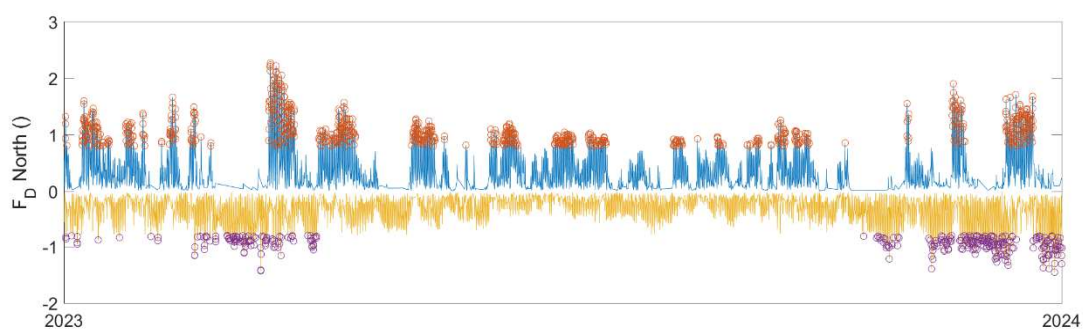
Figur 5.2 Dybde av salinitetskontur ved Ep1 (vist i Figur 3.2) for henholdsvis 25 PSU (øverst) og 32 PSU (nederst), og dybden den ligger på. Her sammenlignes Baseline (sort) og Scenario 1 (rød), for alle figurene er den gjennomsnittlige amplituden for perioden vist oppe til venstre.



Figur 5.3 Dybde av salinitetskontur ved Dk1 (vist i Figur 3.2) for henholdsvis 25 PSU (øverst) og 32 PSU (nederst), og dybden den ligger på. Her sammenlignes Baseline (sort) og Scenario 2 (rød), for alle figurene er den gjennomsnittlige amplituden for perioden vist oppe til venstre.



Figur 5.4 Dybde av salinitetskontur ved Ep1 (vist i Figur 3.2) for henholdsvis 25 PSU (øverst) og 32 PSU (nederst), og dybden den ligger på. Her sammenlignes Baseline (sort) og Scenario 2 (rød), for alle figurene er den gjennomsnittlige amplituden for perioden vist oppe til venstre.



Figur 5.5 Modellert densimetrisk Froude-tall ved Drøbakstorskelen i 2023, for Scenario 2. Figuren viser en tidsserie av Froude-tallet (FD) i Baseline over terskelen, der innadgående strøm er plottet som positiv og utadgående som negativ. Sirklene markerer situasjoner der $FD > 0,8$ – altså nær kritiske strømforhold, hvor det er mulighet for dannelse av indre bølger.

6 Konklusjon

For å vurdere hvilke konsekvenser en åpning i jetéen i Drøbaksundet kan ha for vannutskiftningen i Indre Oslofjord, ble det satt opp en tredimensjonal høyoppløst hydrodynamisk modell av dagens fjordforhold. Valideringen viser at modellen gir en god fremstilling av fjordens hydrodynamikk sammenlignet med tilgjengelige måledata.

Resultatene viser at en eventuell åpning i jetéen påvirker volumtransport av vann og salt i betydelig grad. Både Scenario 1 (åpning på 140 m ned til 10,4 m) og Scenario 2 (åpning på 150 m ned til 24 m) gir økt innstrømning av saltvann sammenlignet med dagens situasjon (Baseline). Den hydrodynamiske modellen viser at vannstrømmene omfordes mellom ulike løp, spesielt rundt Drøbaksundet og Håøya. I Scenario 2, hvor åpningen er dypere, får dypvannet en ny vei inn i fjorden, og volum- og salttransport over Drøbaksterskelen reduseres. En generell konklusjon er at utdypningen fører til økte variasjoner, slik at det oppstår større utslag i vannutskiftning og vertikal blanding. Dette gjelder både positive og negative utslag. Derimot er de gjennomsnittlige forskjellene svært små.

Transportanalysene viser at åpningen i jetéen endrer både volum- og salttransporten i fjordsystemet, men effekten avhenger tydelig av åpningens dybde.

I Scenario 1 (grunn åpning) er endringene mest markante i overflatelagene. Vannmassene finner en ny utstrømningsvei gjennom jetéåpningen, noe som gir økt utstrømning av ferskere overflatevann og redusert transport over Drøbaksterskelen. Samtidig øker den positive salttransporten gjennom jetéen, noe som viser at også deler av innstrømningen i de øvre lagene kanaliseres gjennom det nye løpet. I andre snitt, som Håøya–Drøbak og Hurum–Håøya, reduseres transporten, noe som tyder på at vannveiene i fjorden omfordes. Scenario 1 fremstår derfor som en overflatedominert endring, der dypvannsinstrømningen i hovedsak fortsatt skjer øst for Småskjær..

I Scenario 2 (dyp åpning) blir mønsteret mer sammensatt. Den dypere åpningen gir dypvannet en alternativ vei inn i fjorden, slik at deler av dypvannsinbruddene ikke lenger må passere over Drøbaksterskelen mellom Småskjær og Drøbak. Dette gir redusert volum- og salttransport over terskelen, samtidig som salttransporten gjennom jetéåpningen øker kraftig. Samtidig svekkes utstrømningen gjennom Hurum–Håøya, noe som viser at vann som tidligere gikk denne veien i større grad presses inn via jetéåpningen. Scenario 2 gir dermed både en ny utstrømningsvei for overflatevann og en ny innstrømningsvei for dypvann, som endrer transportmønsteret i hele fjordsystemet.

Samlet sett viser modellen at Scenario 1 først og fremst påvirker overflatestrømmene, mens Scenario 2 i tillegg gir et nytt løp for dypvannsinstrømning. Effekten er derfor sterkere i Scenario 2, både når det gjelder omfordeling av transportveier og økt tilførsel av saltvann i dypere lag. Forskjellene nordover i fjorden, som ved Asker–Nesodden, er små, men peker på at endringene gradvis forplanter seg gjennom fjordsystemet.

Transportanalysene viser at i Drøbaksundet holder samlet volumtransport inn i fjorden seg relativt konstant, men den lokale fordelingen mellom ulike tverrsnitt (Drøbaksundet, øst og vest for Håøya og Vestfjorden) endres betydelig. Analyserne viser at jetéåpningen i økende grad benyttes som innstrømningsvei, spesielt i Scenario 2.

Analysene av modellert salinitet i bunnvannet ved fire målestasjoner (GI2, Gk1, Dk1 og Ep1) viser at vertikal blanding generelt går saktere i Scenario 2 enn i Baseline, noe som kan henge sammen med sterkere lagdeling forårsaket av høyere salinitet i bunnvannet. Scenario 1 viser et mer variabelt bilde, med variasjon mellom stasjoner og spesielt perioder.

Et viktig funn er at alle dypvannsinbruddene som observeres i Baseline også forekommer i Scenario 1 og Scenario 2. Dette indikerer at åpningen i jetéen ikke hindrer tilførselen av nytt dypvann til fjorden. Samtidig tyder resultatene på at vannmassene i Scenario 2 blandes saktere og at vannsøylen har en sterkere lagdeling.

Resultatene fra PEA-beregningene bekrefter at utdypingen av jetéen ikke gir store systematiske endringer i fjordens gjennomsnittlige stabilitet, men at dynamikken i lagdelingen øker, særlig i Scenario 2. Dette sammenfaller med transportanalysene, som viste at en dypere åpning gir dypvannet en ny innstrømningsvei og dermed større variasjon i gjennomstrømningen. Samlet sett peker dette mot at tiltaket ikke først og fremst øker eller reduserer vannutskiftningen i gjennomsnitt, men at det bidrar til sterkere variasjoner i både stabilitet og blanding, og dermed fjorden mer varierende.

Konklusjonen er at åpningen i jetéen endrer måten vann og salt transporteres på i fjordsystemet, og gir økt tilførsel av saltvann til indre deler av Oslofjorden. Scenario 2, med dypere åpning, gir mest omfattende endringer, men også mer uttalt lagdeling og tregere vertikal blanding. Åpningen innebærer også at dynamikken i lagdelingen øker ved større utdypning av jetéen. Det er derfor ikke mulig å trekke en entydig konklusjon om hvorvidt tiltaket samlet sett forbedrer eller forverrer vannutskiftningen. For å besvare dette mer grundig, kreves videre analyser, enten gjennom biogeokjemisk modellering eller ved hjelp av sporstoff/fortynningsanalyser som bedre kan identifisere vannmassenes opprinnelse og blandingsmønstre.

7 Referanser

- Berntsen, Jarle. 2002. «Internal Pressure Errors in Sigma-Coordinate Ocean Models.» *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology* 19 (9): 1403–1414.
https://journals.ametsoc.org/view/journals/atot/19/9/1520-0426_2002_019_1403_ipeisc_2_0_co_2.xml.
- Burchard, Hans, og Richard Hofmeister. 2008. «A dynamic equation for the potential energy anomaly for analysing mixing and stratification in estuaries and coastal seas.» *Estuarine, Coastal and Shelf Science*,.
- DHI. 2023. «DHI-GHM: Real-time and forecasted hydrology for the entire planet.»
- DHI. 2018. «Hydrodynamic Model of North Sea and UK Waters (UKNS2), Setup and Validation, version 2.»
- DHI. 2025. «MIKE 1D - DHI Simulation Engine for 1D river and urban modelling - Reference Manual.»
- . 2024. «MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Mud Transport Module Scientific Documentation.» Hørsholm: DHI.
https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2024/Coast_and_Sea/MIKE_213_MT_FM_ScientificDoc.pdf.
- Gade, Herman G. 1973. «Deep water exchange in a sill fjord: a stochastic process.» *J. Physical Oceanography* 3 (2) 213-219.
- Gade, Herman G. 1970. «Hydrographic investigations in the Oslofjord, a study of Water Circulation and Exchange Processes.» *Geophysical institute. Div. A. Physical Oceanography. University of Bergen*.
- Murray, Alexandra M., Gregers H. Jørgensen, Peter N. Godiksen, Jannik Anthonj, og Henrik Madsen. 2023. «DHI-GHM: Real-time and forecasted hydrology for the entire planet.» *Journal of Hydrology* (Journal of Hydrology).
- NIVA. 2002. «Utredning av konsekvenser for vannutskiftningen i indre Oslofjord ved utvidelsen av skipsleden over Drøbakerskelen.»
- Petersen, Ole Svenstrup, og Hans Burchard. 1998. «Hybridization between σ - and z -co-ordinates for improving the internal pressure gradient calculation in marine models with steep bottom slopes.» *International Journal for Numerical Methods in Fluids*.
[https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/\(SICI\)1097-0363\(19971115\)25:9%3C1003::AID-FLD600%3E3.0.CO;2-E](https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/(SICI)1097-0363(19971115)25:9%3C1003::AID-FLD600%3E3.0.CO;2-E).
- Solbrekke, Ida Marie , Asgeir Sorteberg, og Hilde Haakenstad. 2021. «The 3 km Norwegian reanalysis (NORA3) – a validation of offshore wind resources in the North Sea and the Norwegian Sea.»
- Stigebrandt, Anders. 1979. «Observational Evidence for Vertical Diffusion Driven by Internal Waves of Tidal Origin in the Oslofjord.» *Journal of Physical Oceanography*.
- Stigebrandt, Anders. 1976. «Vertical Diffusion Driven by Internal Waves in a Sill Fjord.» *Journal of Physical Oceanography*.
- Stigebrandt, Anders, og Jan Magnusson. 2002. *Utredning av konsekvenser for vannutskiftningen i indre Oslofjord ved utvidelsen av skipsleden over Drøbakerskelen*. NIVA.
- Staalstrøm, Andre, Bengt Liljebladh, og E. Aas. 2012. «Propagation and dissipation of internal tides in the Oslofjord.» *Ocean Science*.
- Staalstrøm, André. 2015. «Betydningen av indre bølger i Oslofjorden.» *Vann* 259-266.

Staalstrøm, Andre, Lars Arneborg, Bengt Liljebladh, og Göran Broström. 2015. «Observations of Turbulence Caused by a Combination of Tides and Mean Baroclinic Flow over a Fjord Sill.» *Journal of Physical Oceanography* 355-368.

Staalstrøm, André, og Lars Petter Røed. 2016. «Vertical mixing and internal wave energy fluxes in a sill fjord.» *Journal of Marine Systems*.

Vedlegg A Kalibrering og validering av modellen

I dette vedlegget er valideringen av den hydrodynamiske modellen presentert. Her er MIKE 2024 (DHI 2024) brukt til beregningene.

Vedlegg A.1 Input til modellen

Simuleringsperioden er 1. januar 2018 til 1. januar 2024.

Den hydrodynamiske modellen er drevet av atmosfæriske forhold som påvirker Oslofjorden-systemet både regionalt og lokalt; regionalt gjennom de åpne grensene (hentet ifra en validert regional DHI-modell (Hydrodynamic Model of North Sea and UK Waters (UKNS2), (DHI 2018)) og lokalt gjennom vindspenning, lufttrykkvariasjoner, nedbør / fordampning og varmevekslingsprosesser som virker direkte på vannoverflaten og påvirker dermed sirkulasjon, blanding, stratifisering og vannbalanse.

Grensedataene for grensen inneholder vannstand (1D), strømhastigheter (2D), saltholdighet (2D) og temperaturer (2D).

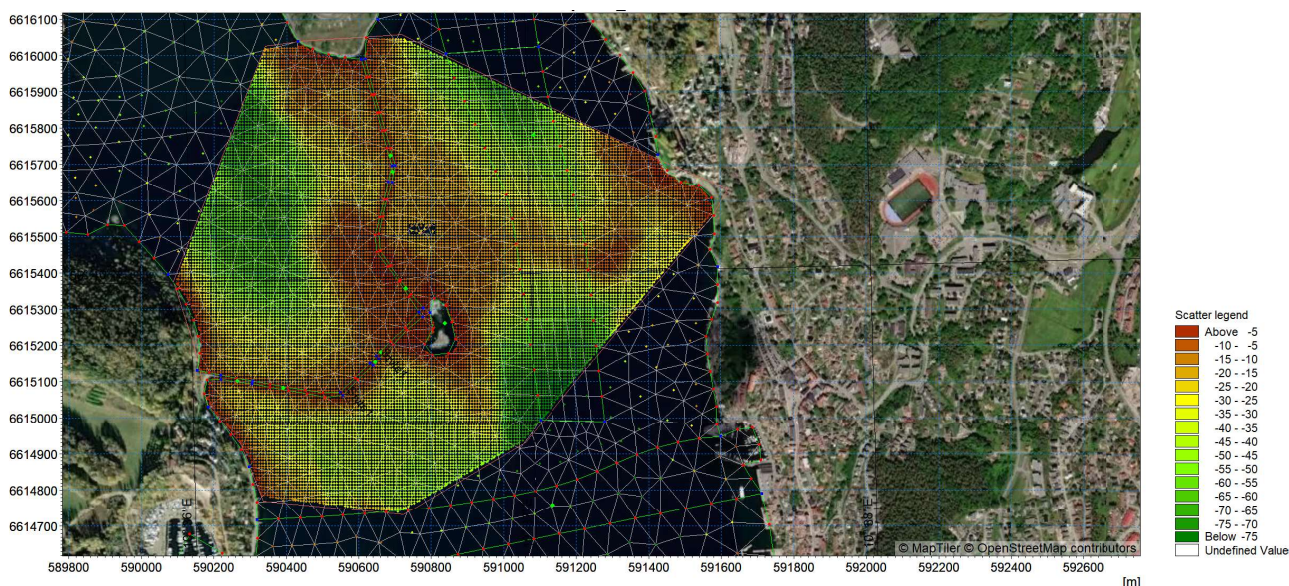
Den atmosfæriske tvingingen av modellen består av tidsvarierende felt med følgende parametere:

- Vind 10 m over havoverflaten
- Lufttrykk ved havoverflaten
- Nedbør
- Lufttemperatur 2 m over havoverflaten
- Relativ fuktighet
- Skydekke

Den hydrodynamiske modellen beregner fordampningen internt i varmevekslingsmodulen.

De meteorologiske dataene kommer fra meteorologisk institutt sin modell NORA3, en modell med en oppløsning på 1 time i tid og 3 km i det geografiske domenet for vind, lufttemperatur, skydekke og humiditet (Solbrekke, Sorteberg og Haakenstad 2021).

Dybdataene som ble bruk i modellen var målte data i (1 x1 m oppløsning) mellom Hurum, Søndre Kaholmen og Drøbak, som vil si hele området som dekker Drøbakerskelen og jetéen, vist i Figur A- 1, og Stedgrunnen. For områdene hvor det ikke var målte data ble det brukt åpne data fra Kartverket (50 x 50 m) eller DHIs C-Map (sjøkartdata). Alle dybdene i modellen er i sjøkartnull, og projeksjonen er UTM-32.



Figur A- 1 Høyoppløselige dybdata gitt av Kystverket, med modellnettet i bakgrunnen.

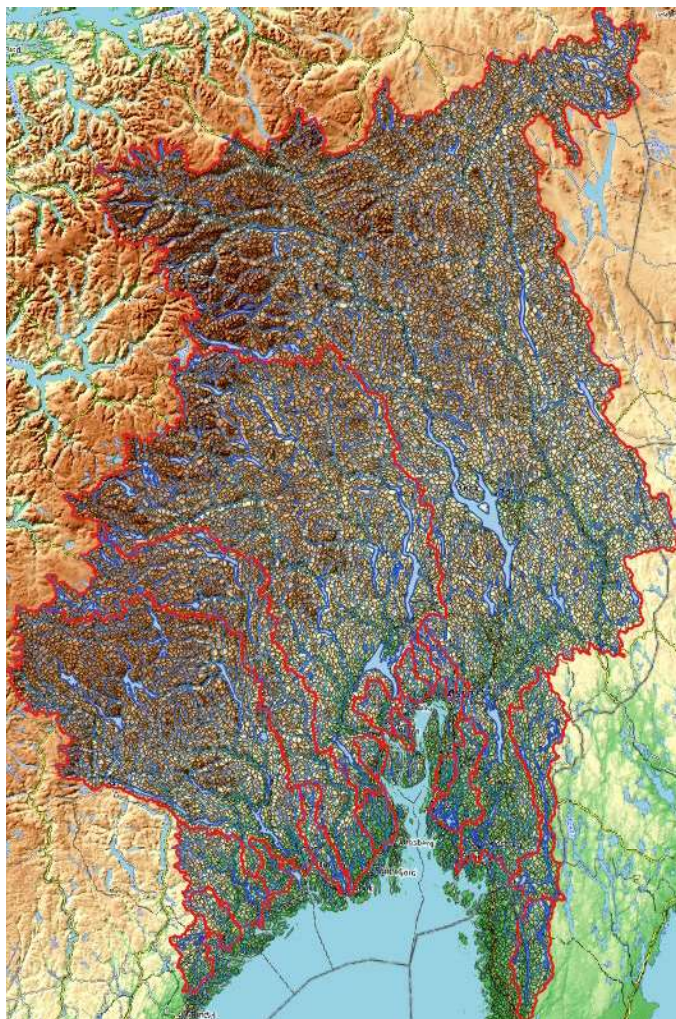
Avrenningen til fjorden er representert ved de viktigste 82 elvene, som er inkludert i modellen som ferskvannskilder. Tidsseriene for vannføring og vanntemperatur er hentet ut fra den nedskalerte versjonen DHIs Globale hydrologisk modell ([GHM](#)), som er høyoppløst og dekker alle nedbørsfeltene som drenerer til Oslofjorden, se Vedlegg A.2.

Modellen er kalibrert mot måledata for perioden 2018–2019 og validert mot observasjoner fra 2020–2024. Sammenligninger med måleserier for salinitet og temperatur fra fire stasjoner (VT65, Im2, Dk1 og Ep1, se Figur A- 11) viser at modellen i stor grad gjenskaper observasjonene, særlig for salinitet. For temperatur stemmer modellen godt i de øvre vannlagene, mens det i de dypere lagene er en tendens til noe høyere temperatur enn observert. Dette skyldes for varme grensebetingelser. Selv om avviket i temperatur er tydelig, er det salinitet som primært styrer tetthetsforholdene i fjorden, og modellens evne til å beskrive lagdeling og sirkulasjon vurderes derfor som tilfredsstillende.

Samlet sett viser valideringen at den utviklede hydrodynamiske modellen gir en realistisk og faglig forsvarlig fremstilling av sirkulasjon, lagdeling og dypvannsinnbrudd i Oslofjorden. Alt i alt vurderes modellen som godt egnet for analyser av strømforhold og vannutskiftning i Oslofjorden.

Vedlegg A.2 Hydrologisk avrenningsmodell for Oslofjorden

Ferskvannstilførseler til den hydrodynamiske modellen av Oslofjorden er beregnet ved hjelp av en hydrologisk modell av nedbørfeltet som drenerer til fjorden. Figur A- 2 viser nedbørfeltet til den hydrologiske avrenningsmodellen for Oslofjorden, som dekker et område på totalt 85 800 km². Modellen inkluderer alle elver med utløp i Oslofjorden, som også inkluderer det totale nedbørfeltet til de største vassdragene: Glomma, Drammen og Skien. Modellen er satt opp som en lokal nedskalert modell basert på DHIs globale hydrologiske modell (GHM) og simulerer avrenningen til Oslofjorden med tidsoppløsning på én time. Modellen består av en distribuert hydrologisk modell og en kinematisk rutingmodell (Murray, et al. 2023).



Figur A-2 Nedbørfeltet til den hydrologiske avrenningsmodellen for Oslofjorden, som dekker et område på totalt 85 800 km².

Den hydrologiske modellen er delt inn i celler på 1 km x 1 km. Modellen bruker nedbør- og temperaturdata fra seNorge, der de rutenettbaserte inngangstidsseriene samsvarer med modellens romlige oppløsning. Fordampningsberegningene er basert på Priestley-Taylors metode med inndata av temperatur og stråling (Murray, et al. 2023). Hver celle består av en hydrologisk karmodell, DHIs «Nedbør-Afstrømnings-modell» (NAM), som simulerer vannbalanse i fire magasin: snø, overflate, rotsonen og grunnvann tilsvarende som det Svenske Meteorologiske og Hydrologiske Instituttets HBV-modell (Murray, et al. 2023). Høydemodellen er basert på data fra www.Kartverket.no, der den digitale terrengmodellen har en avlesning på 50x50m. DHIs globale hydrologiske modell er basert på en fysisk relatert tilnærming, der parametrene i NAM-modellen bestemmes ut fra det fysiske nedslagsfeltets egenskaper. Hver NAM-celle beregnes individuelt, hvorfra tilsiget til vassdraget bestemmes. Mer informasjon om NAM-modellen kan leses i den vitenskapelige dokumentasjonen, kalt «referansemanualen», for MIKE programvare:

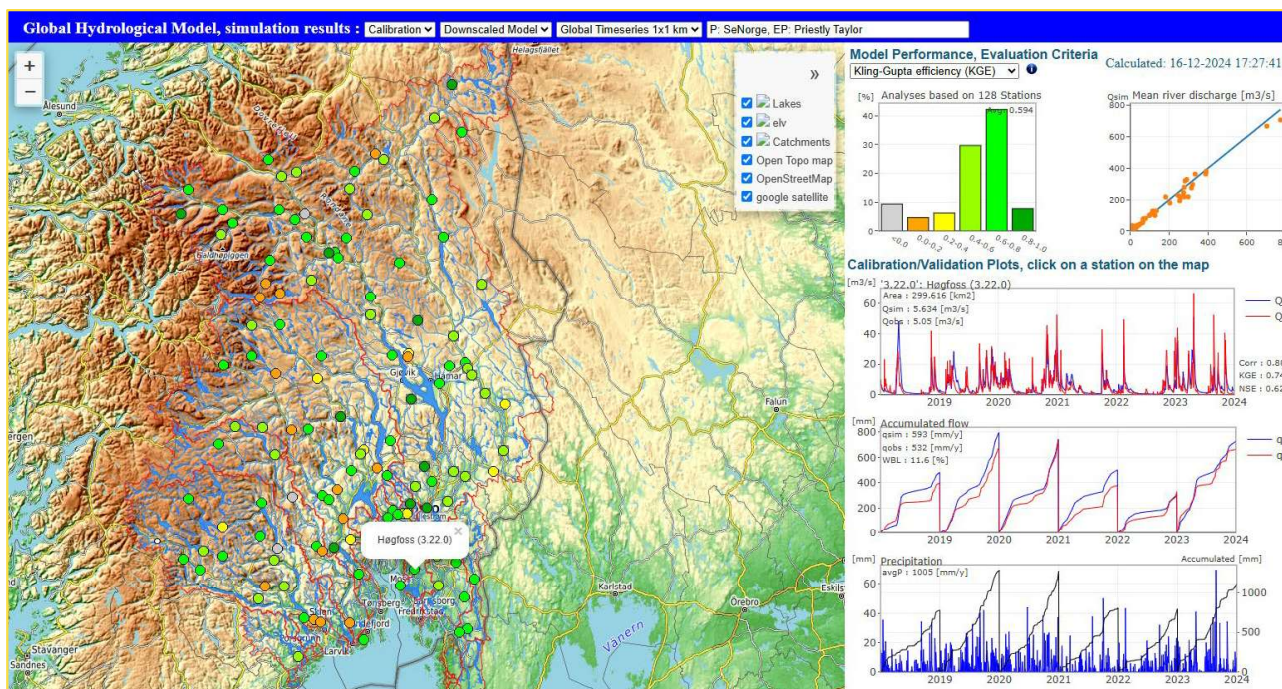
https://manuals.mikepoweredbydhi.help/latest/Water_Resources/MIKE_1D_reference.pdf

Rutingen av avrenningen er konseptualisert i tre trinn. Først beregnes avrenningen i hver celle ved hjelp av NAMs avrenningsrutine. Deretter beregnes rutingen mellom celler samlet i nedslagsfelt på 2-4 km². Til slutt rutes vannet kinematisk fra ett delfelt til neste nedstrøms nedbørfelt gjennom elver og innsjøer, hvoretter det endelige tilsiget til Oslofjorden kan bestemmes.

Modellen er kalibrert mot 150 av NVEs målestasjoner for vannføring for perioden 2011-2024, hvor kalibreringen legger vekt på en god tilpasning på nedstrøms ende av modellen. På steder der måldata

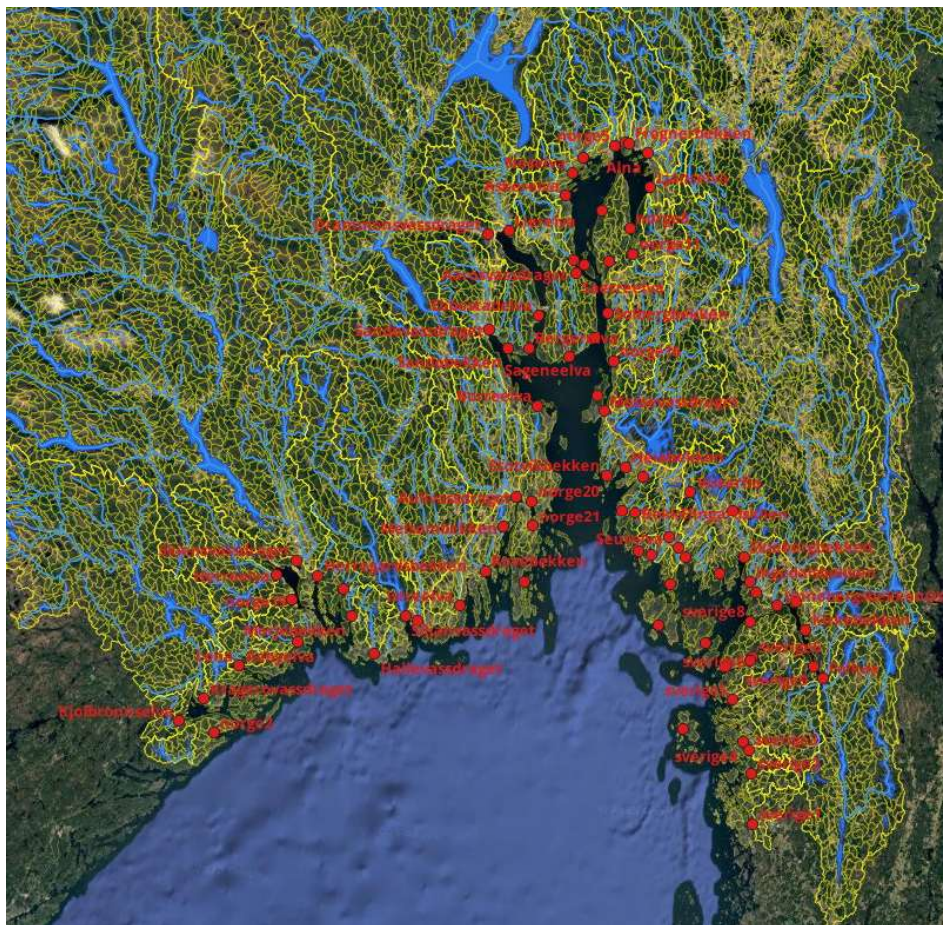
er tilgjengelige, er modellens beregninger assimilert med observerte tidsserier, slik at vannføringen frem til målestasjonene er basert på måledata og simulerte verdier for restfeltene nedstrøms.

Figur A- 3 viser et eksempel fra den hydrologiske modellen, med kalibreringsresultater og sammenligning av simulerte og observerte data i 150 beregningspunkter. Kalibreringsprestasjonen er vurdert med indikatoren «Kling-Gupta-Efficiency» (KGE) som er utstrakt brukt innen hydrologisk modellering (Murray, et al. 2023).



Figur A- 3 Den hydrologiske modellens avgrensning med kalibreringsresultater for 150 av NVEs vannmålestasjoner for perioden 2011-2024. Mørkegrønne punkter angir Kling-Gupta Efficiency (KGE) over 0.8, neongrønne 0.6-0.8, lysegrønn 0.4-0.6, gule 0.2-0.4, oransje 0-0.2 og grå under 0. KGE på 1.0 angir fullstendig overenstemmelse mellom observert og simulert vannføring.

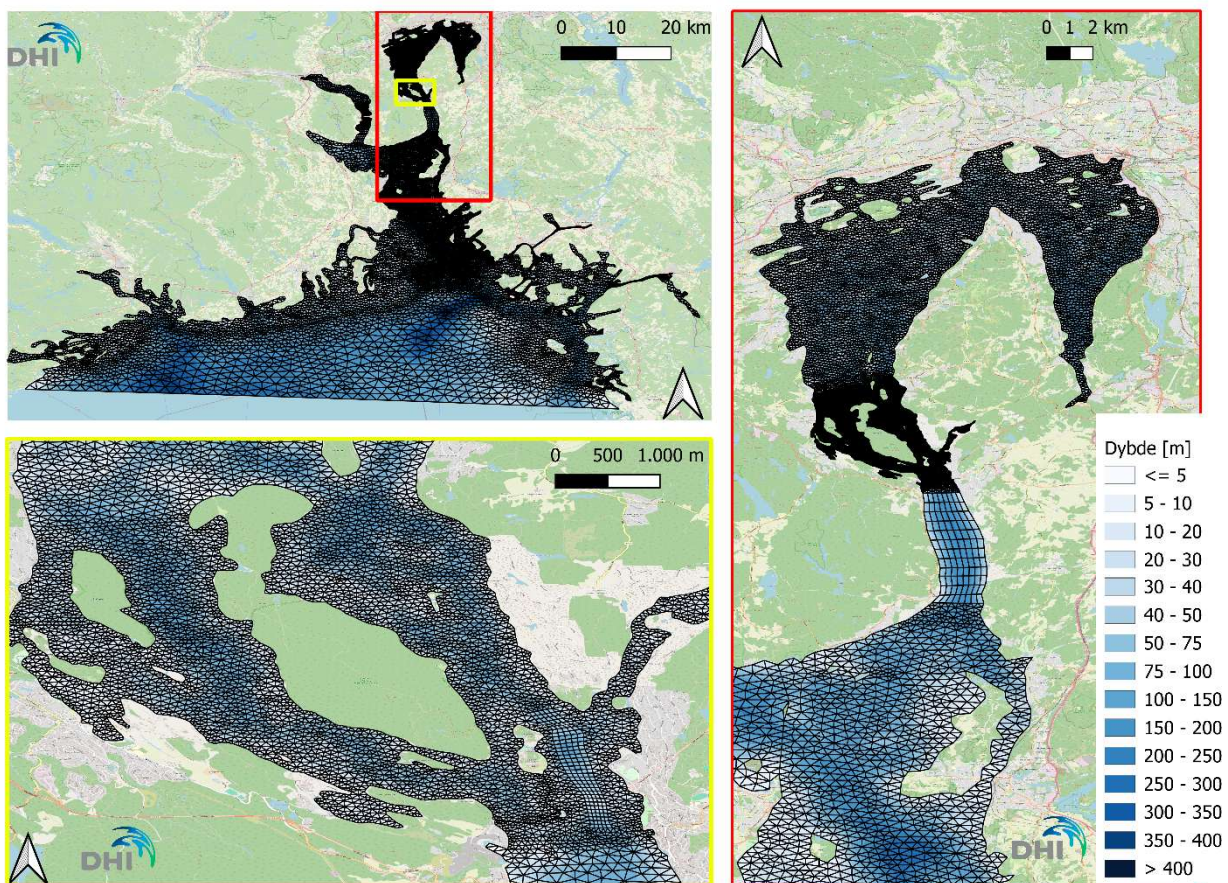
Ferskvannstilsiget til Oslofjorden er beregnet på 83 lokaliteter ved hjelp av den nedskalerte GHM vist i Figur A- 4 med røde prikker, som også utgjør grensebetingelser (tilsig) for den hydrodynamiske modellen (MIKE3) for Oslofjorden. For større nedbørfelt bestemmes ferskvannsinløpspunktet ut fra utløpet fra det totale nedbørfeltet, mens mindre nedbørfelt akkumuleres sammen i et punkt med et samlet nedslagsfelt på 10-25 km².



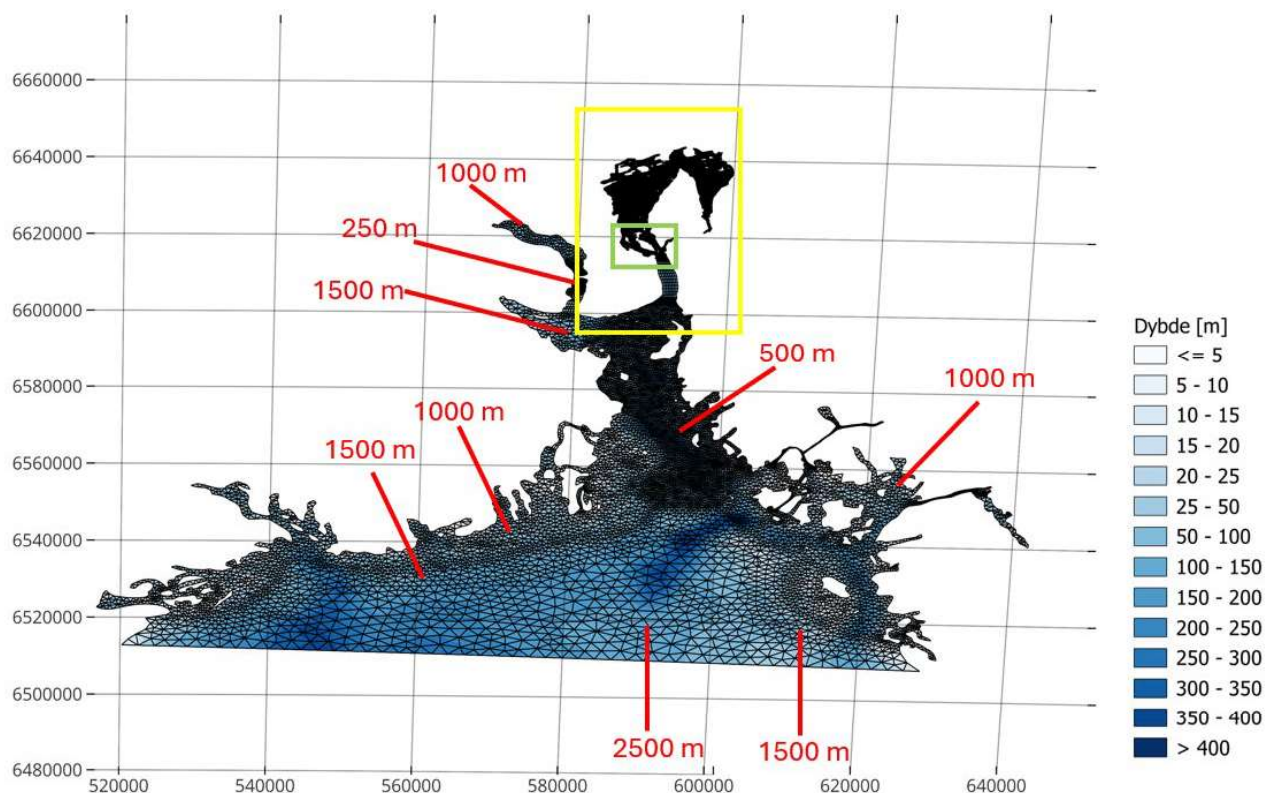
Figur A- 4 Ferskvannstilsig fra den hydrologiske modellen til Oslofjorden ble målt på 83 steder merket med røde prikker.

Vedlegg A.3 Modellområde og -oppløsning av den hydrodynamisk modellen

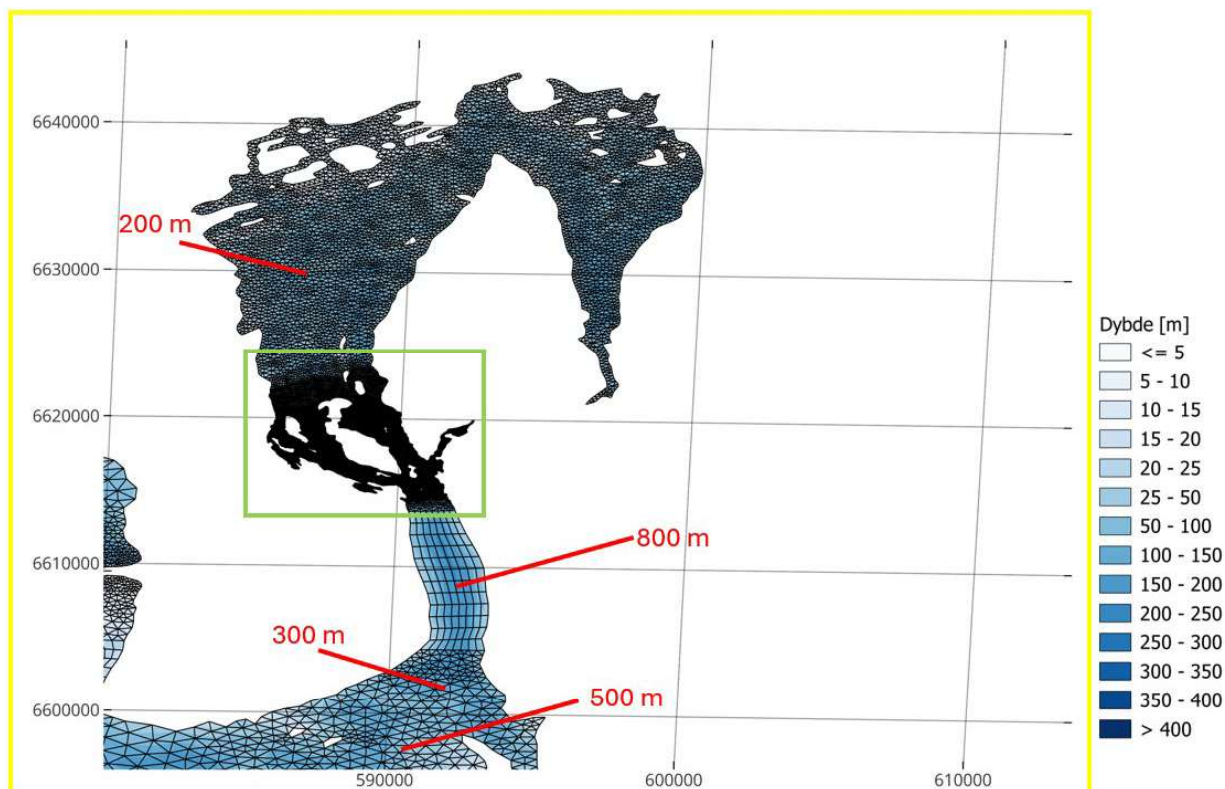
Modellområdet er vist i Figur A- 5, og modellopløsningen er vist for henholdsvis horisontal og vertikal retning i Figur A- 6 - Figur A- 8 og Figur A- 10. Oppløsningen i modellområdet varierer mellom 50 – 2500 m horisontalt, og mellom 1-100 m (1 m de øverste 20 m) vertikalt. I Figur A- 9 er en tverrgående transekt gjennom fjordsystemet vist.



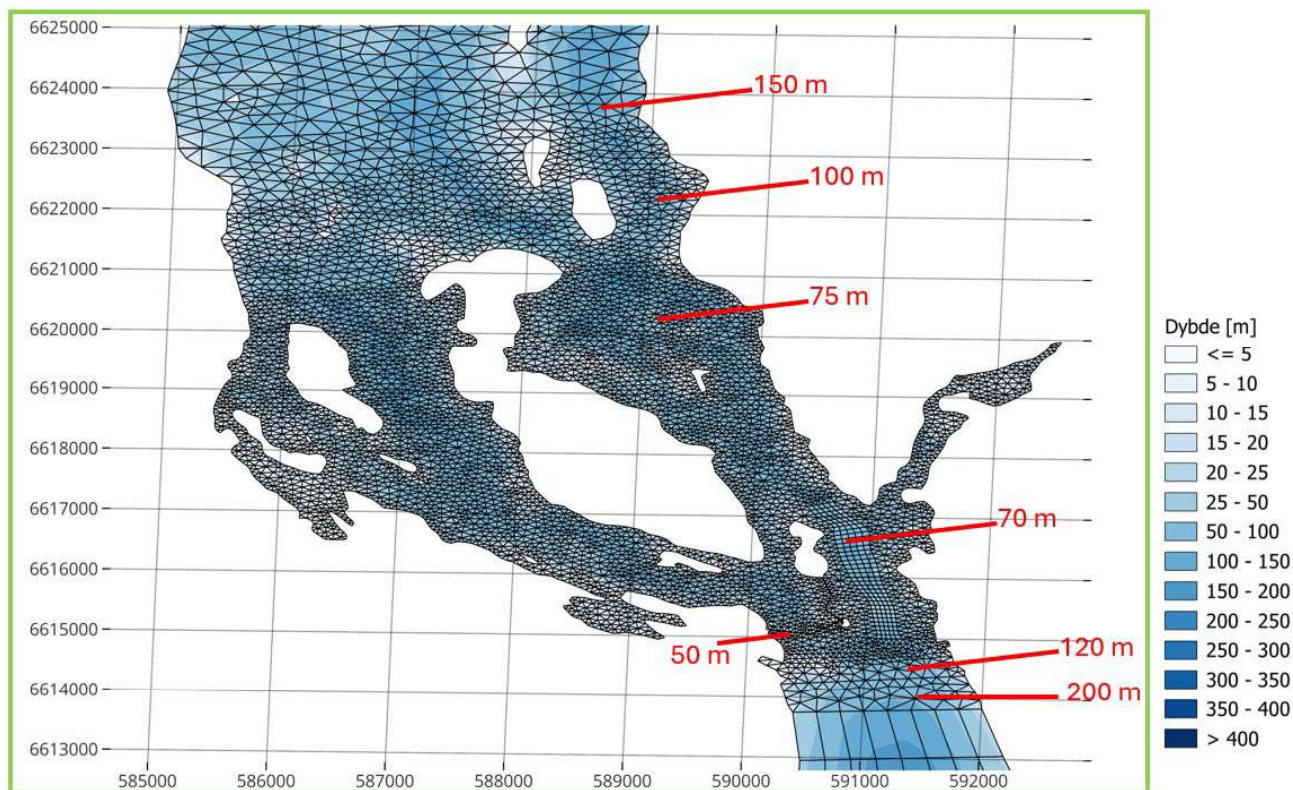
Figur A- 5 Modellområde, øverst til venstre er hele modelldomenet vist, nede til venstre ser vi oppløsningen rundt Drøbak, og til høyre kan man se oppløsningen for indre Oslofjord.



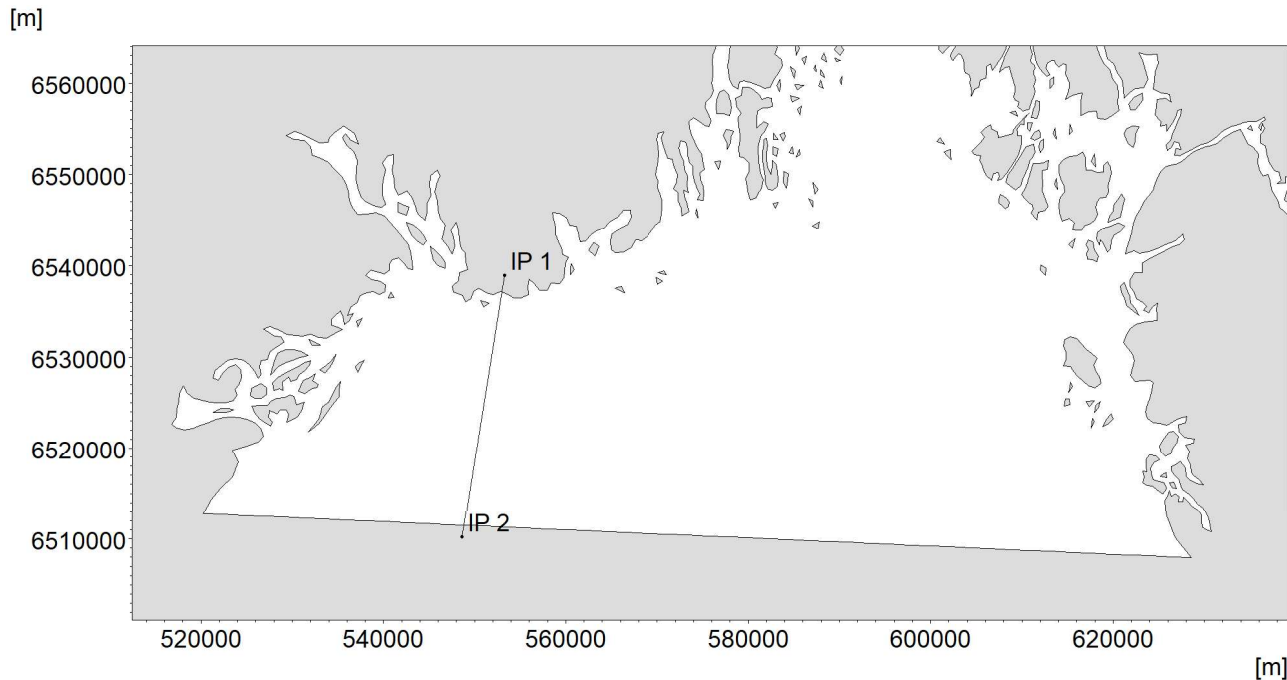
Figur A- 6 Horizontal modeloppløsning, varierende mellom 250 – 2500 m for hele modelldomenet, gul boks viser oppløsningen for indre Oslofjord i Figur A- 7, grønn boks viser oppløsningen rundt Drøbakssundet i Figur A- 8.



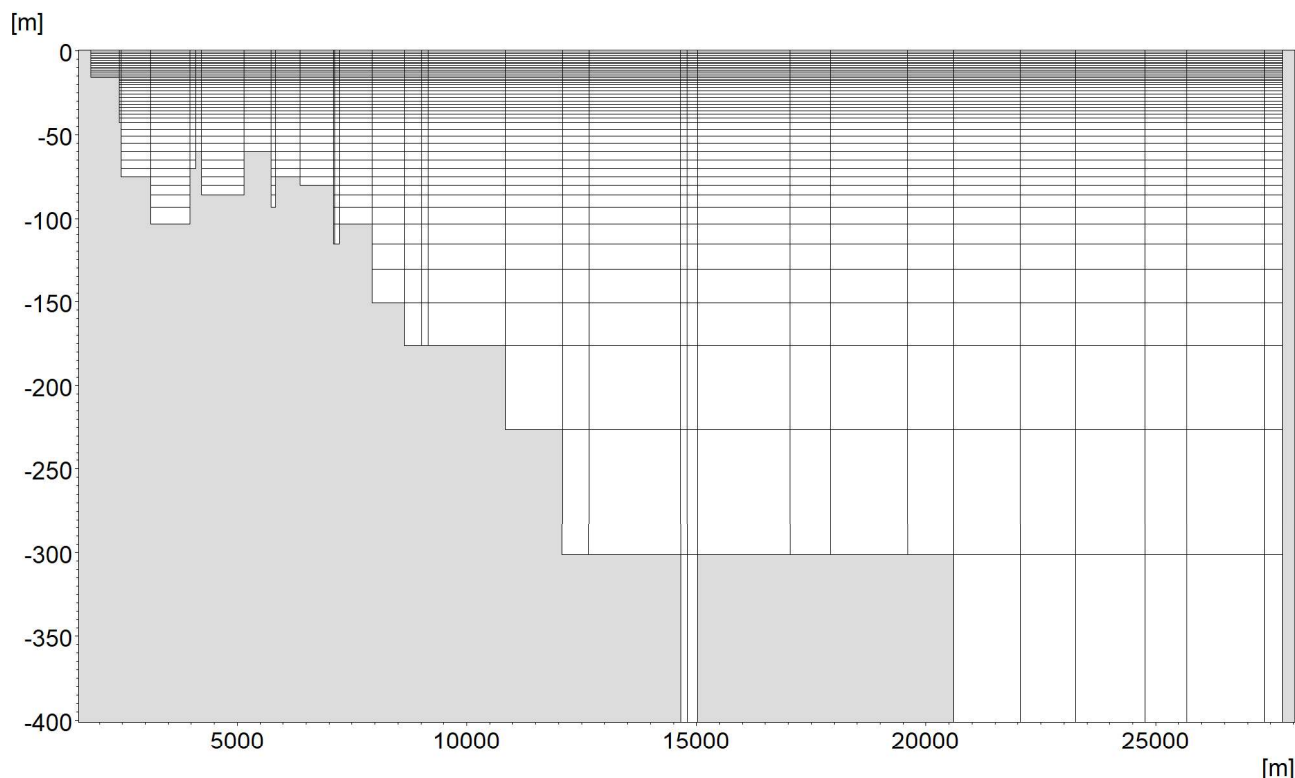
Figur A- 7 Horizontal modeloppløsning, varierende mellom 200 – 800 m for indre Oslofjord, grønn boks viser oppløsningen rundt Drøbakssundet i Figur A- 8.



Figur A- 8 Horizontal modeloppløsning, varierende mellom 50 – 200 m rund Drøbakssundet, grønn boks viser oppløsningen rundt Drøbaksfjorden i Figur A- 8.



Figur A- 9 Tverrgående transekt gjennom Oslofjord-systemet.



Figur A- 10 Vertikal modellopløsning, varierende mellom 1 - 100 m, tatt ca. ved IP1-2 i Figur A- 9.

Vedlegg A.4 Modellvalidering

Strømningsmodellen er kalibrert og validert mot tilgjengelige og relevante måledata for området, herunder målinger av saltholdighet, temperatur og vannstand. Det forelå imidlertid ikke langtidsmålinger av strøm, noe som begrenser direkte validering av strømningsfeltet. Kalibreringen er utført for årene 2018 og 2019, mens modellen er validert mot data fra perioden 2020–2024. Simuleringsperioden dekker seks år, fra 1. januar 2018 til 1. januar 2024.

I Figur A- 11 vises plasseringen av målestasjonene brukt til kalibrering og validering. I denne delen fokuseres det særlig på stasjonene VT65 (Ytre Oslofjord), Im2 (Drøbaksundet), Dk1 (Vestfjorden) og Ep1 (Bunnefjorden). Målingene er hentet fra overvåkingsprogrammene Overvåkning av Indre Oslofjord (Im2, Dk1 og Ep1) og Overvåkning av Ytre Oslofjord (VT65), og stammer fra <https://vannmiljo.miljodirektoratet.no>.

I Vedlegg A.4.1 - Vedlegg A.4.4 vises sammenligninger mellom modell og observasjoner for både tidsserier og profiler av salinitet og temperatur ved de fire målestasjonene. For hver stasjon presenteres såkalte "top-bottom"-plott (overflate (1, 2 eller 5 m basert på hvilken dybde som har fleste målepunkter) og bunn), samt resultater for 10, 20, 50, 100 meters dyp og bunn (eller nærmeste tilgjengelige dyp).

I Figur A- 12 – Figur A- 16 vises tidsserien for salinitet i følgende dyp: top-bottom (5 m og 350 m), 10 m, 20 m, 50 m, 100 m og 350 m. For temperatur vises tilsvarende tidsserier i Figur A- 18 – Figur A- 22, men 350 m inngår her kun i top-bot-plottet. Det er også valgt tidspunkt med profil, hvor hele vannsøylen er vist for temperatur og salinitet, dette kan en se i Figur A- 23 – Figur A- 30.

I Figur A- 31 – Figur A- 35 er tidsserien for salinitet for top-bottom (1 m og 200 m), 10 m, 20 m, 50 m, 100 m og 200 m, mens det for de samme dybdene for temperatur er vist i Figur A- 37 – Figur A- 41, men 200 m inngår her kun i top-bot-plottet. Det er også valgt ut valgte tidspunkt med profil, hvor hele vannsøylen er vist for temperatur og salinitet, dette kan en se i Figur A-42 – Figur A- 46.

I Figur A- 47 – Figur A- 51 er tidsserien for salinitet for top-bottom (2 m og 100 m), 10 m, 20 m, 50m, 90 m og 100, mens det for de samme dybdene for temperatur er vist i Figur A- 53 – Figur A- 57, men

100 m inngår her kun i top-bot-plottet. Det er også valgt ut utvalgte tidspunkt med profil, hvor hele vannsøylen er vist for temperatur og salinitet, dette kan en se i Figur A- 58 – Figur A- 62.

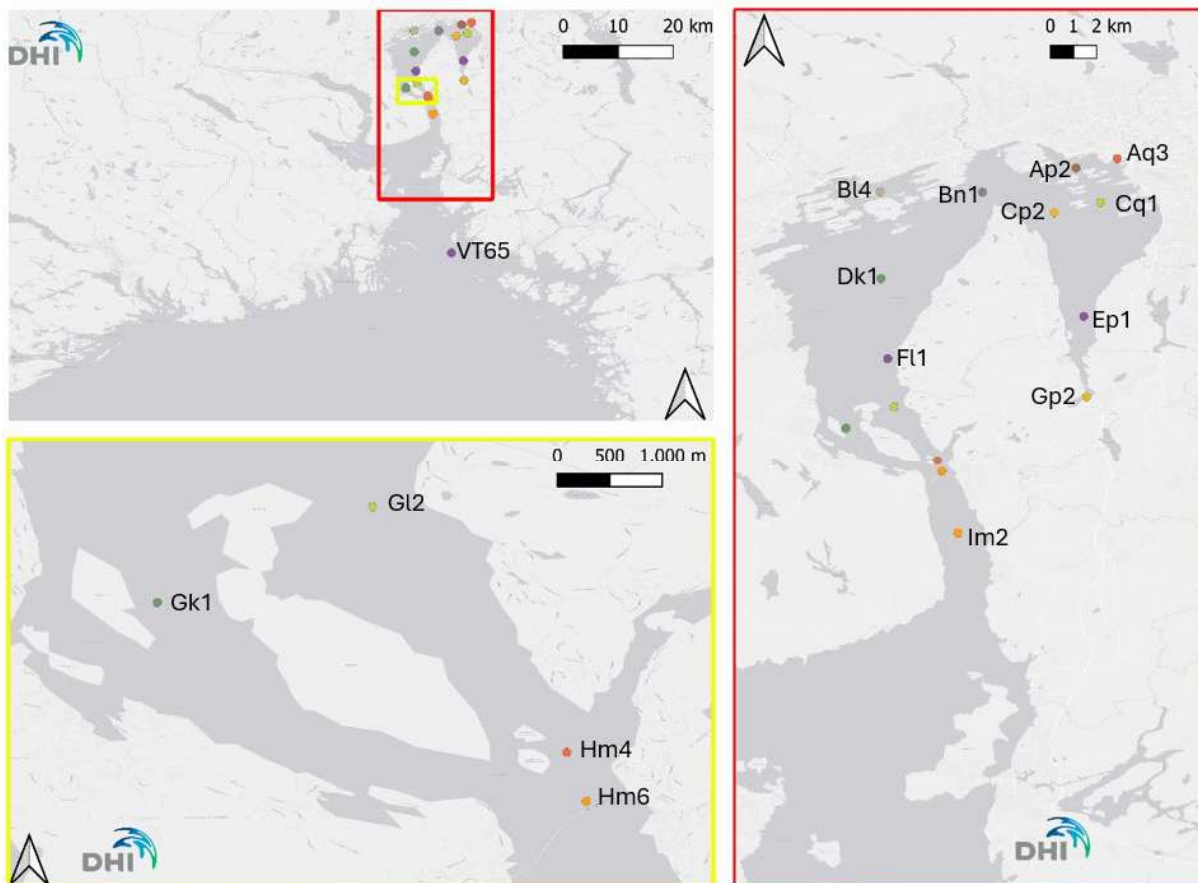
I Figur A- 63 – Figur A- 67 er tidsserien for salinitet for top - bottom (2 m og 150 m), 10 m, 20 m, 50 m, 100 m og 150 m, mens det for de samme dybdene for temperatur er vist i Figur A- 69 – Figur A- 73, men 150 m inngår her kun i top-bot-plottet.. Det er også valgt ut utvalgte tidspunkt med profil, hvor hele vannsøylen er vist for temperatur og salinitet, dette kan en se i Figur A- 74 – Figur A- 81.

Sammenligningene viser at modellen i stor grad gjenskaper den observerte saliniteten på en tilfredsstillende måte. For temperatur er samsvaret godt i de øverste 20 meterne, men modellen har en tendens til å simulere noe høyere temperaturer i de dypere vannmassene. Dette antas å skyldes noe for varme grensebetingelser i dypet. Likevel er temperaturavvikene små sammenlignet med variasjonene i salinitet, som er mer avgjørende for lagdeling og tetthet. De vertikale profilene viser at modellen generelt gjenskaper lagdelingen i vannsøylen på en god måte.

Modellen gjengir tydelig lagdelingen mellom overflate- og bunnvann, og variasjonene over tid stemmer godt med observasjonene. Dette inkluderer dypvannsinnsbrudd som en ser i måledata, og som modellen fanger opp i simuleringen.

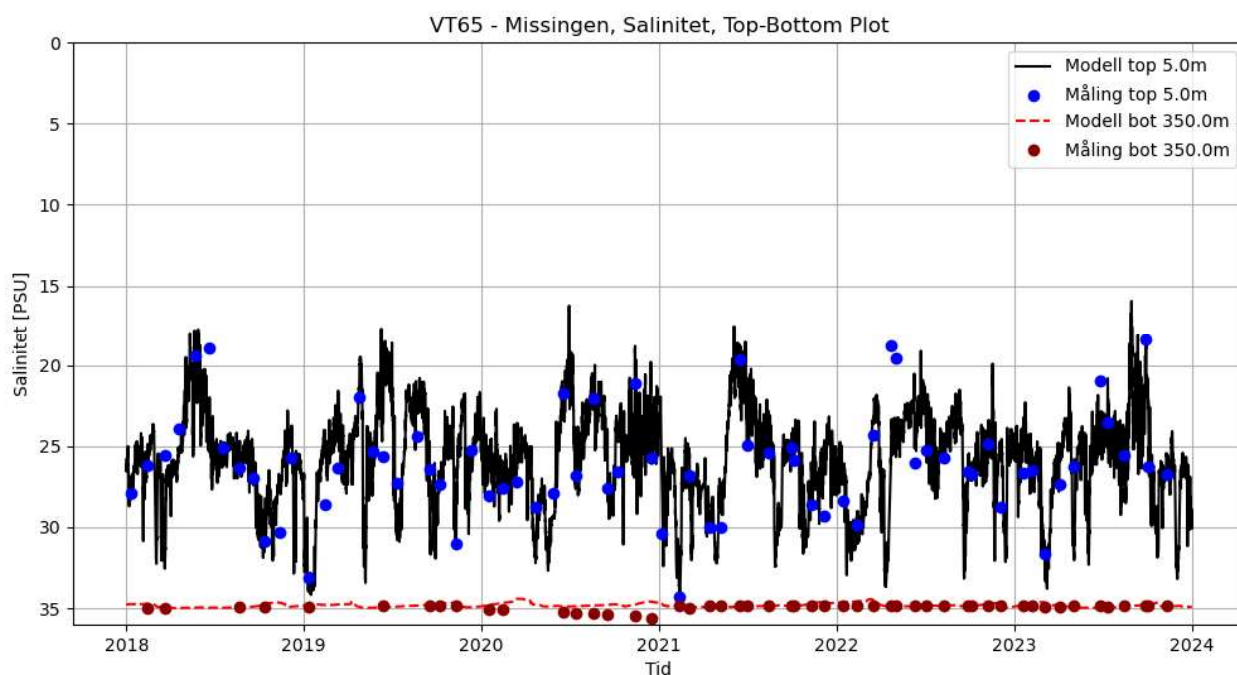
Ved Ep1, innerst i Bunnefjorden, tar det noe tid før modellen samsvarer fullt ut med observasjonene. Dette skyldes at det tar tid å etablere stabile dypvannsforhold i dette området, og en tilsvarende forsinkelse må forventes også i scenarioene.

Ved stasjon Ep1 innerst i Bunnefjorden observeres at modellen trenger noe tid (1–2 år) for å etablere stabile initialbetingelser. Dette er forventet for lukkede eller delvis lukkede bassengområder med lav utskiftning og bør også tas i betraktning ved tolkning av resultater fra scenarioer. Tilsvarende treghet i systemet gjelder trolig også for utvikling av lagdeling og dypvannsfornyelse i scenarioanalysene.

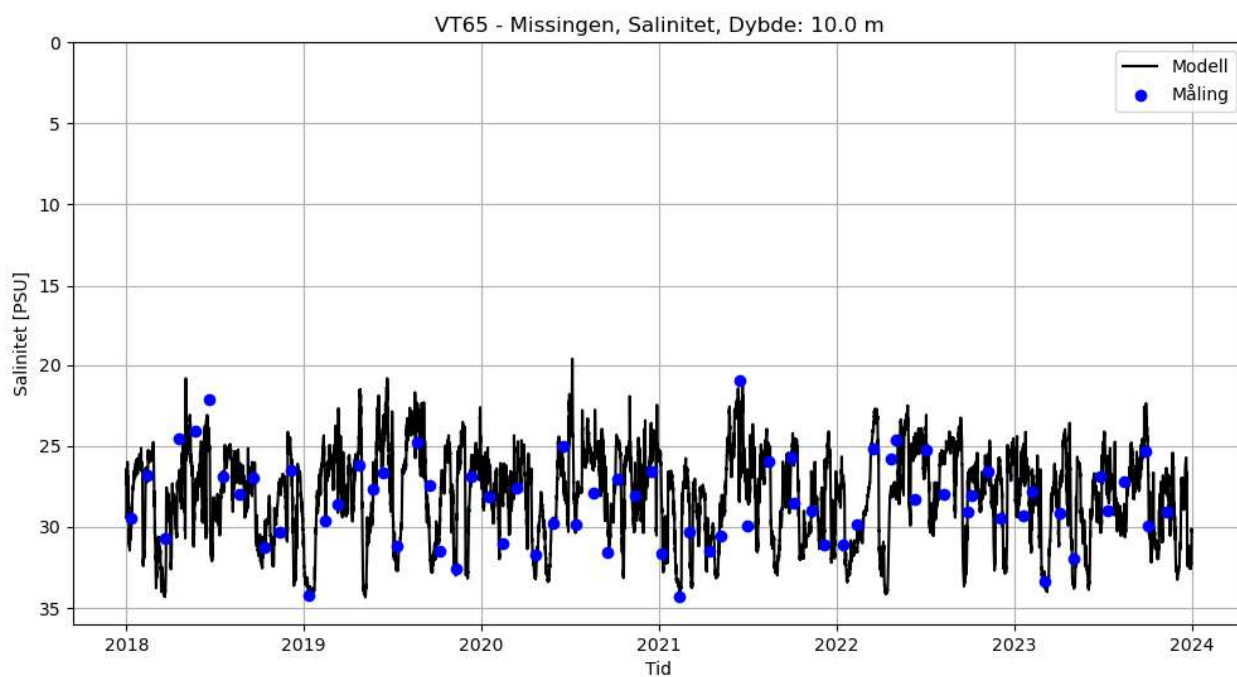


Figur A- 11 Målestasjoner for salinitet og temperatur, fra måleprogrammene Overvåkning og Indre Oslofjord og Overvåkning av Ytre Oslofjord, og er hentet fra <https://vannmiljo.miljodirektoratet.no/>.

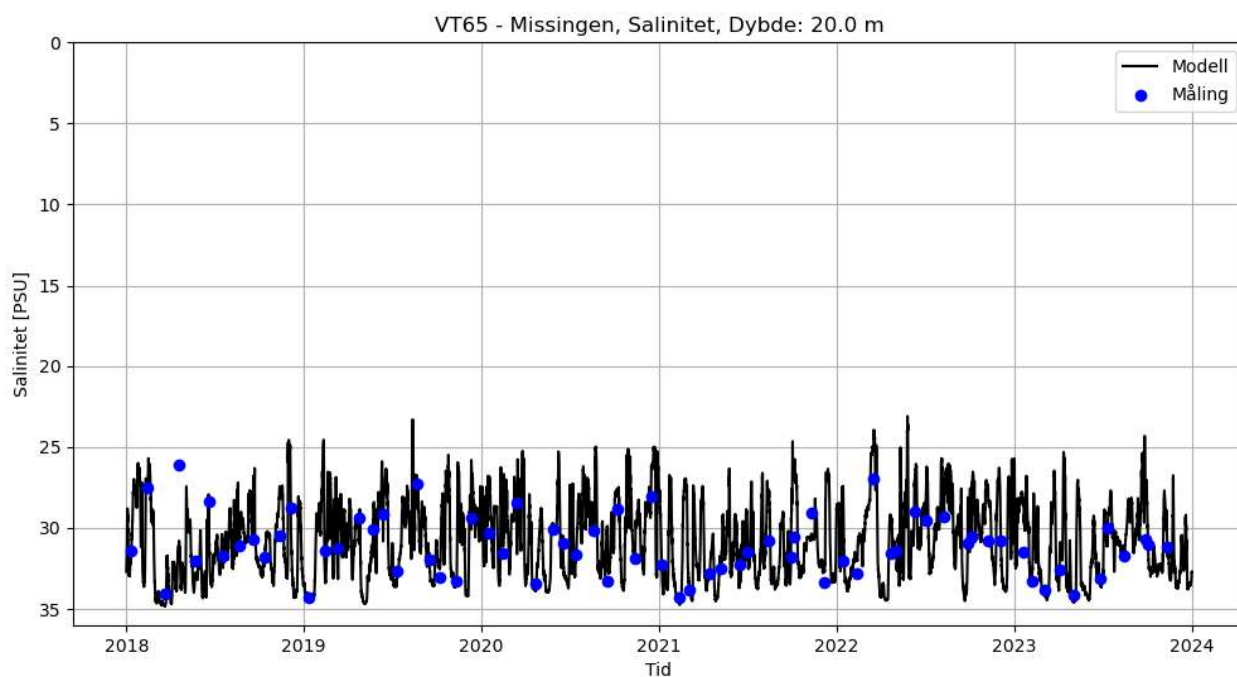
Vedlegg A.4.1 VT65 – Missingen



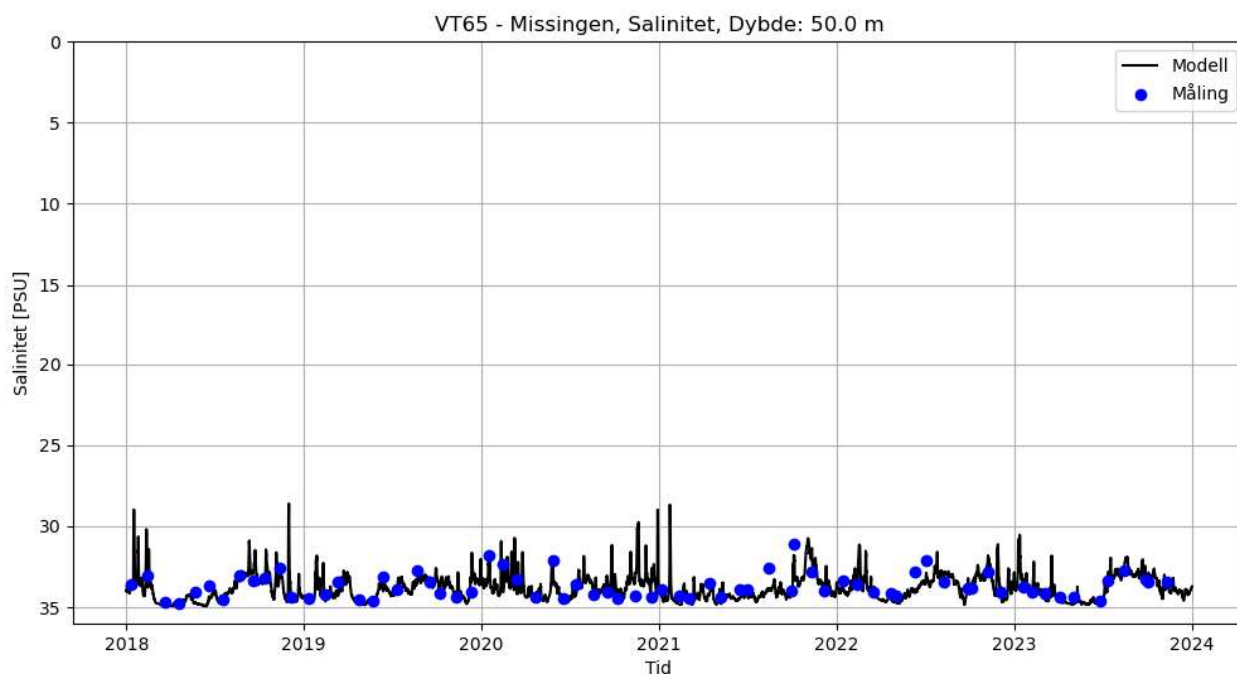
Figur A- 12 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 5 m (blå prikk for måling og sort linje for modell) og 350 m (rød prikk for måling og rødstiplet linje for modell).



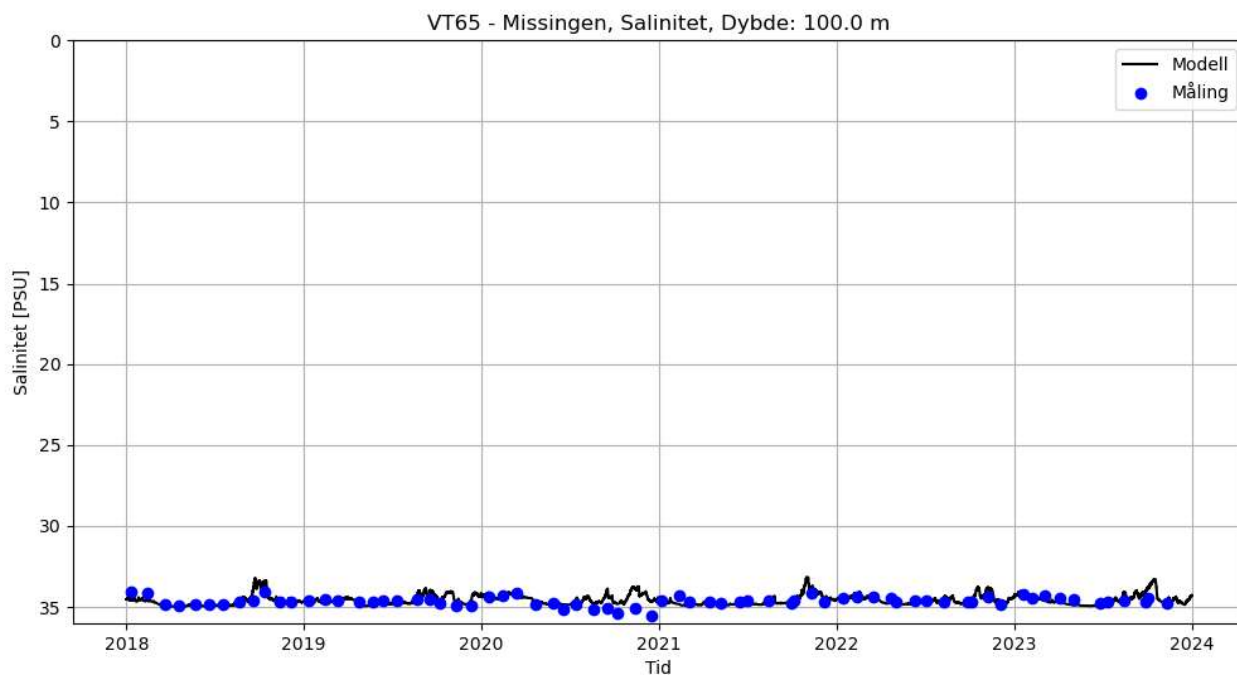
Figur A- 13 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 10 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



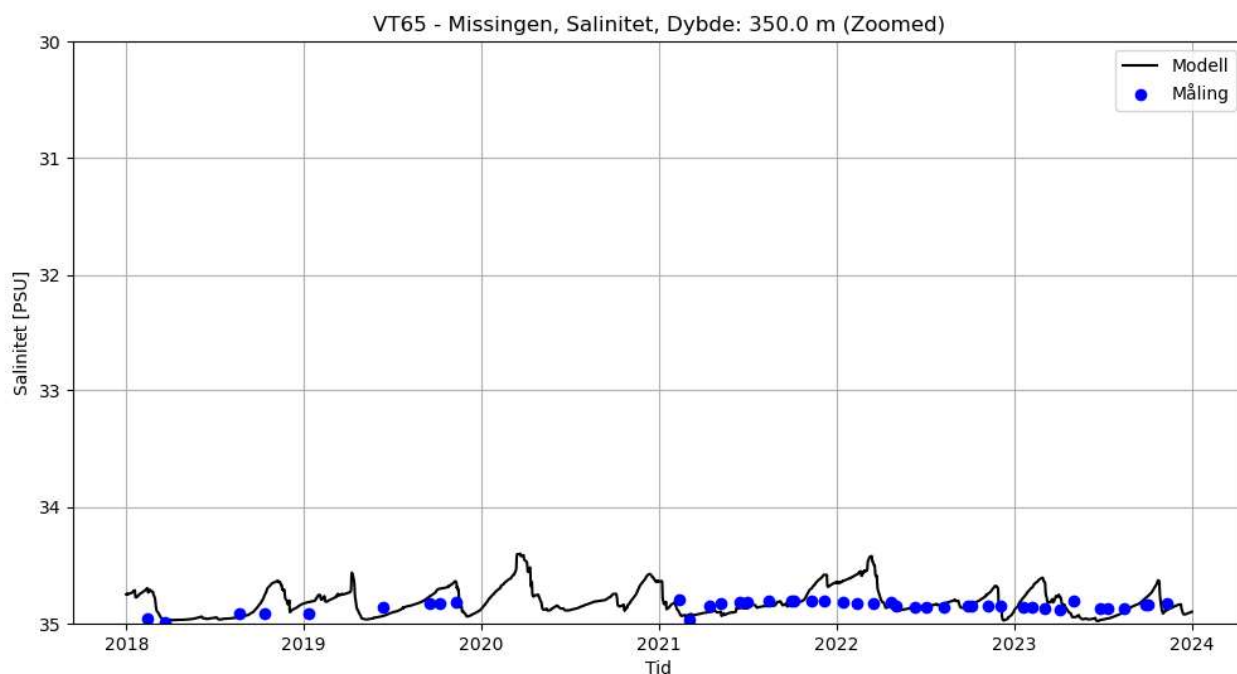
Figur A- 14 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 20 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



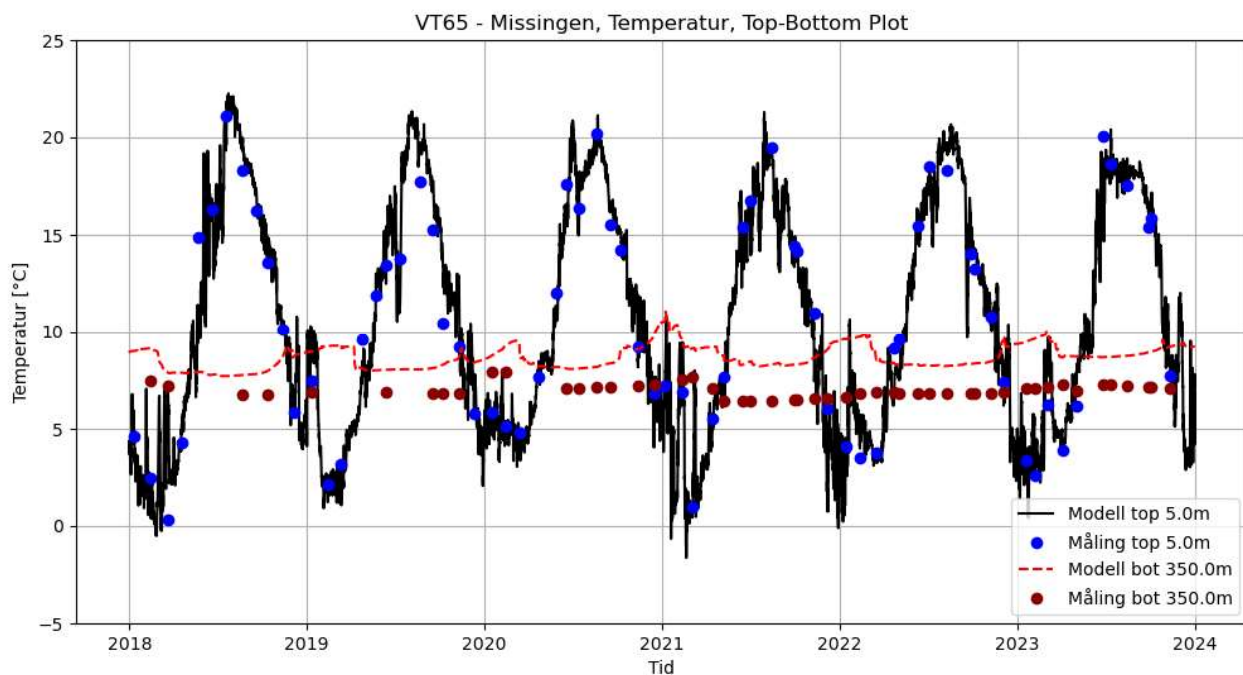
Figur A- 15 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 50 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



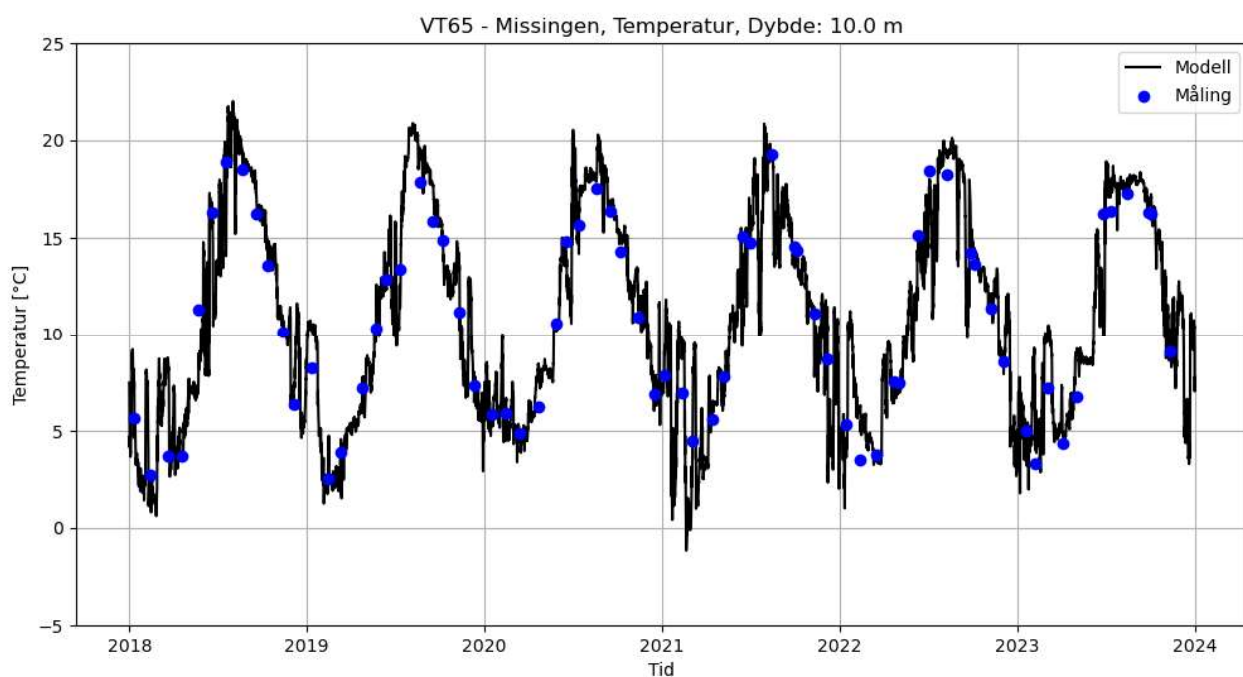
Figur A- 16 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 100 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



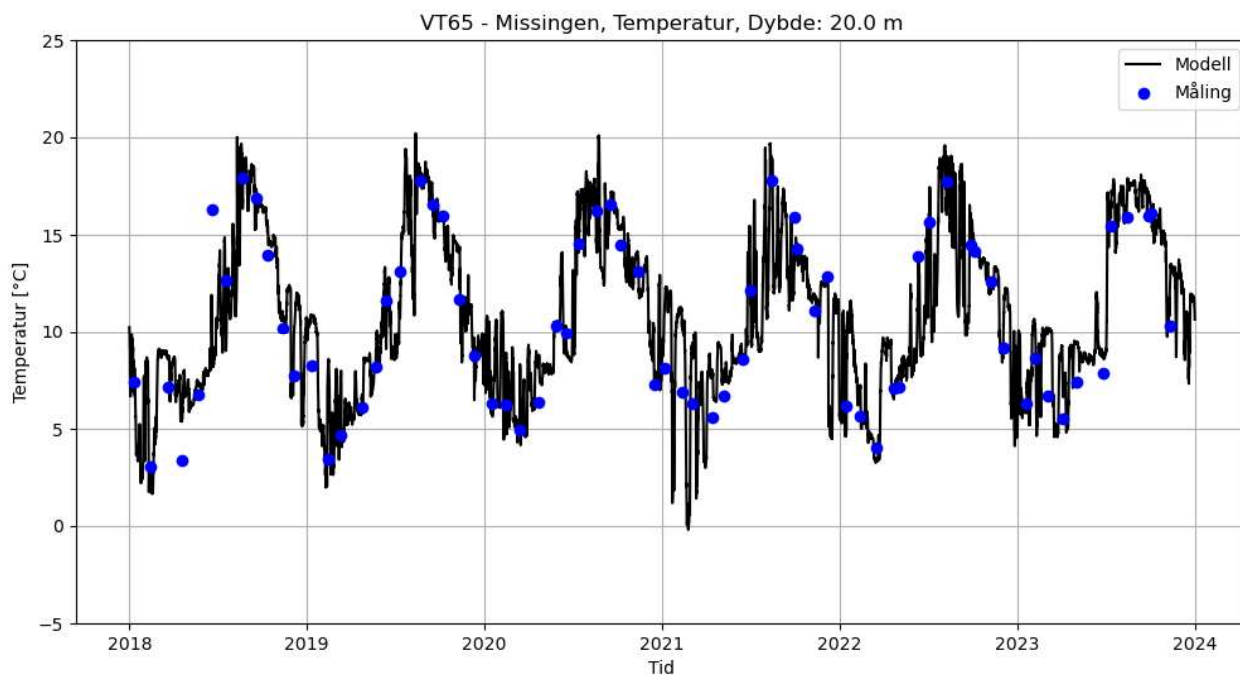
Figur A- 17 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 350 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



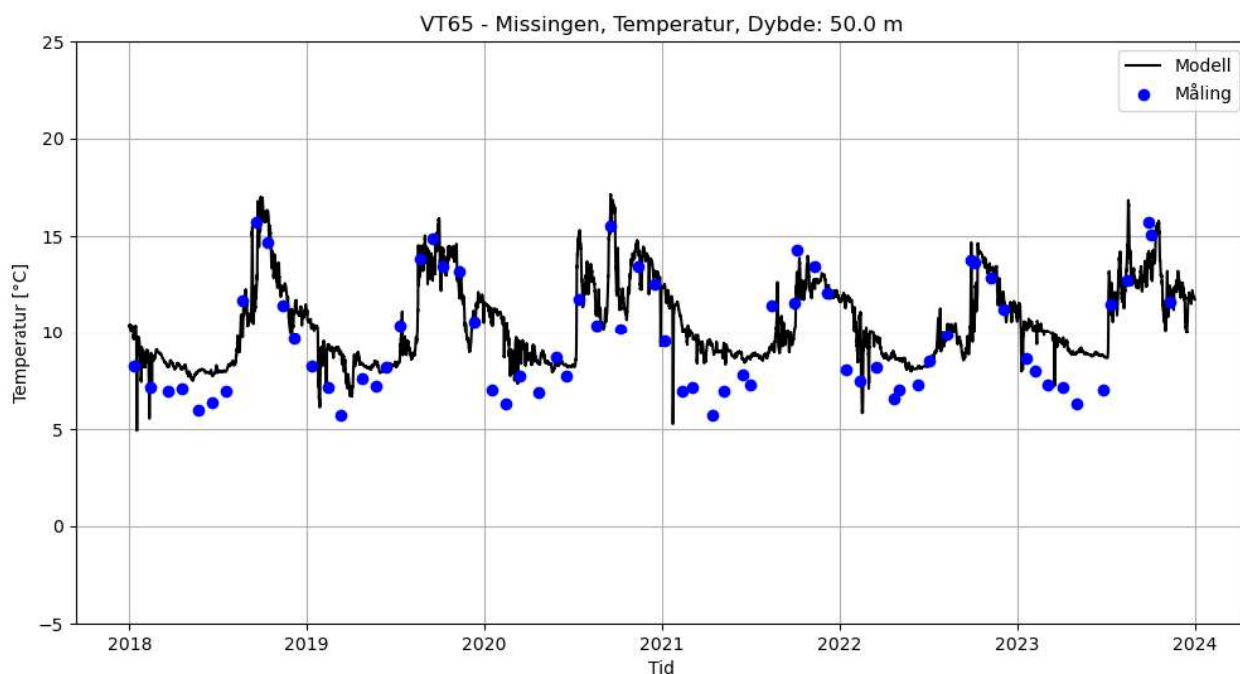
Figur A- 18 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 5 m (blå prikk for måling og sort linje for modell) og 350 m (rød prikk for måling og rødstiplet linje for modell).



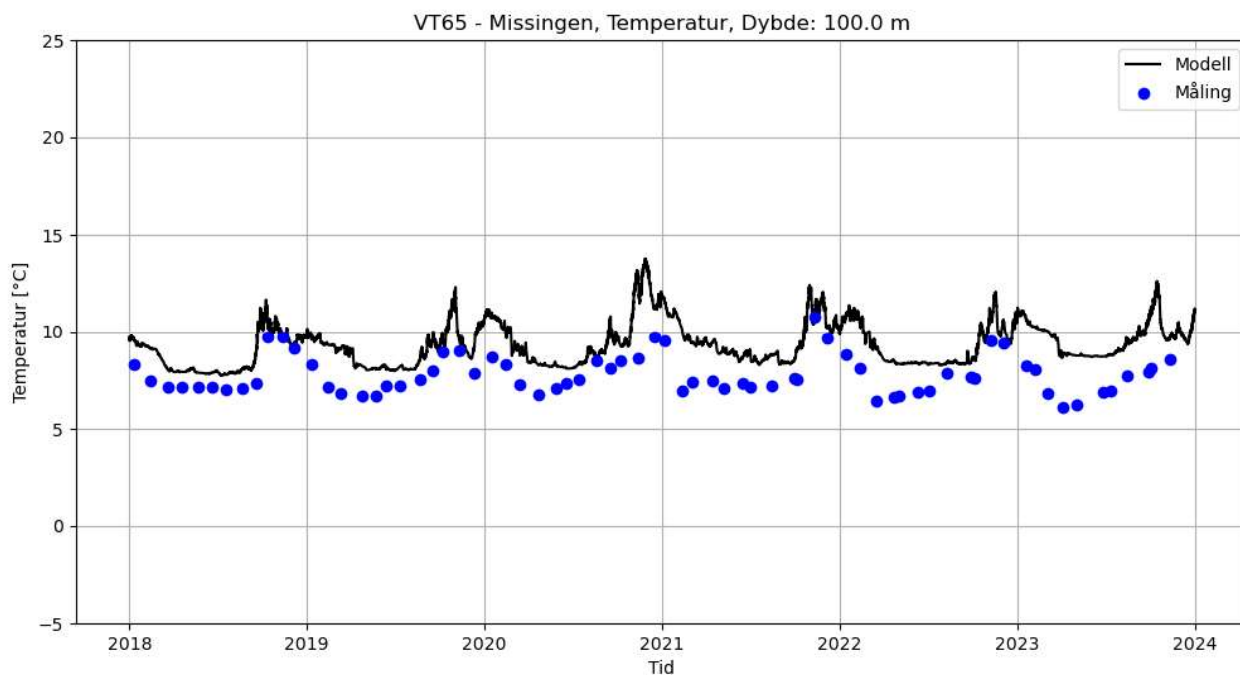
Figur A- 19 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 10 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



Figur A- 20 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 20 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).

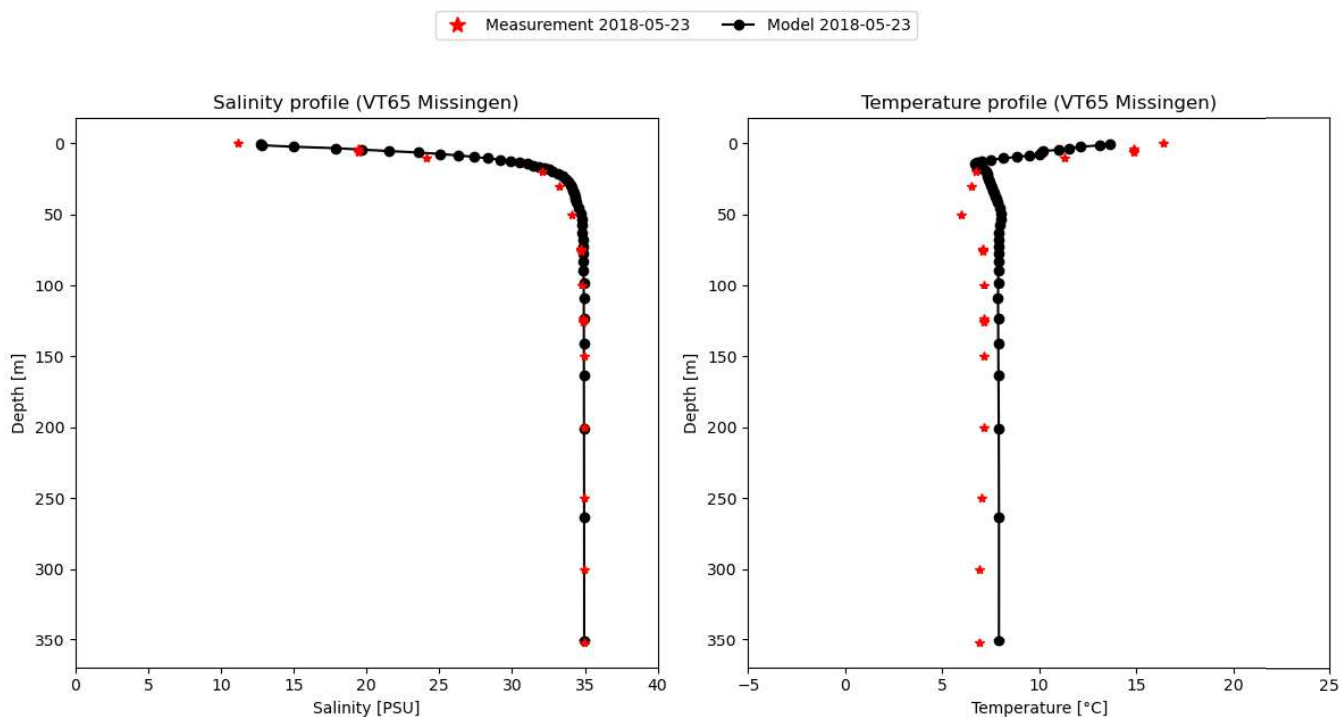


Figur A- 21 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 50 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



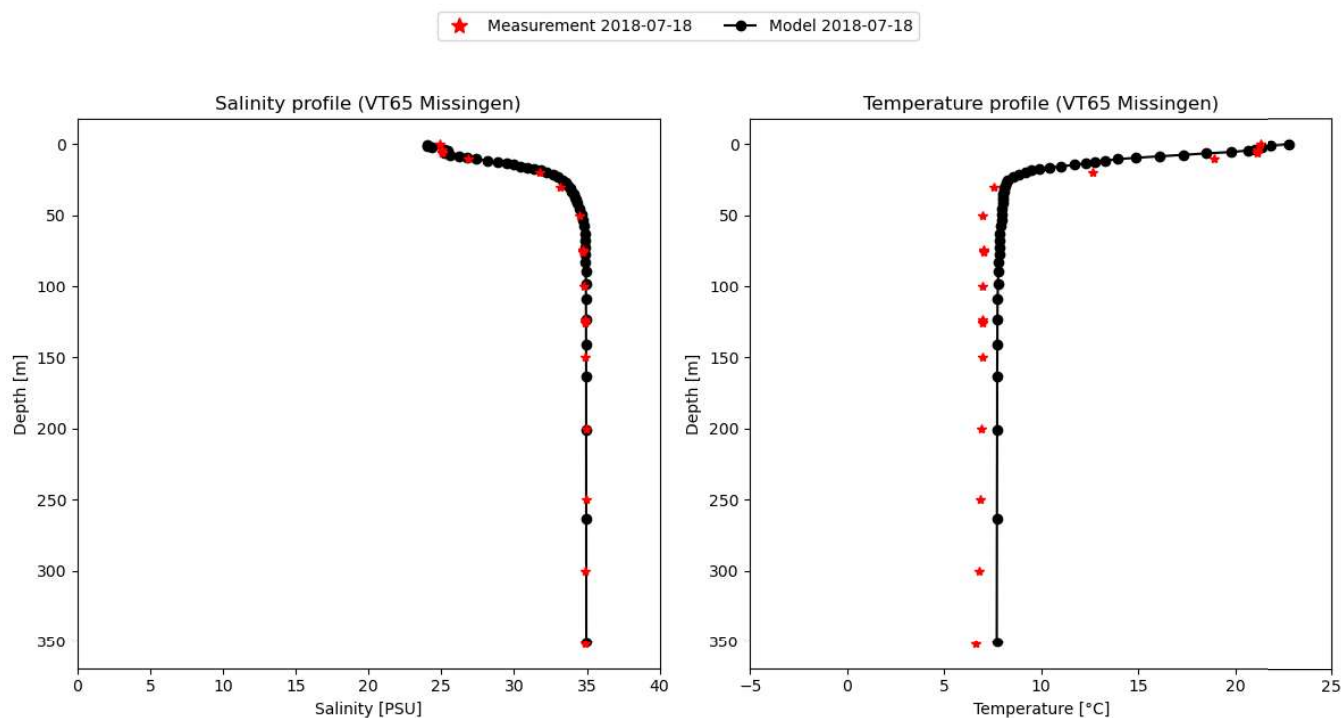
Figur A- 22 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 100 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).

VT65 - Missingen - 2018-05-23



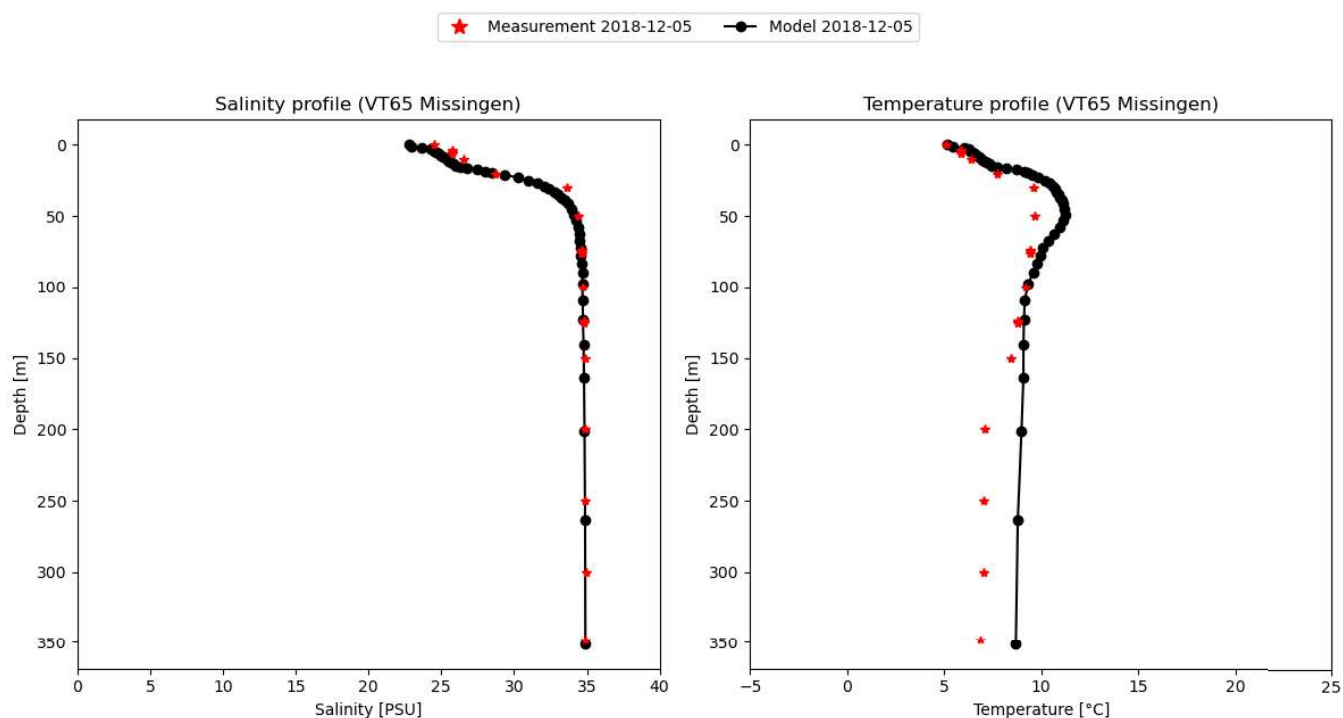
Figur A- 23 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 23.05.2018 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

VT65 - Missingen - 2018-07-18



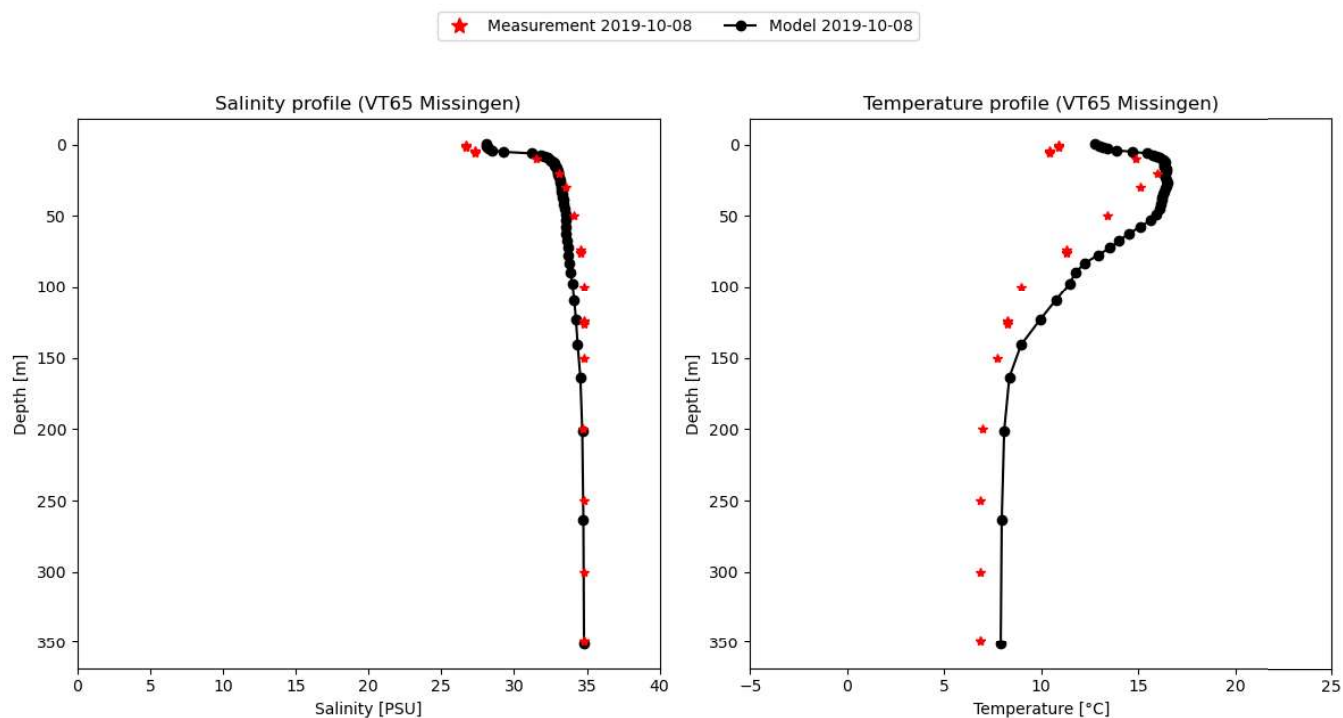
Figur A- 24 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 18.07.2018 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

VT65 - Missingen - 2018-12-05



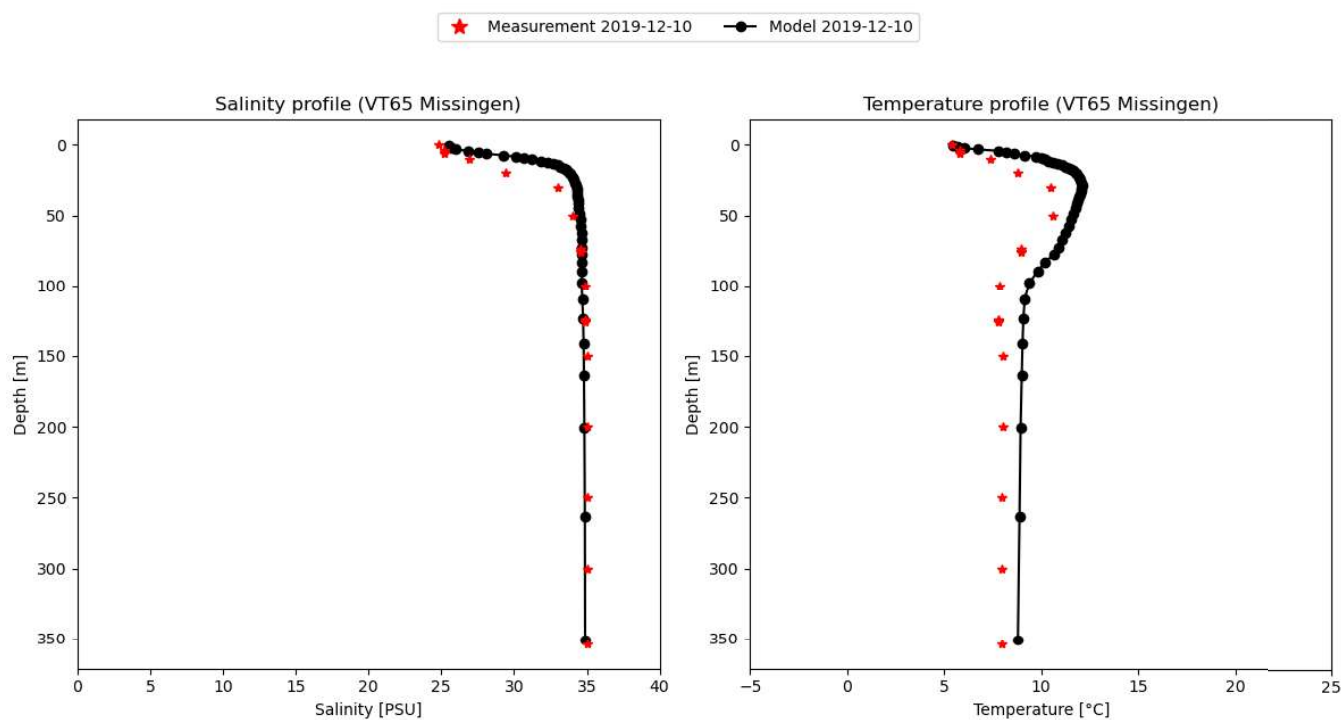
Figur A- 25 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 05.12.2018 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

VT65 - Missingen - 2019-10-08



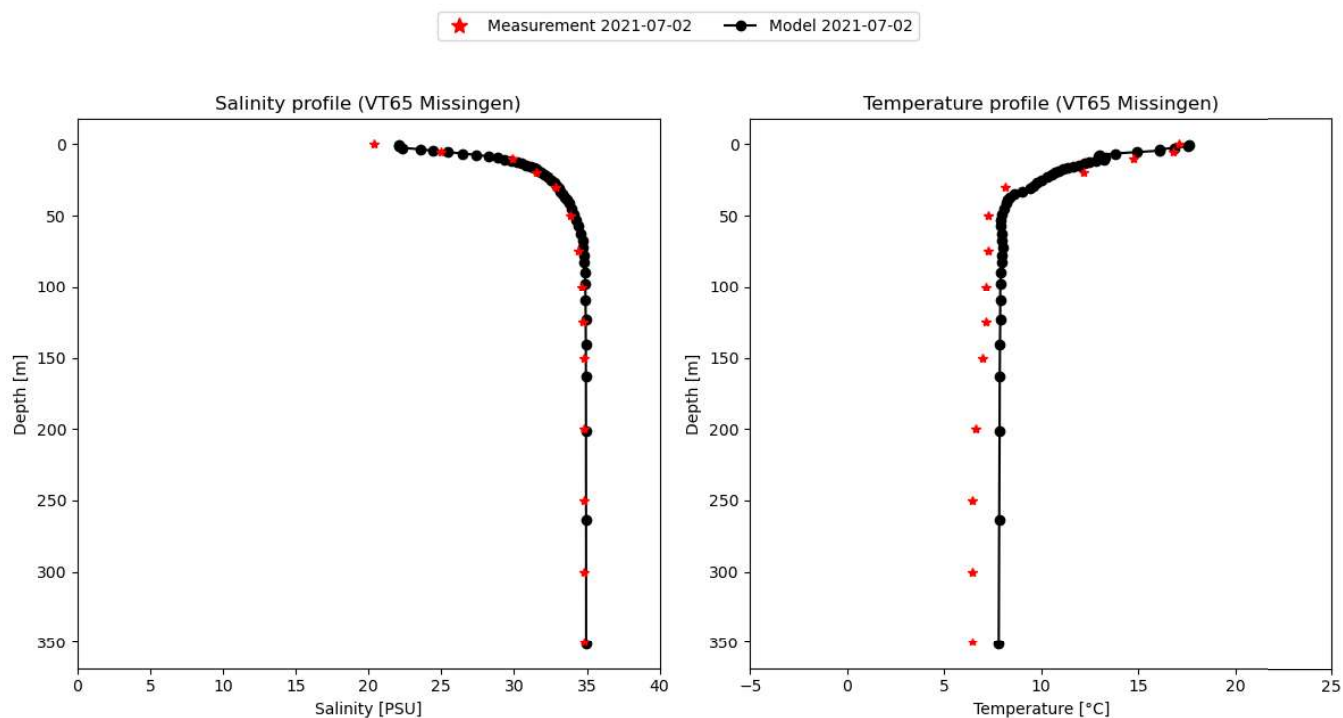
Figur A- 26 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 08.10.2019 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

VT65 - Missingen - 2019-12-10



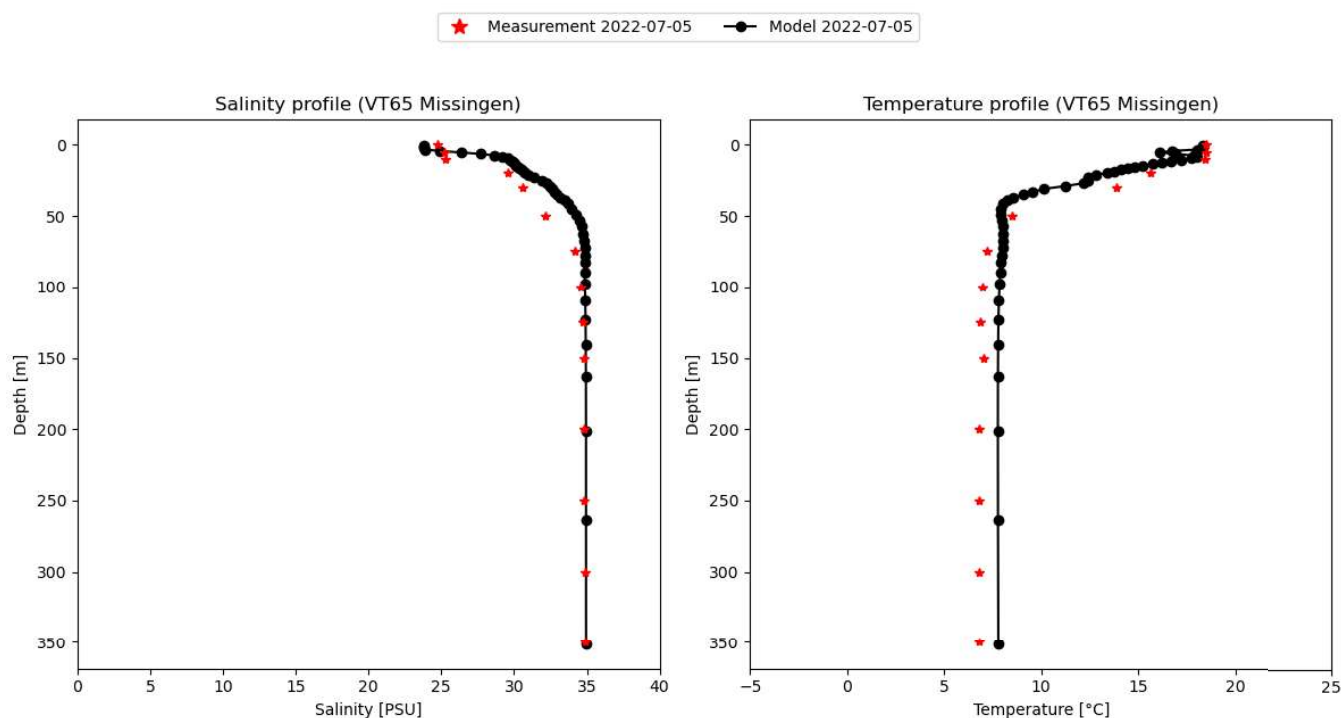
Figur A- 27 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 10.12.2019 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

VT65 - Missingen - 2021-07-02



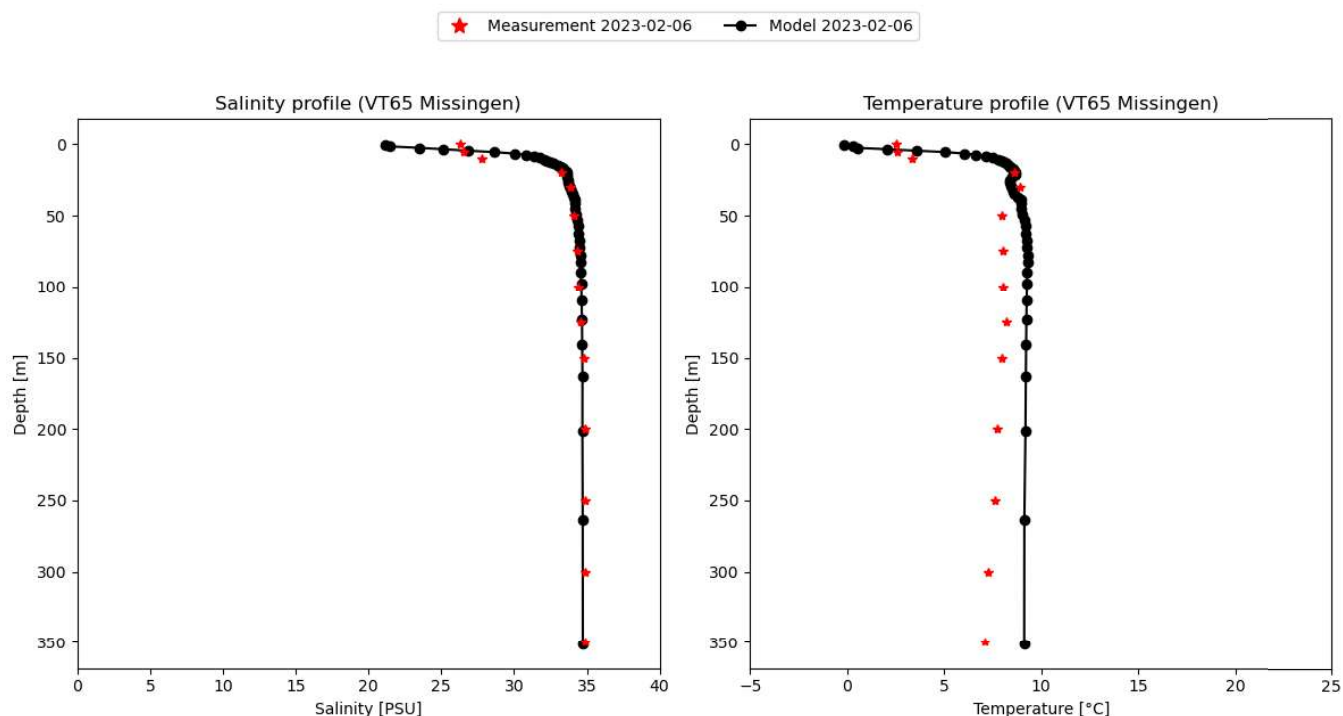
Figur A- 28 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 02.07.2021 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

VT65 - Missingen - 2022-07-05



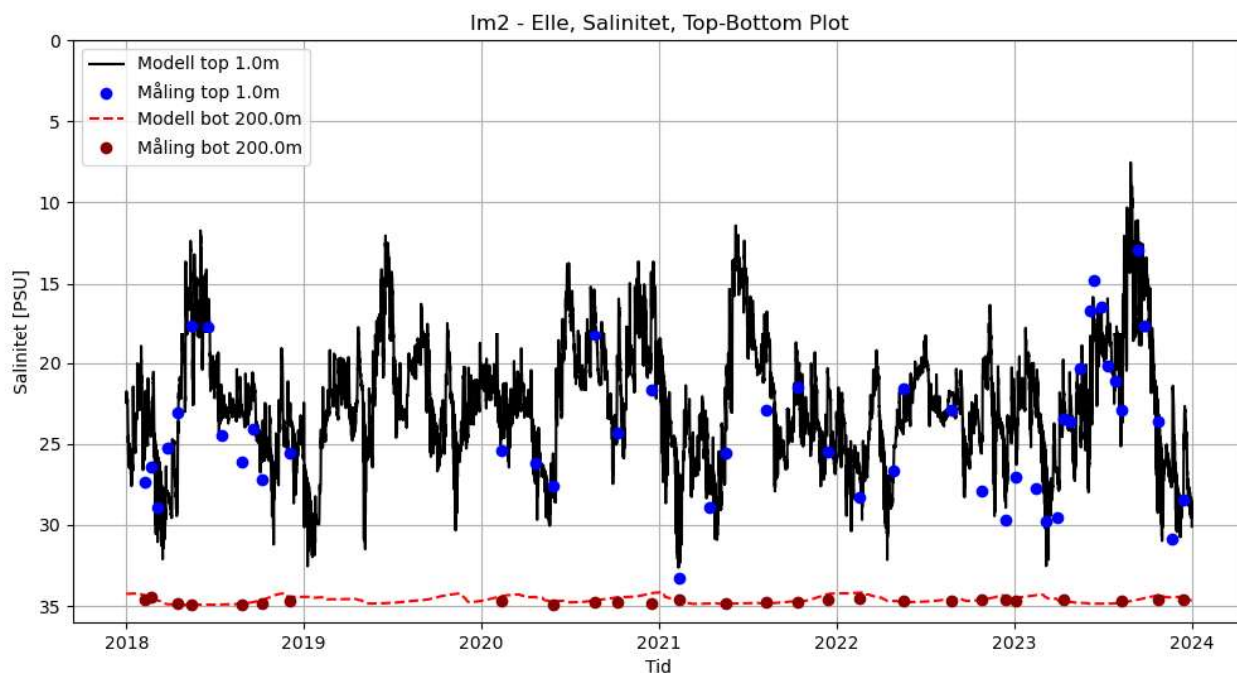
Figur A- 29 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 05.07.2022 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

VT65 - Missingen - 2023-02-06

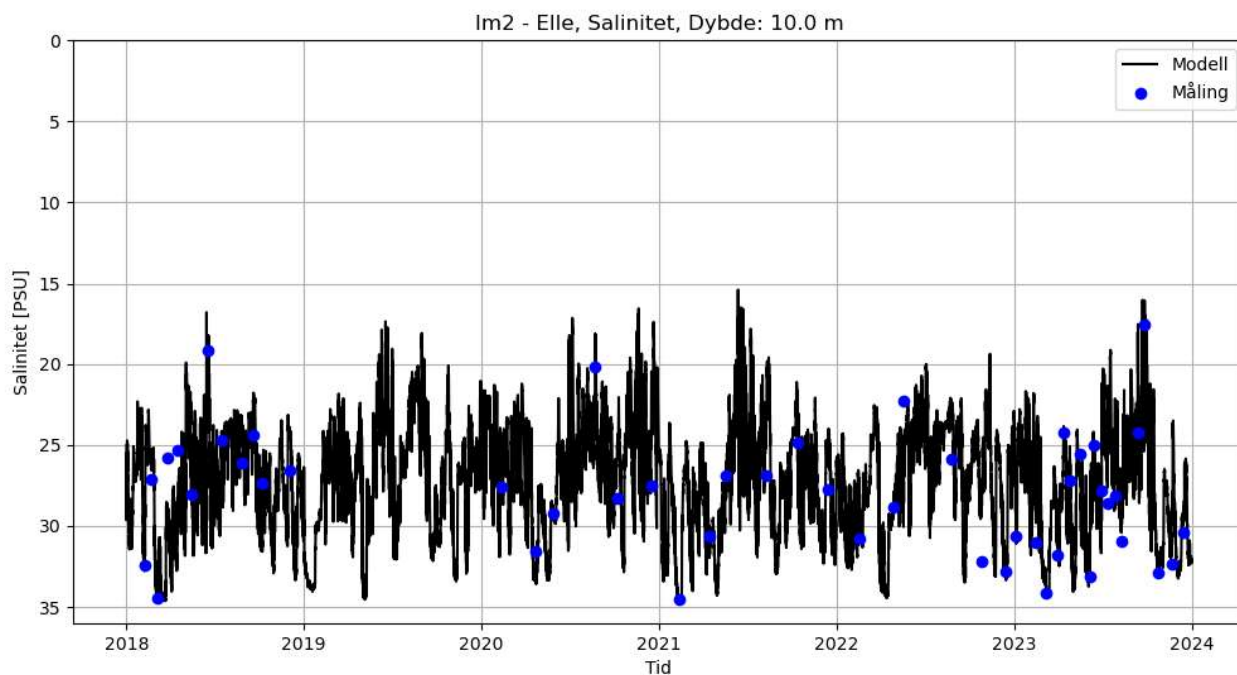


Figur A- 30 Målestasjon VT65 i ytre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 06.02.2023 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

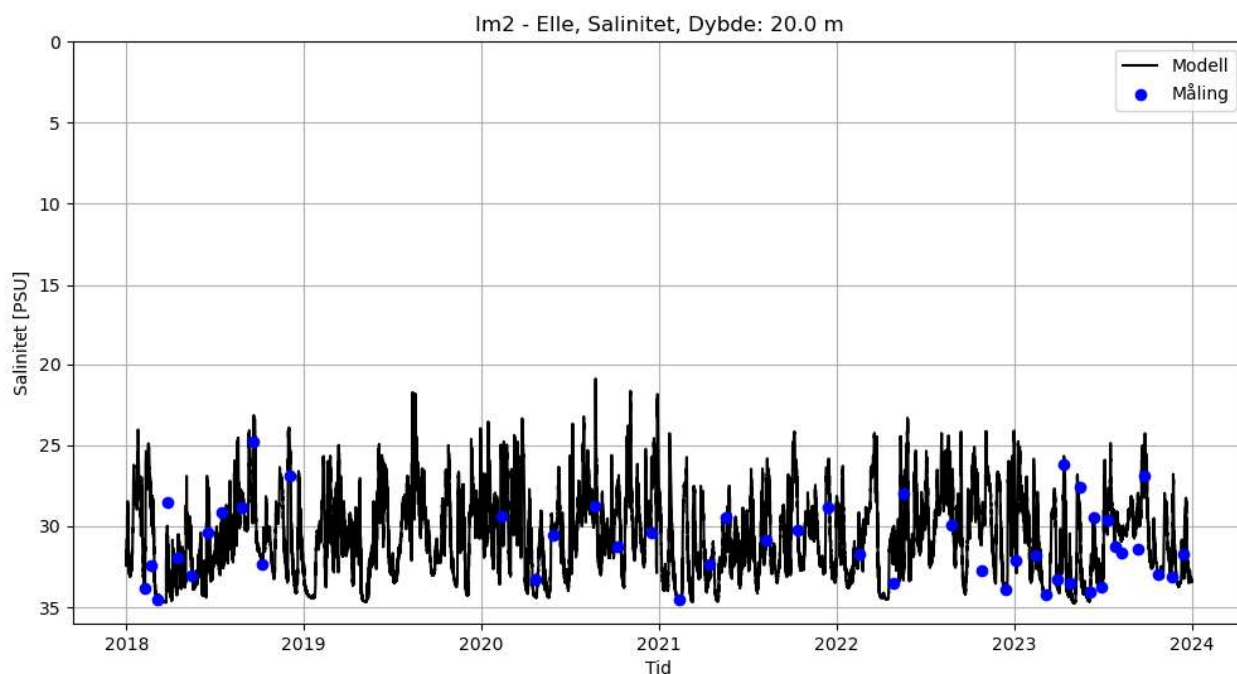
Vedlegg A.4.2 Im2 – Elle



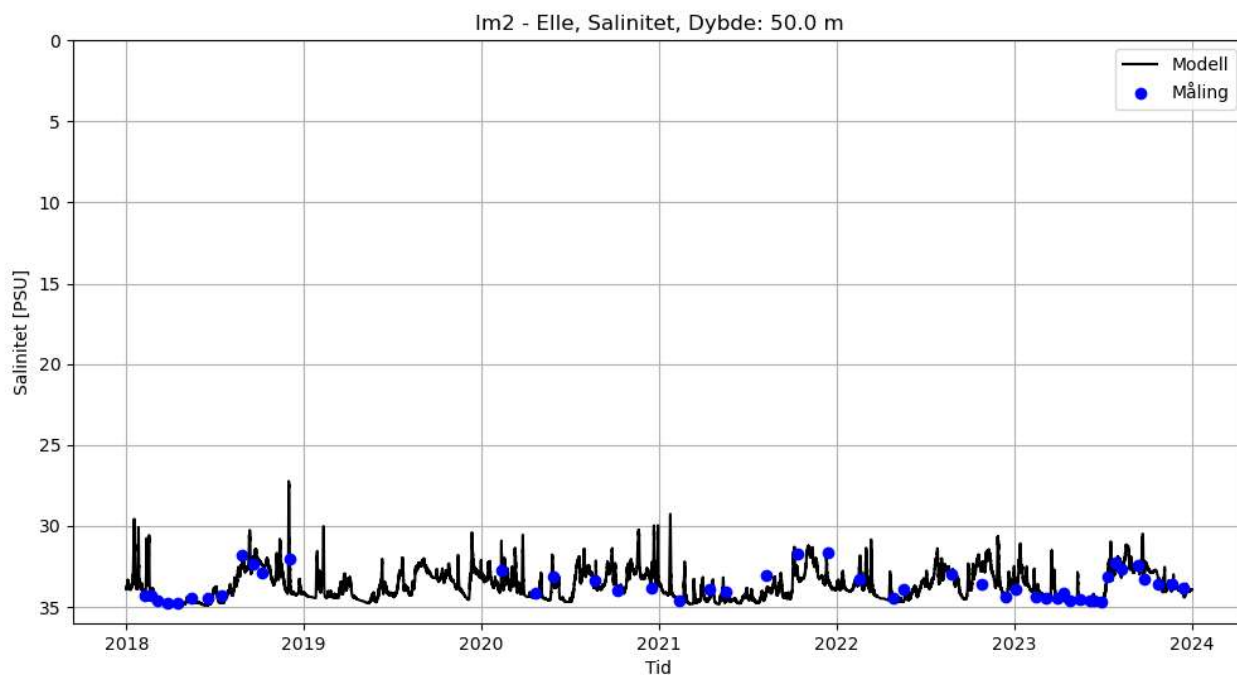
Figur A- 31 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 1 m (blå prikk for måling og sort linje for modell) og 200 m (rød prikk for måling og rødstiplet linje for modell).



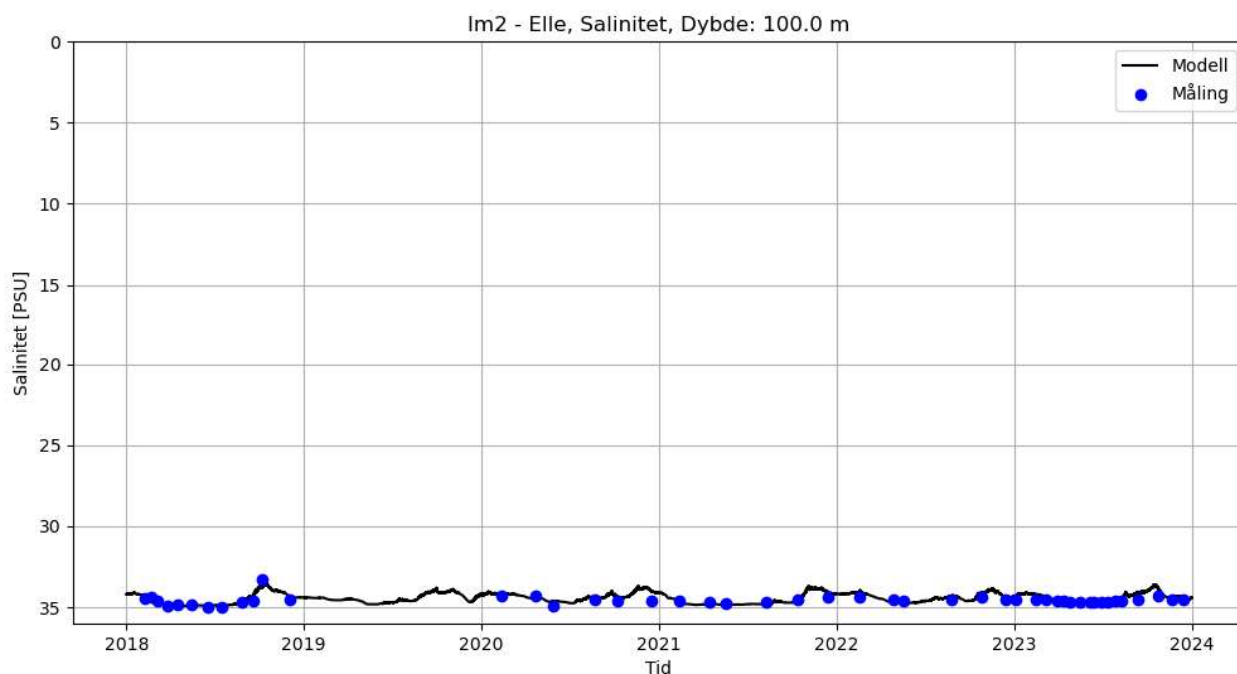
Figur A- 32 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 10 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



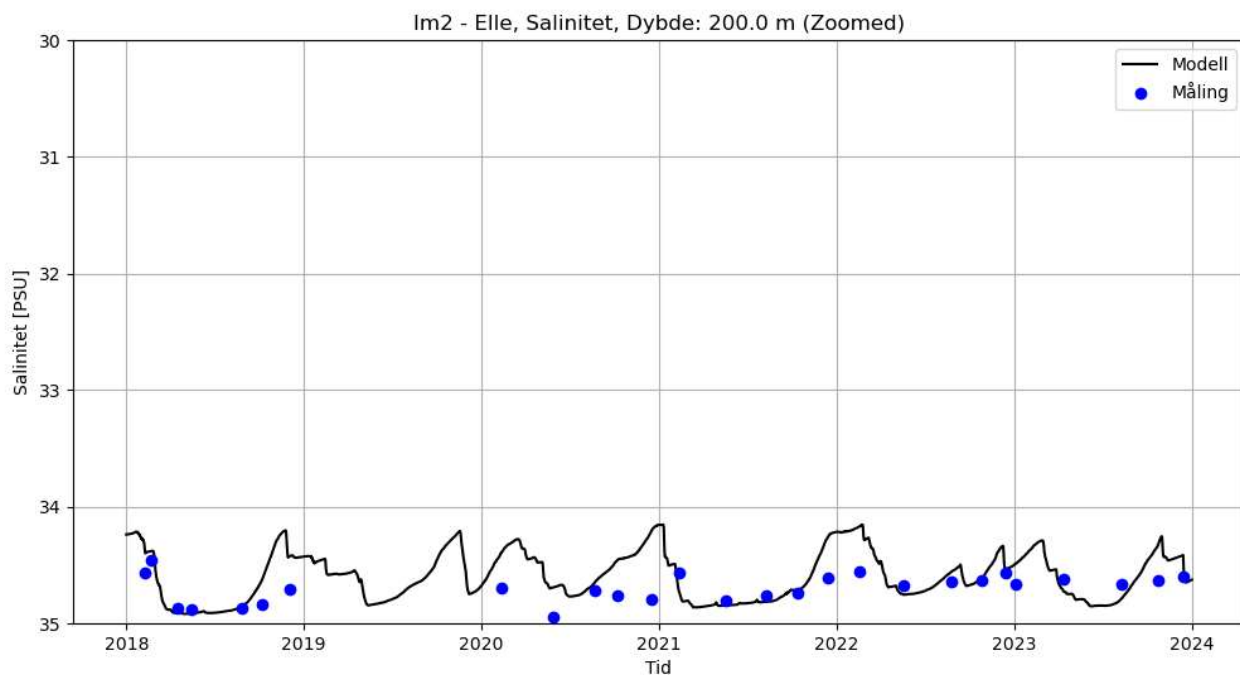
Figur A- 33 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 20 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



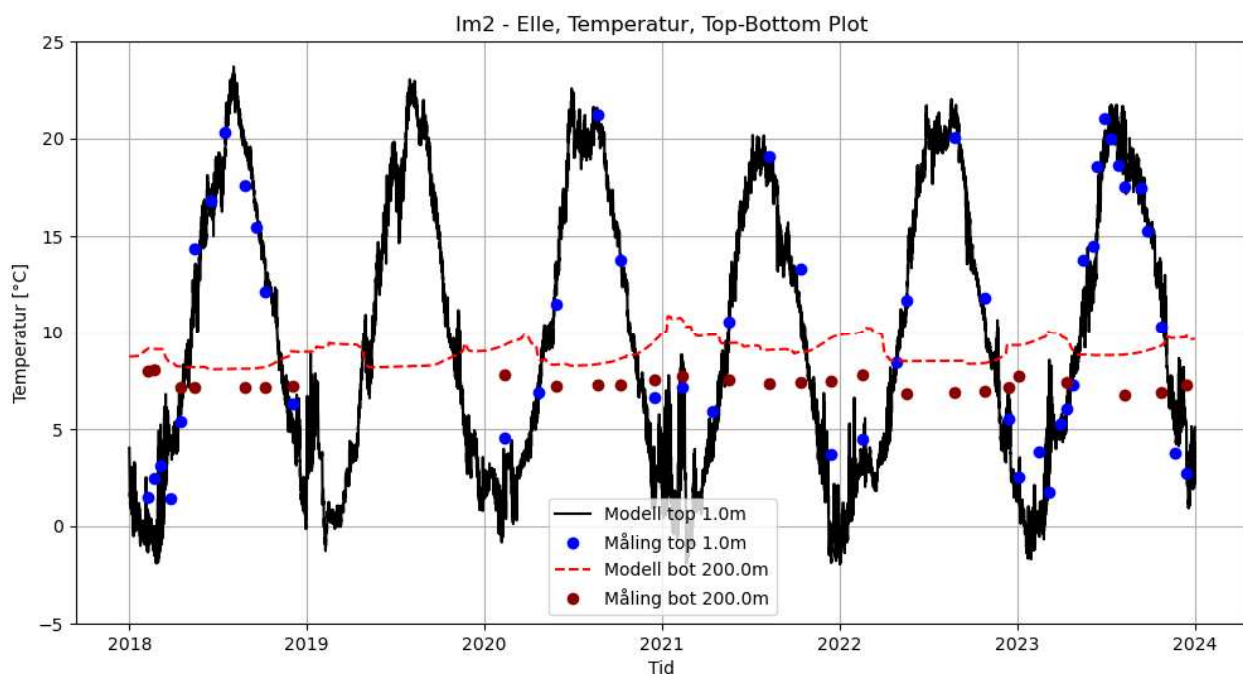
Figur A- 34 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 50 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



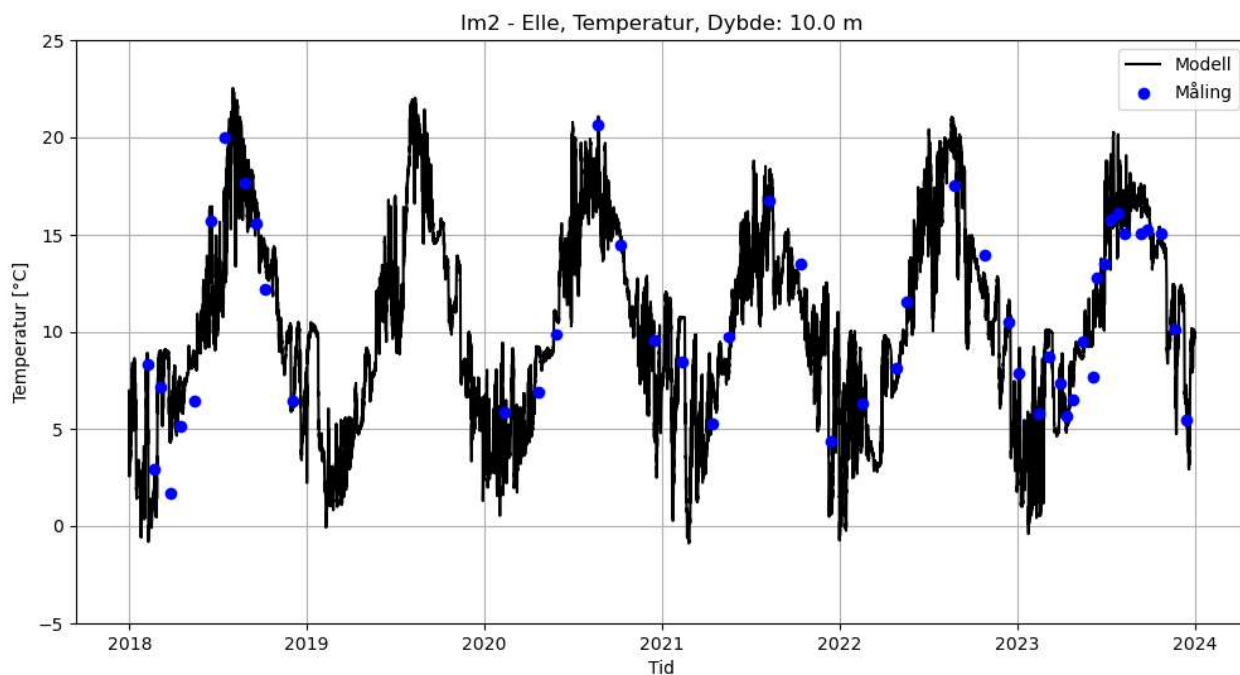
Figur A- 35 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 100 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



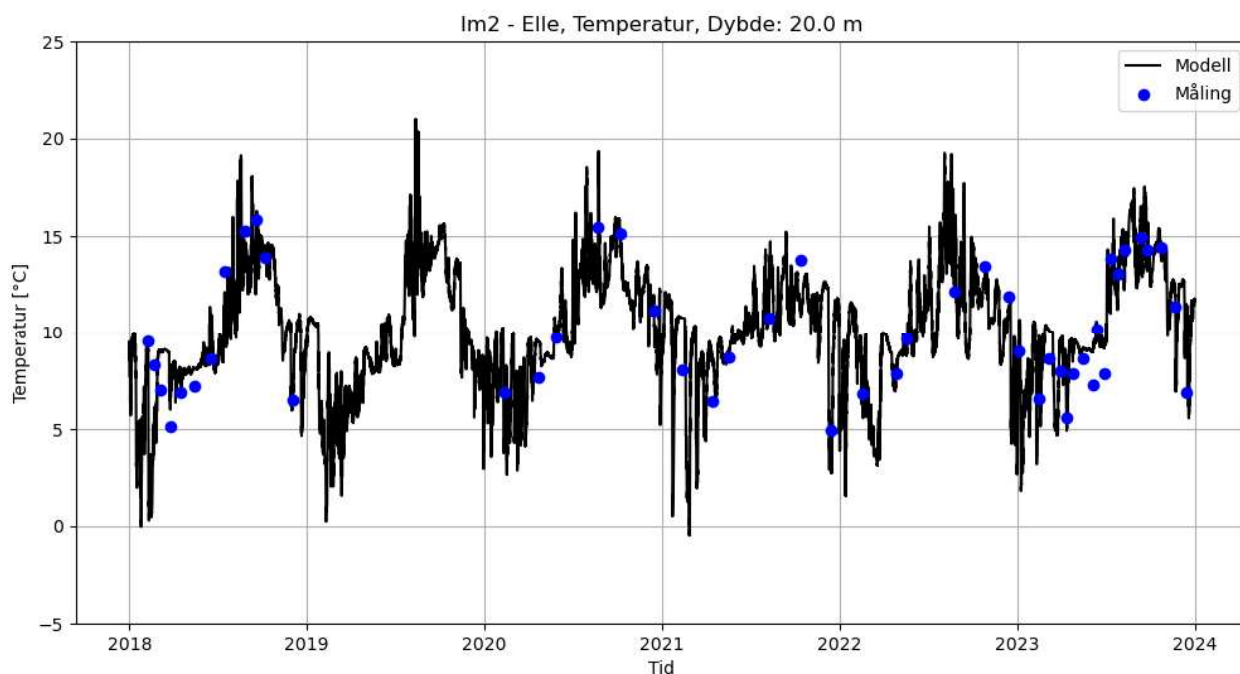
Figur A- 36 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 200 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



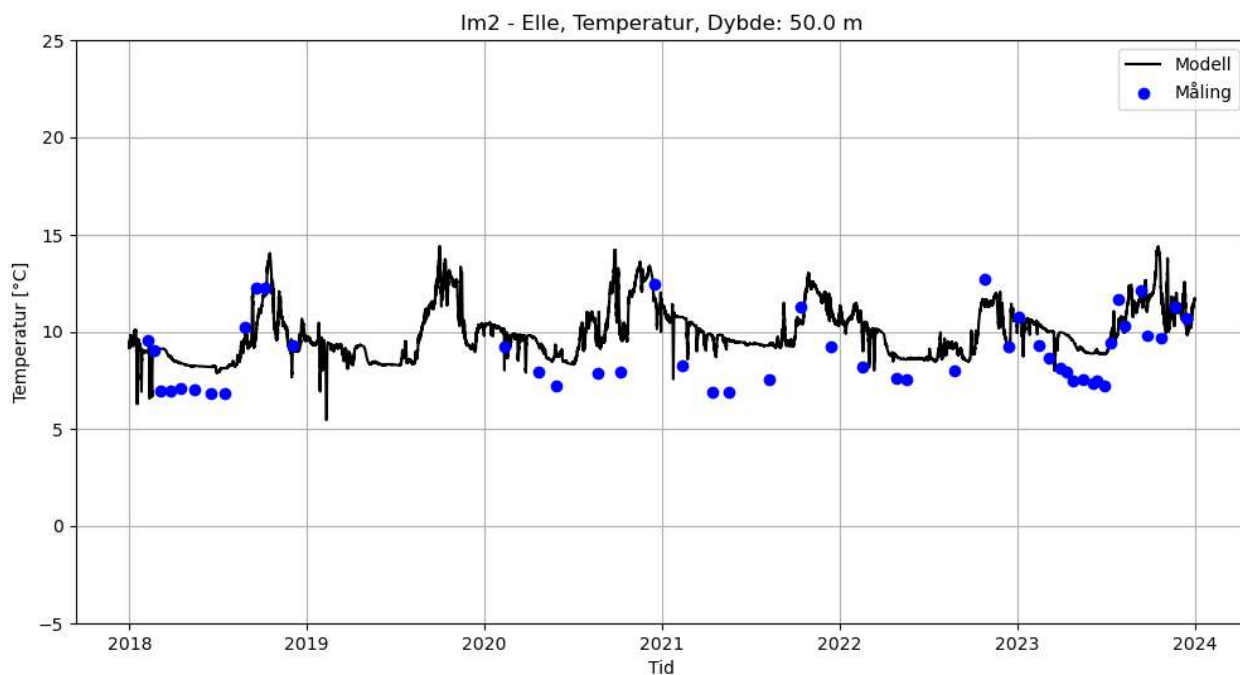
Figur A- 37 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 1 m (blå prikk for måling og sort linje for modell) og 200 m (rød prikk for måling og rødstiplet linje for modell).



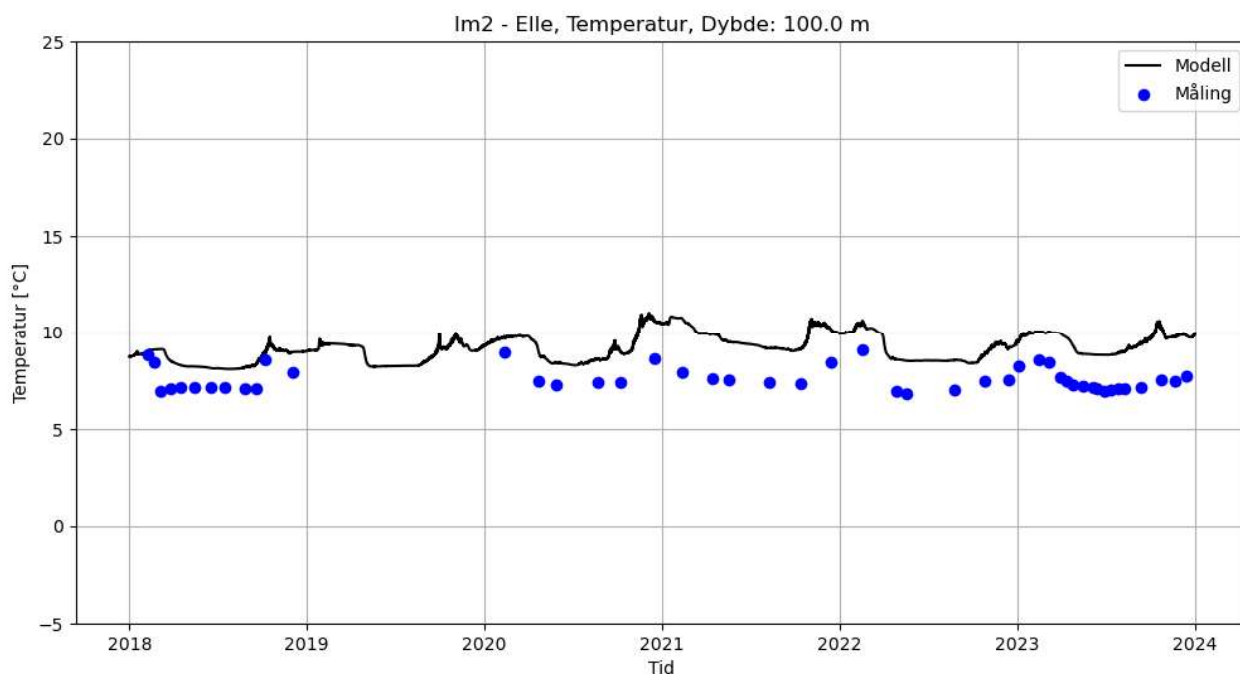
Figur A- 38 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 10 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



Figur A- 39 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 20 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).

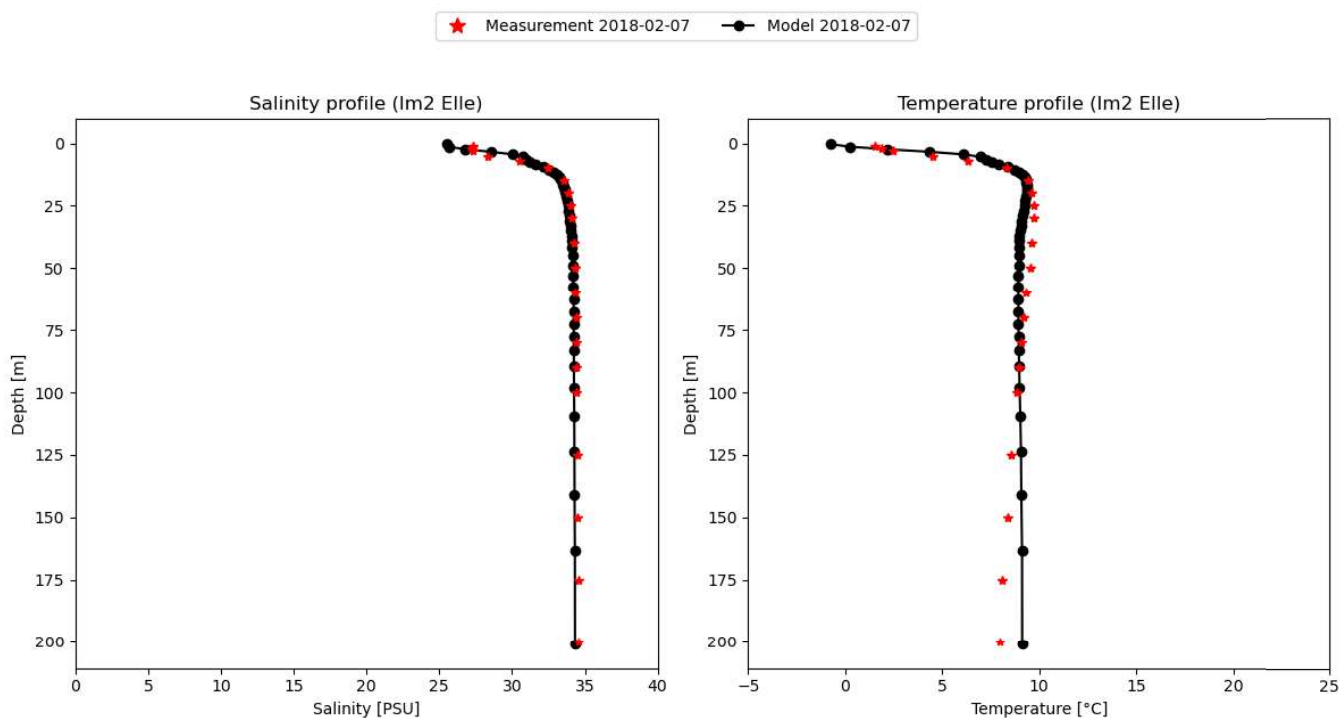


Figur A- 40 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 50 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



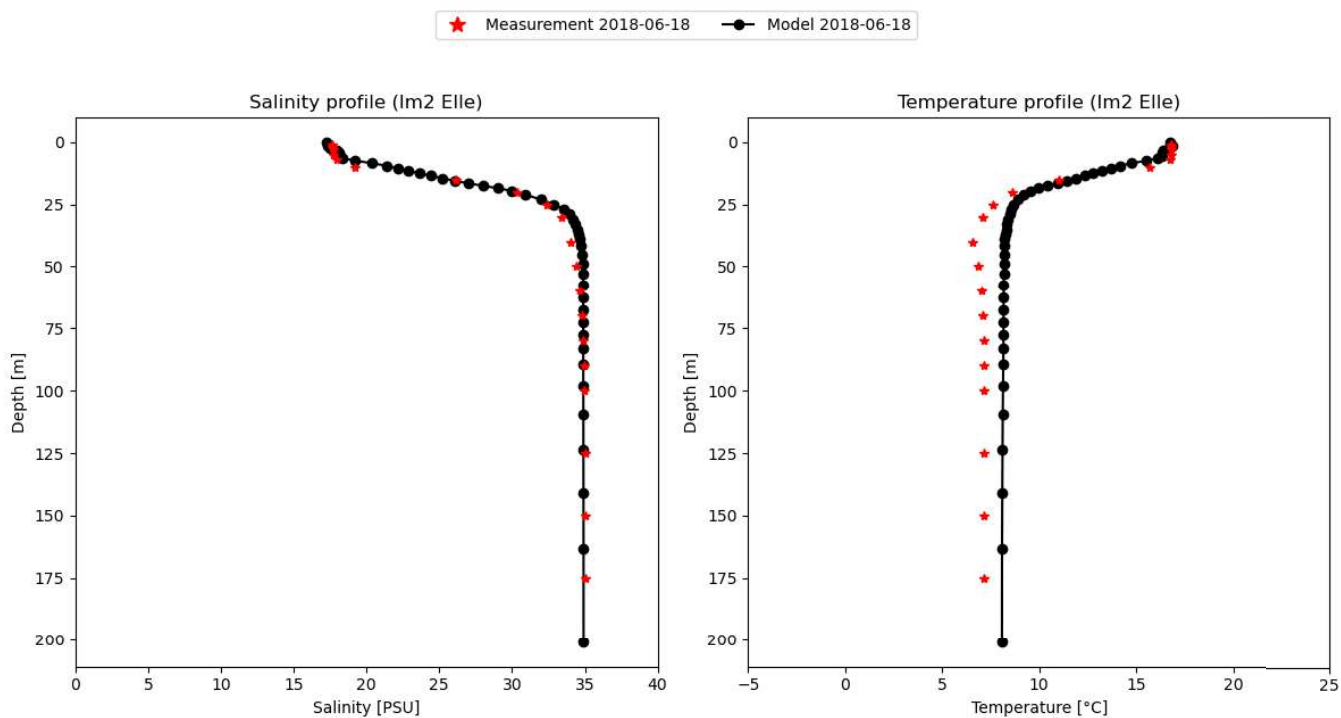
Figur A- 41 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 100 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).

Im2 - Elle - 2018-02-07



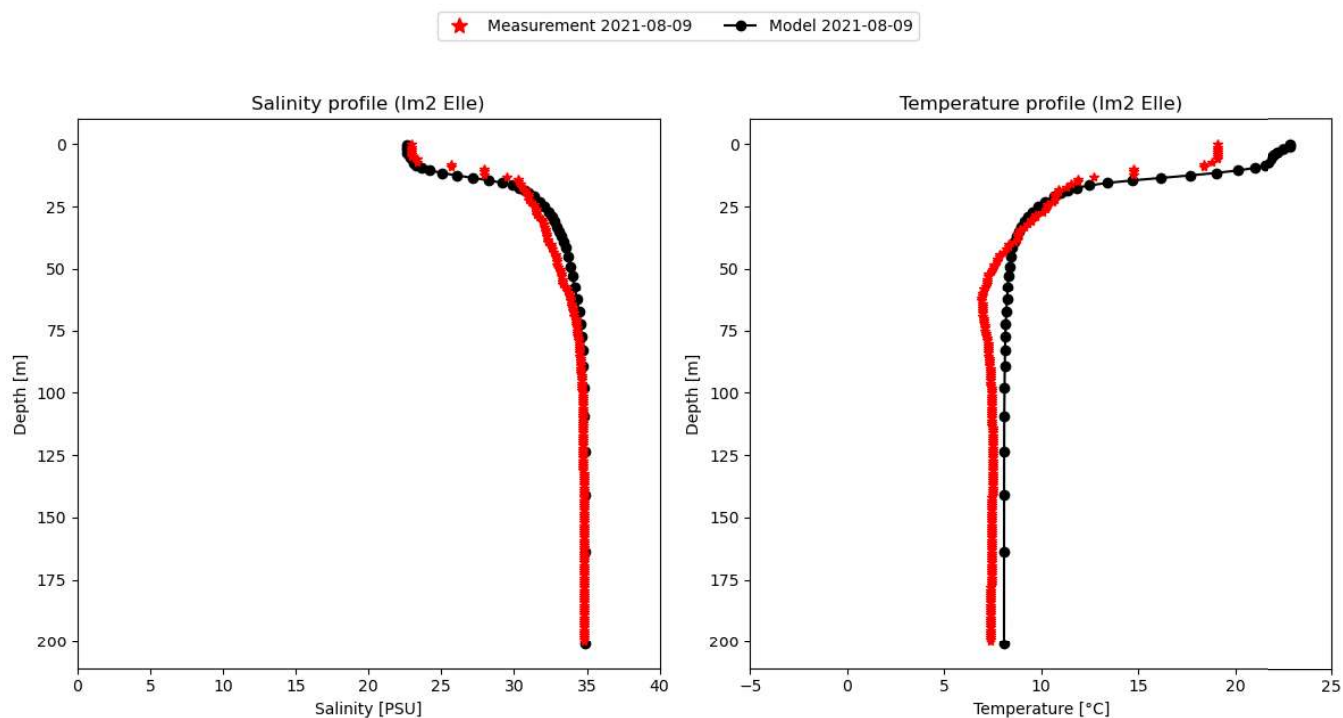
Figur A-42 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 07.02.2018 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Im2 - Elle - 2018-06-18



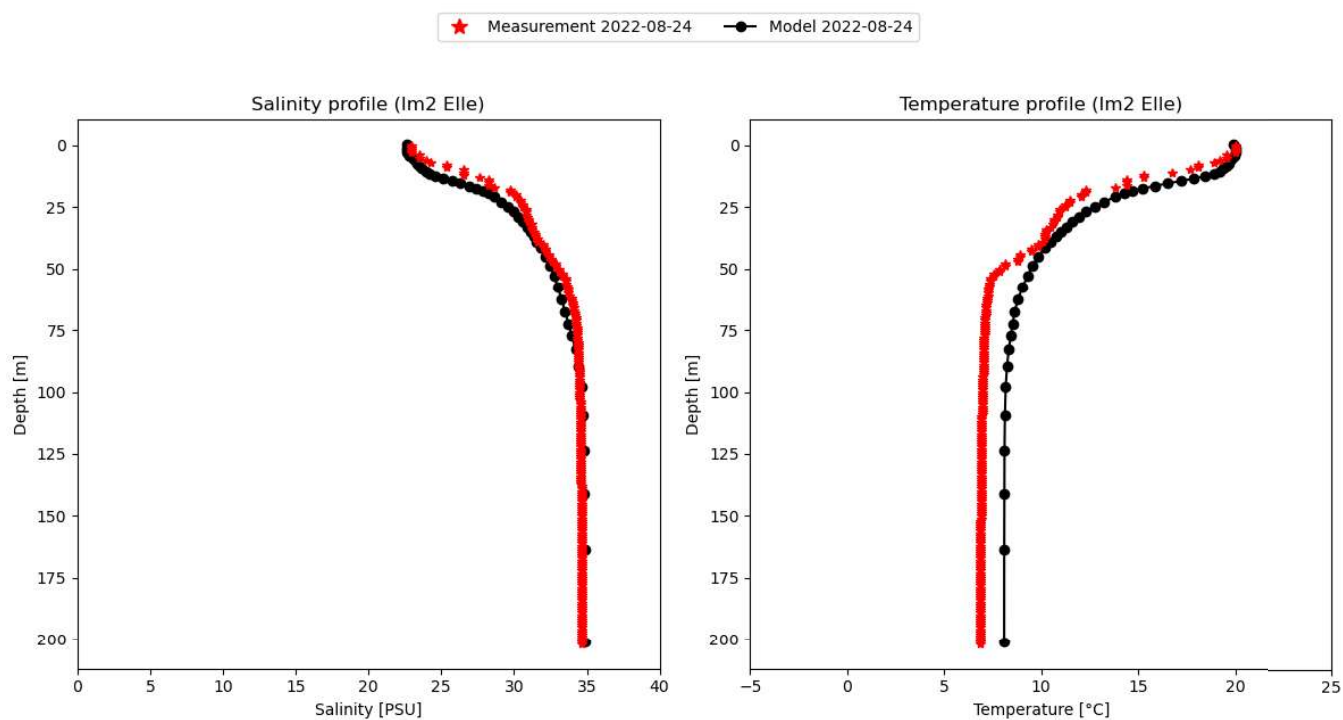
Figur A- 43 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 18.06.2018 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Im2 - Elle - 2021-08-09



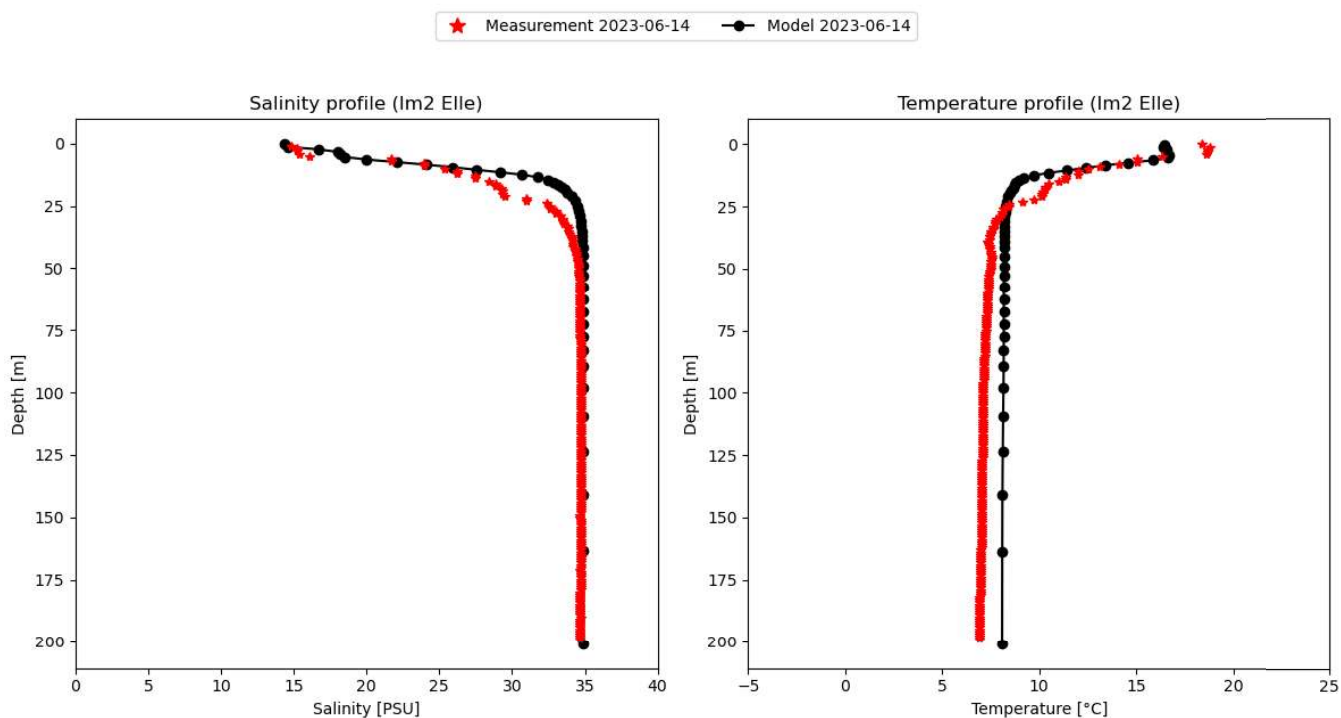
Figur A- 44 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 09.08.2021 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Im2 - Elle - 2022-08-24



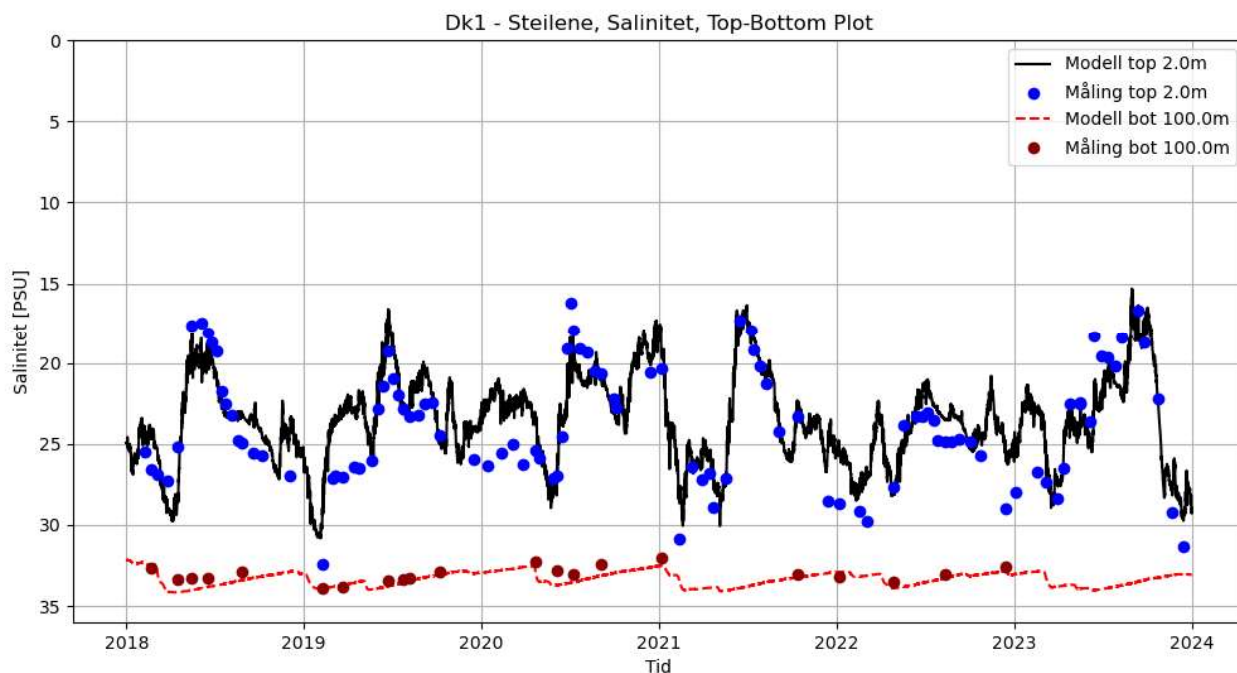
Figur A- 45 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 24.08.2022 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Im2 - Elle - 2023-06-14

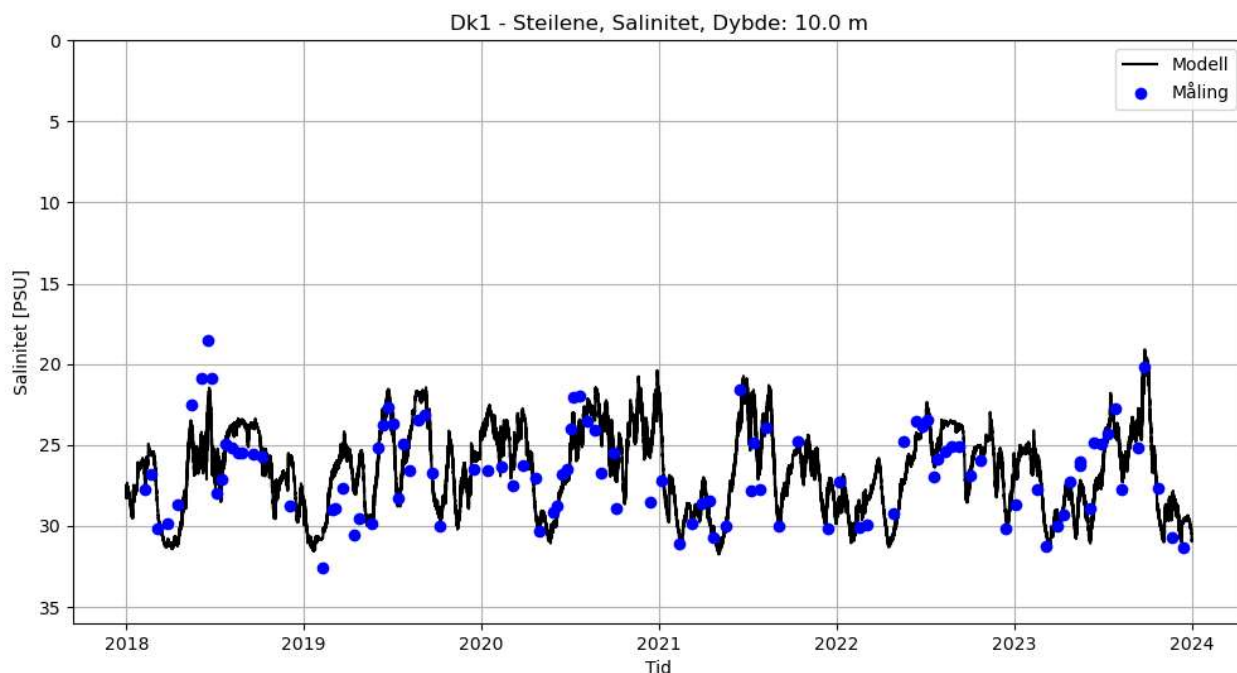


Figur A- 46 Målestasjon Im2 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 14.06.2023 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

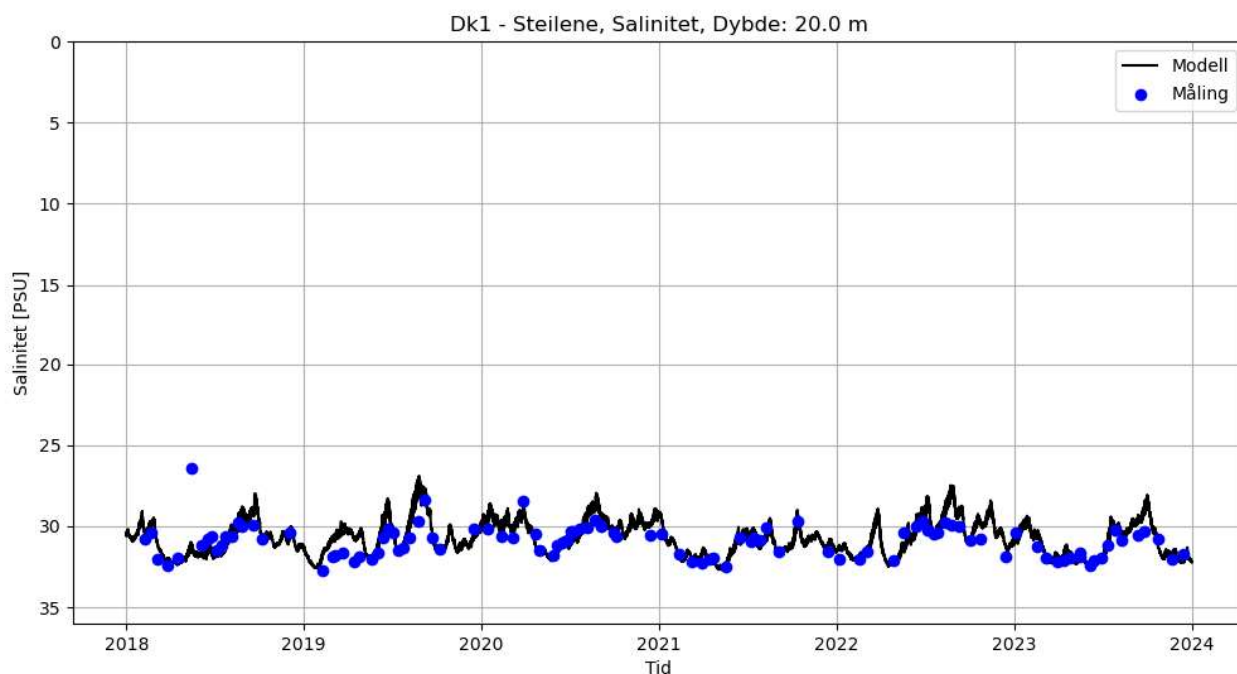
Vedlegg A.4.3 Dk1 - Steilene



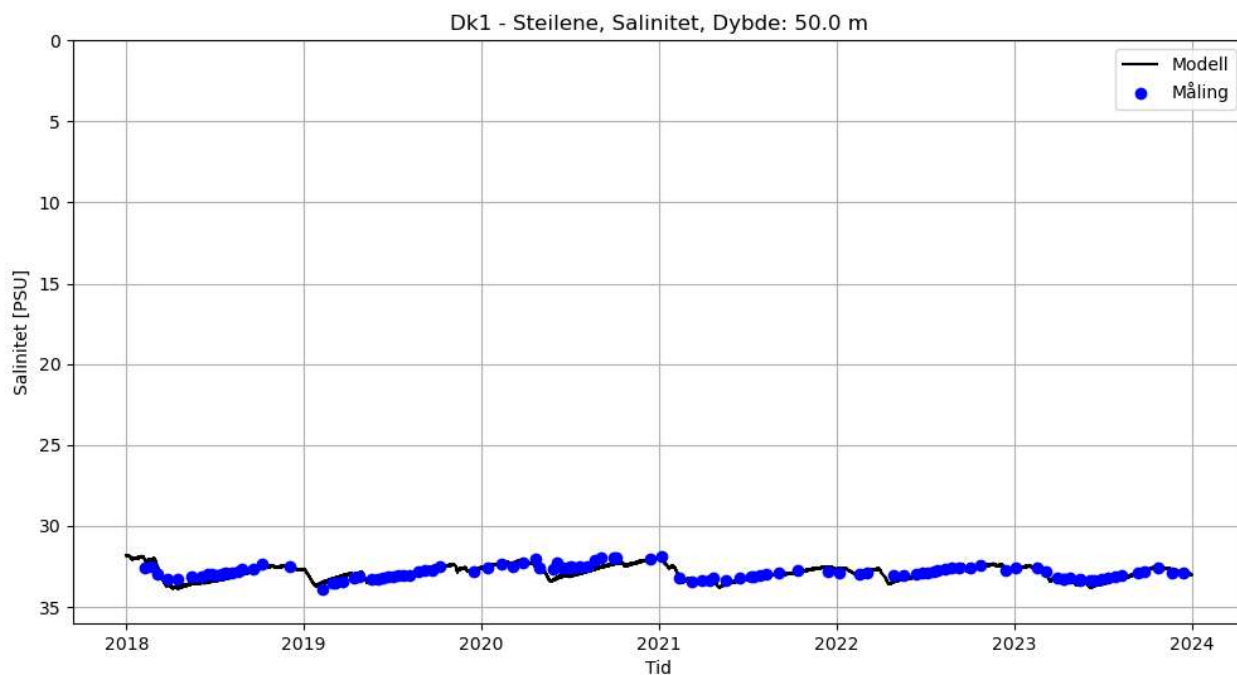
Figur A- 47 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 2 m (blå prikk for måling og sort linje for modell) og 100 m (rød prikk for måling og rødstiplet linje for modell).



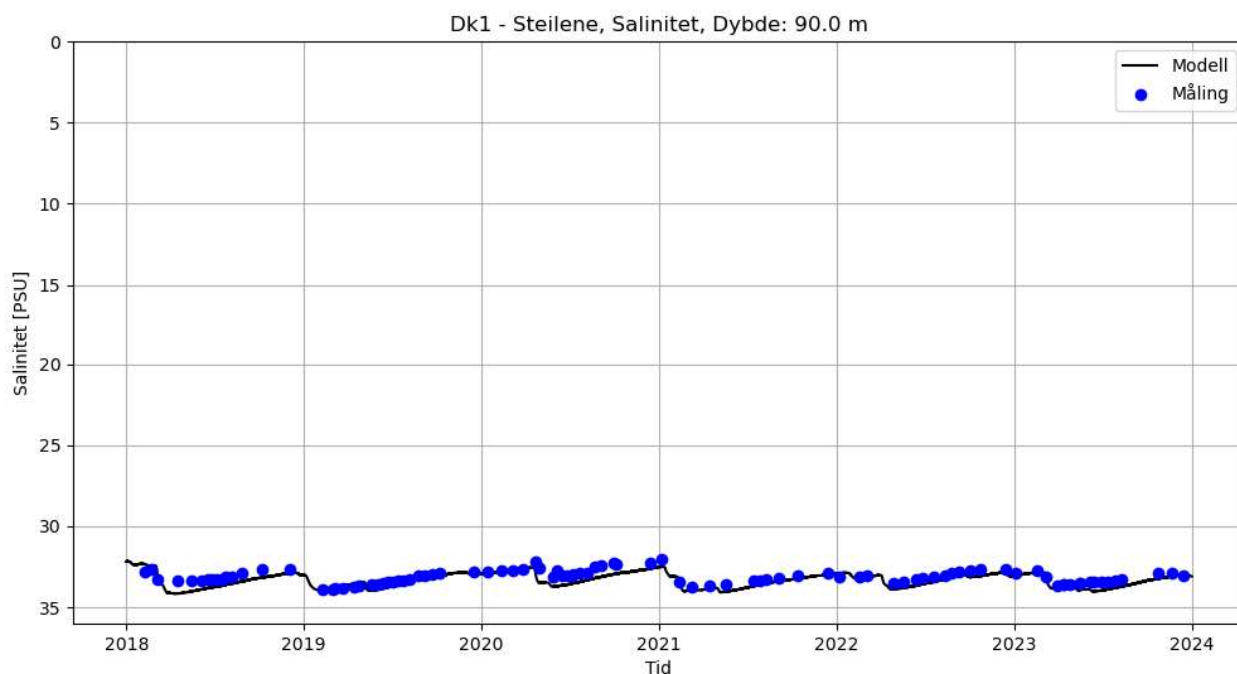
Figur A- 48 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 10 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



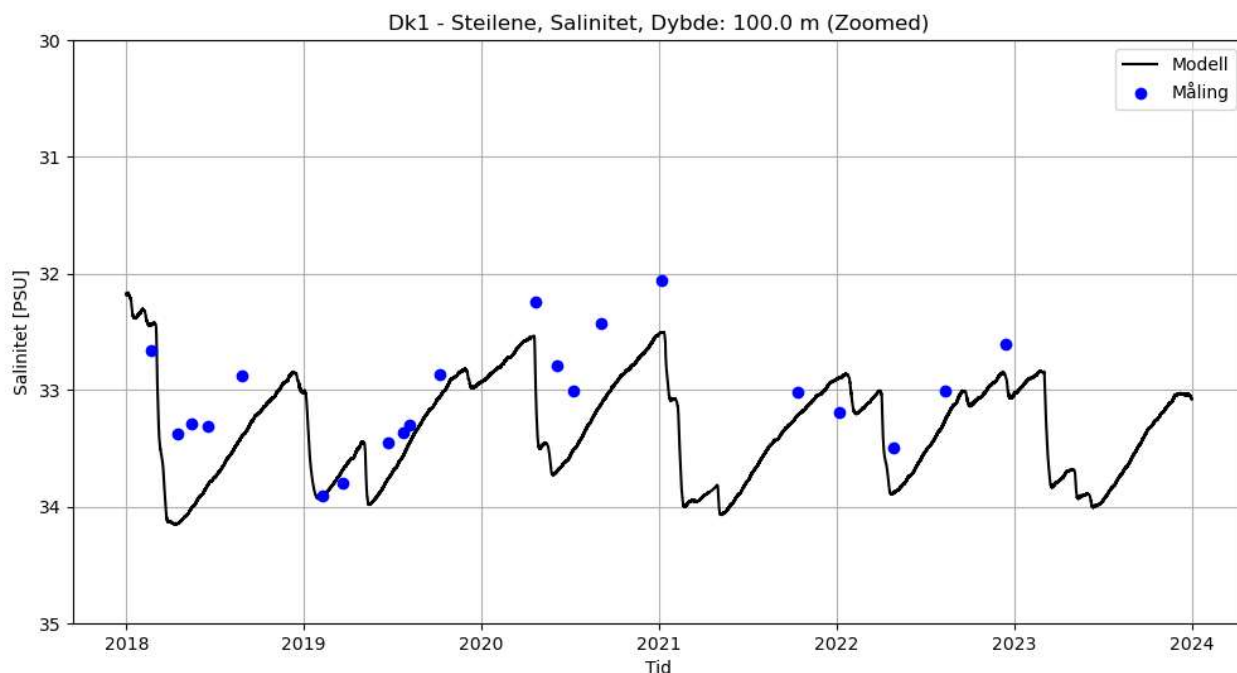
Figur A- 49 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 20 m (blå prikk for måling og sort linje for modell). Det mistenkes at den blå prikken på våren i 2018 som er langt fra modellen er en feilmåling.



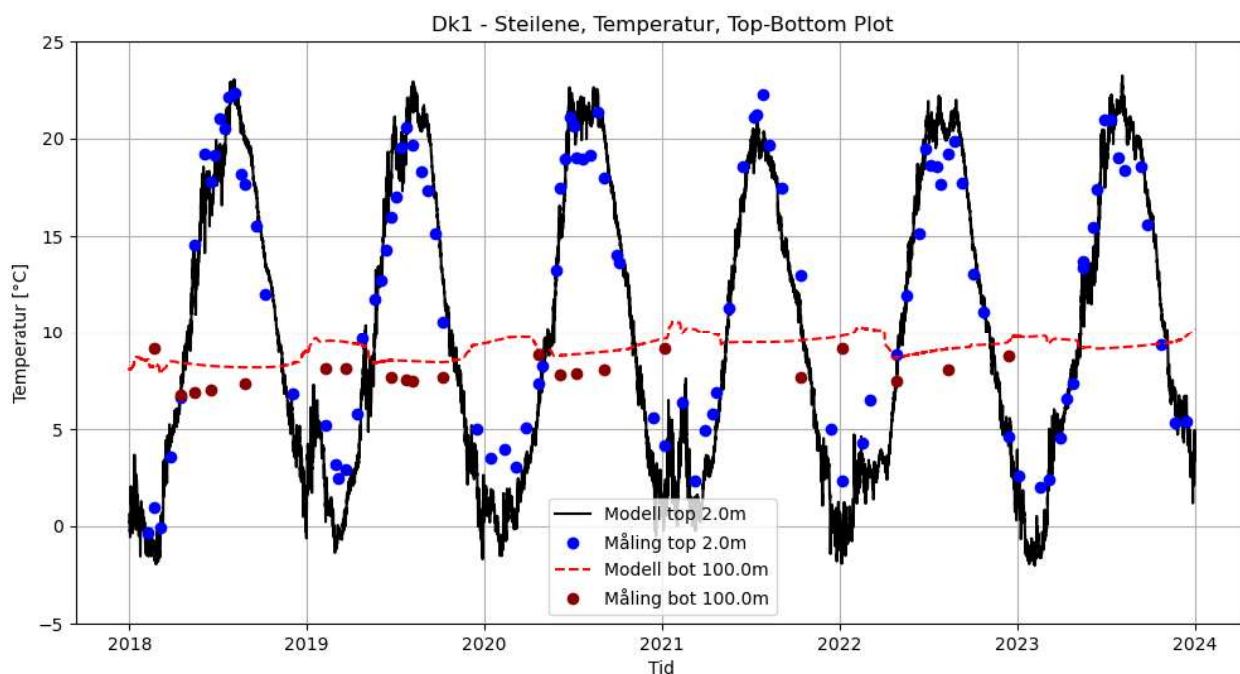
Figur A- 50 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 50 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



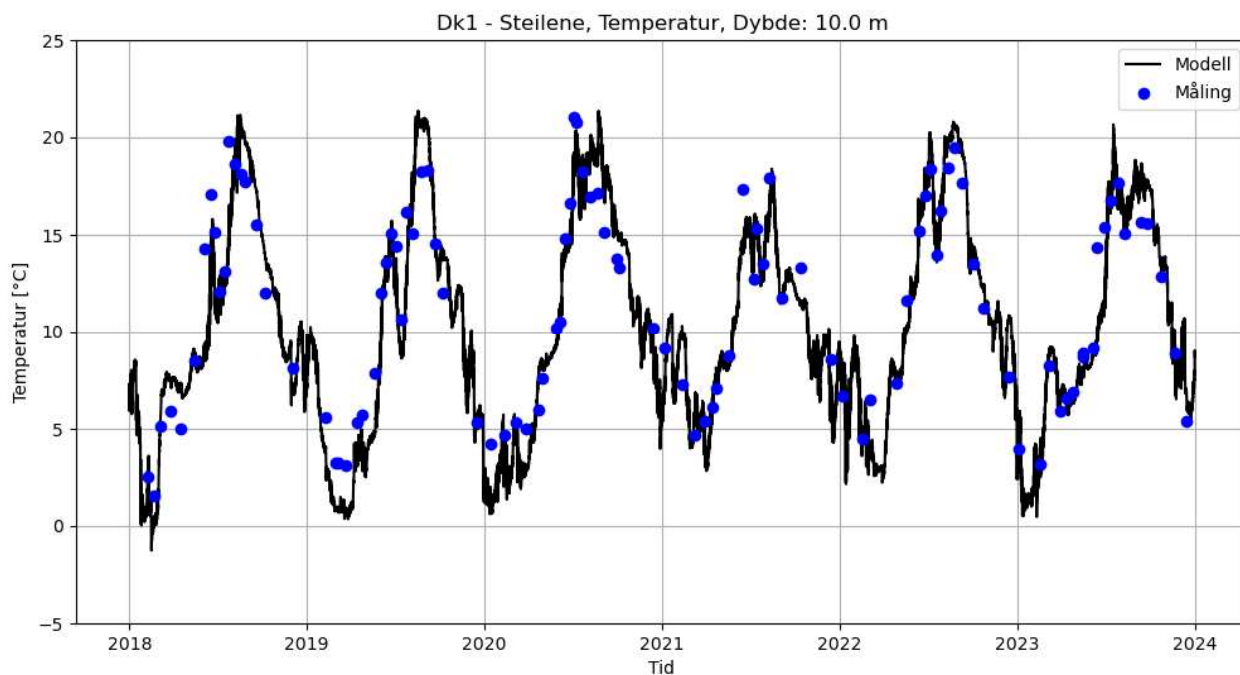
Figur A- 51 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 90 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



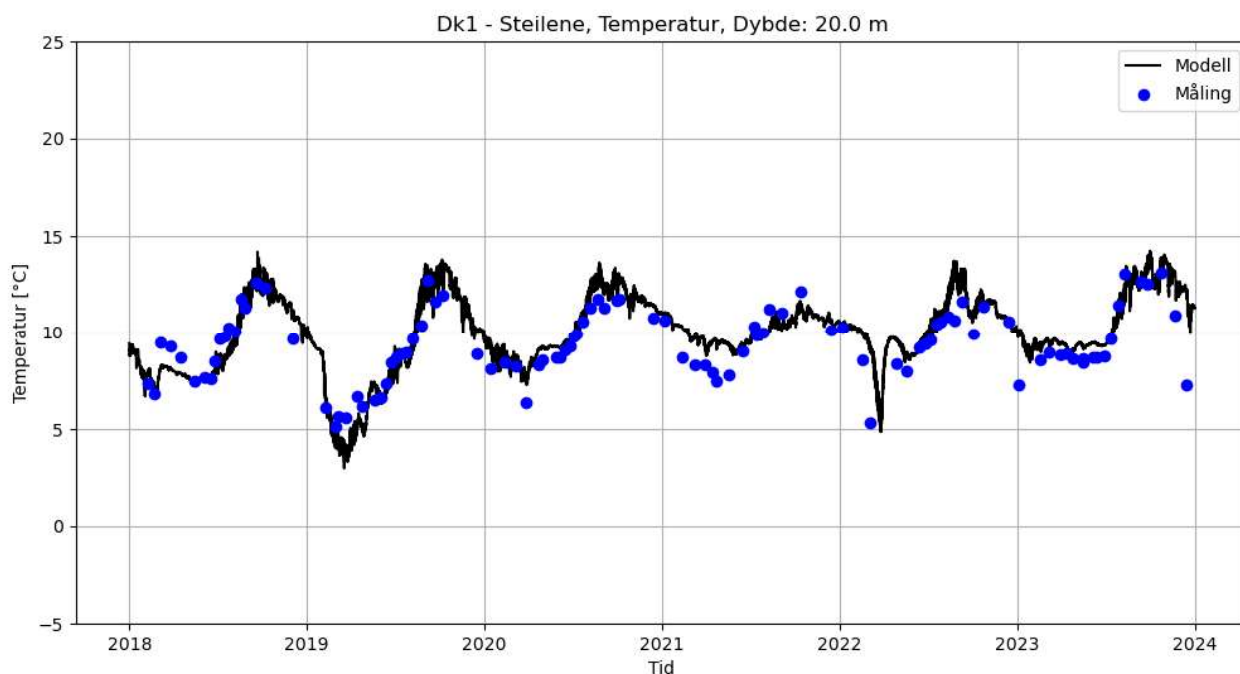
Figur A- 52 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 100 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



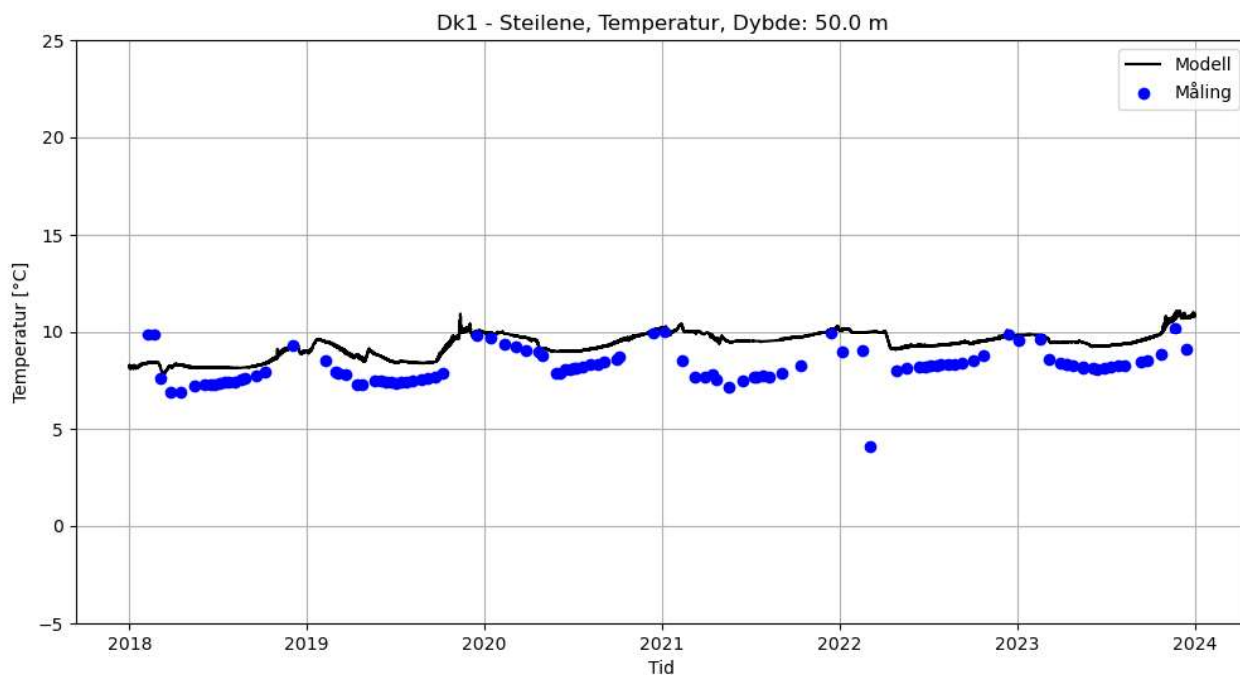
Figur A- 53 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 2 m (blå prikk for måling og sort linje for modell) og 100 m (rød prikk for måling og rødstiplet linje for modell).



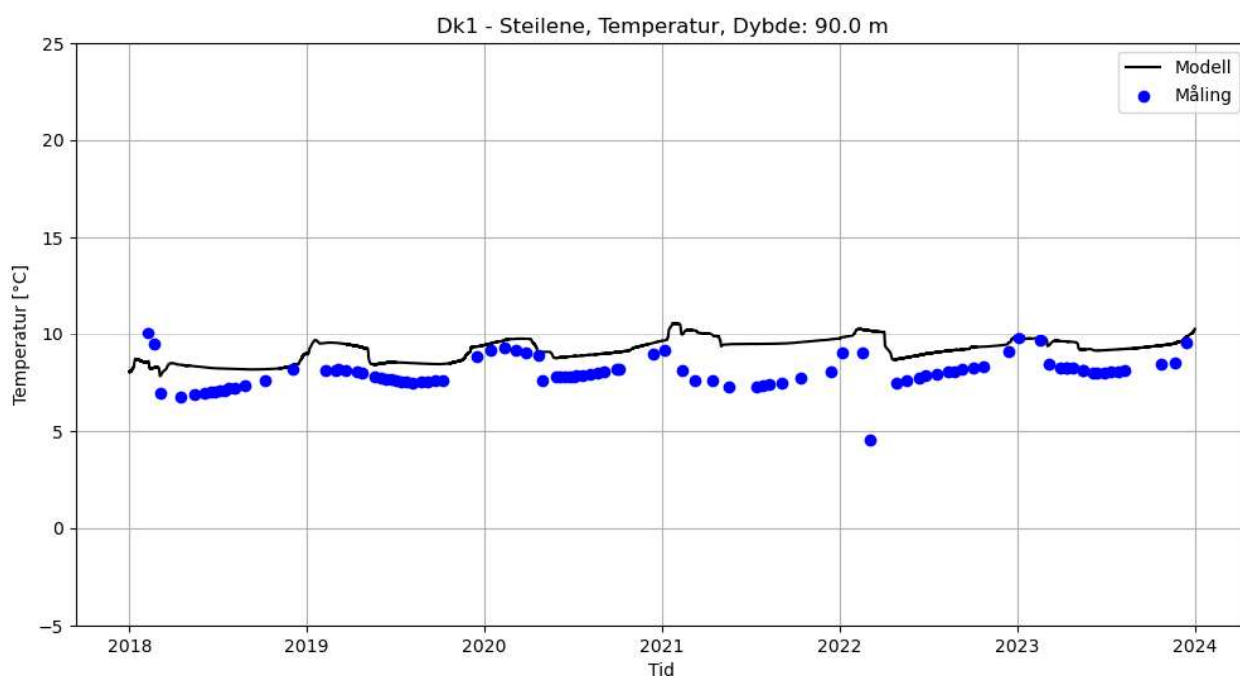
Figur A- 54 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 10 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



Figur A- 55 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 20 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).

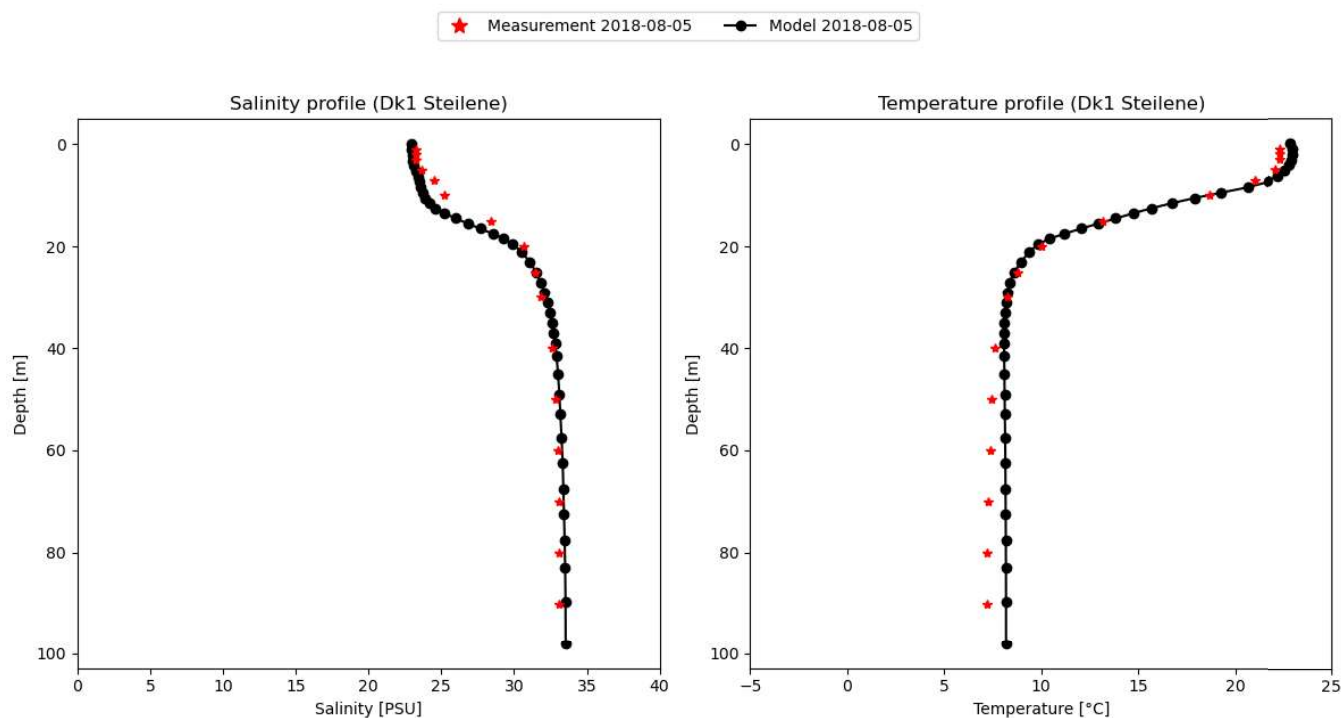


Figur A- 56 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 50 m (blå prikk for måling og sort linje for modell). Det mistenkes at målingen som er gjort tidlig i 2022 som er langt fra de andre målingene er en feilmåling.



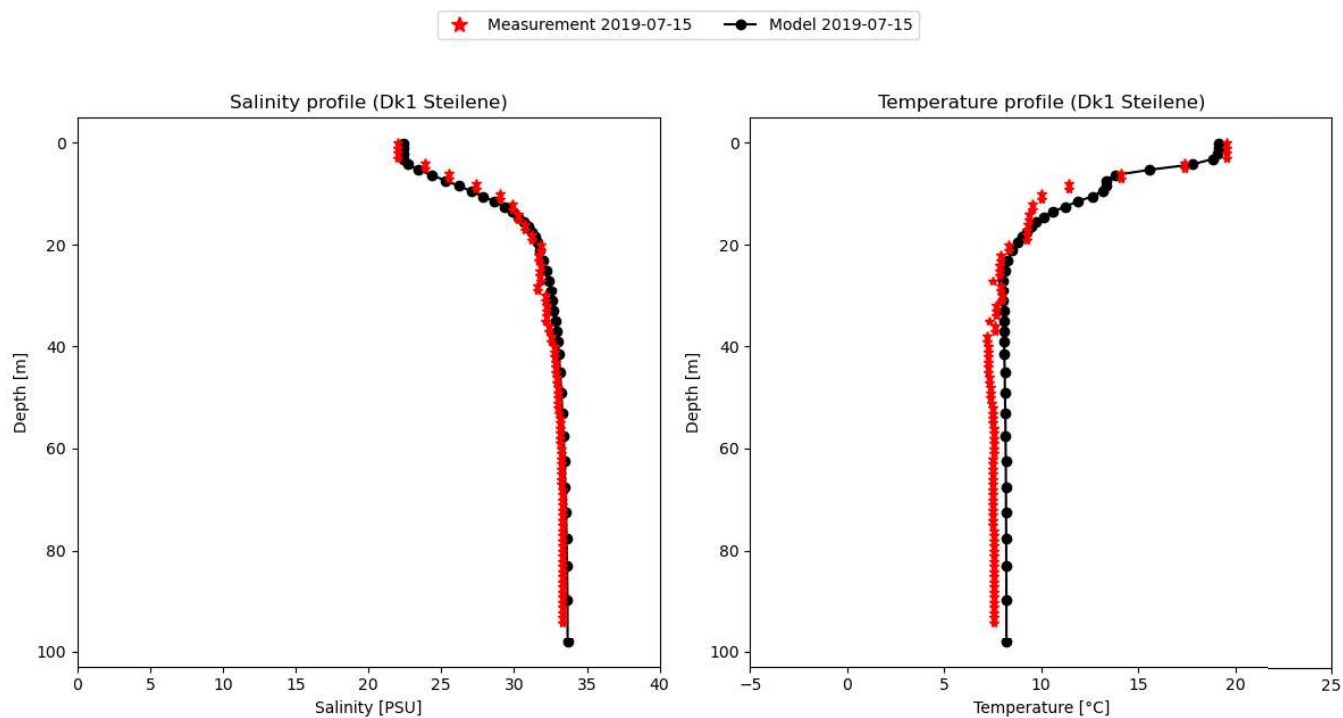
Figur A- 57 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 90 m (blå prikk for måling og sort linje for modell). Det mistenkes at målingen som er gjort tidlig i 2022 som er langt fra de andre målingene er en feilmåling.

Dk1 - Steilene - 2018-08-05



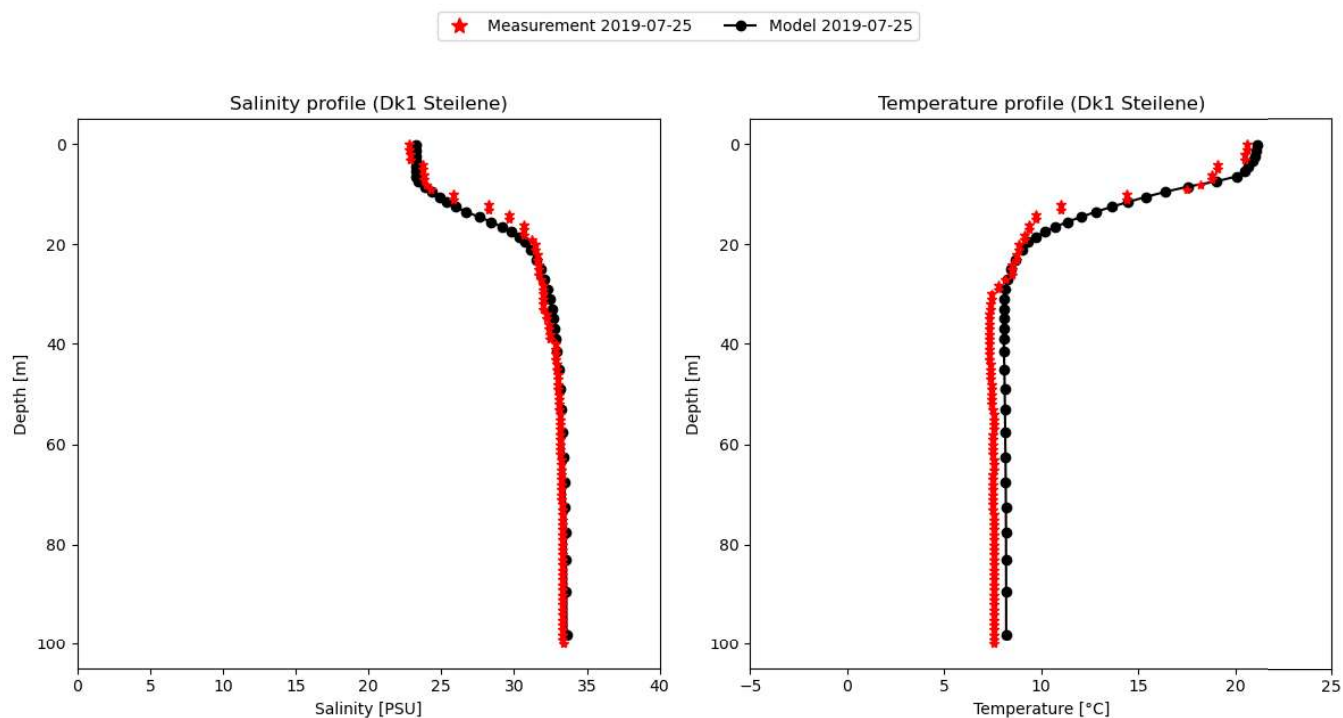
Figur A- 58 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 05.08.2018 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Dk1 - Steilene - 2019-07-15



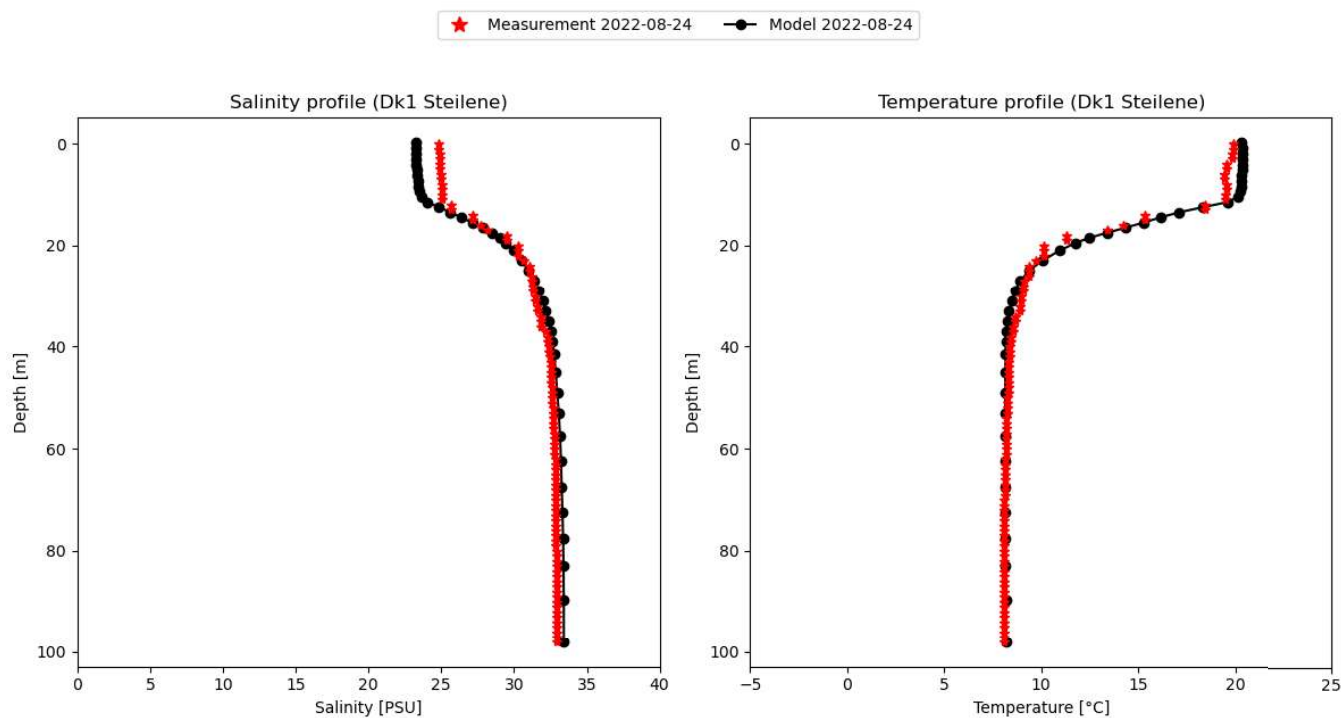
Figur A- 59 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 15.07.2019 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Dk1 - Steilene - 2019-07-25



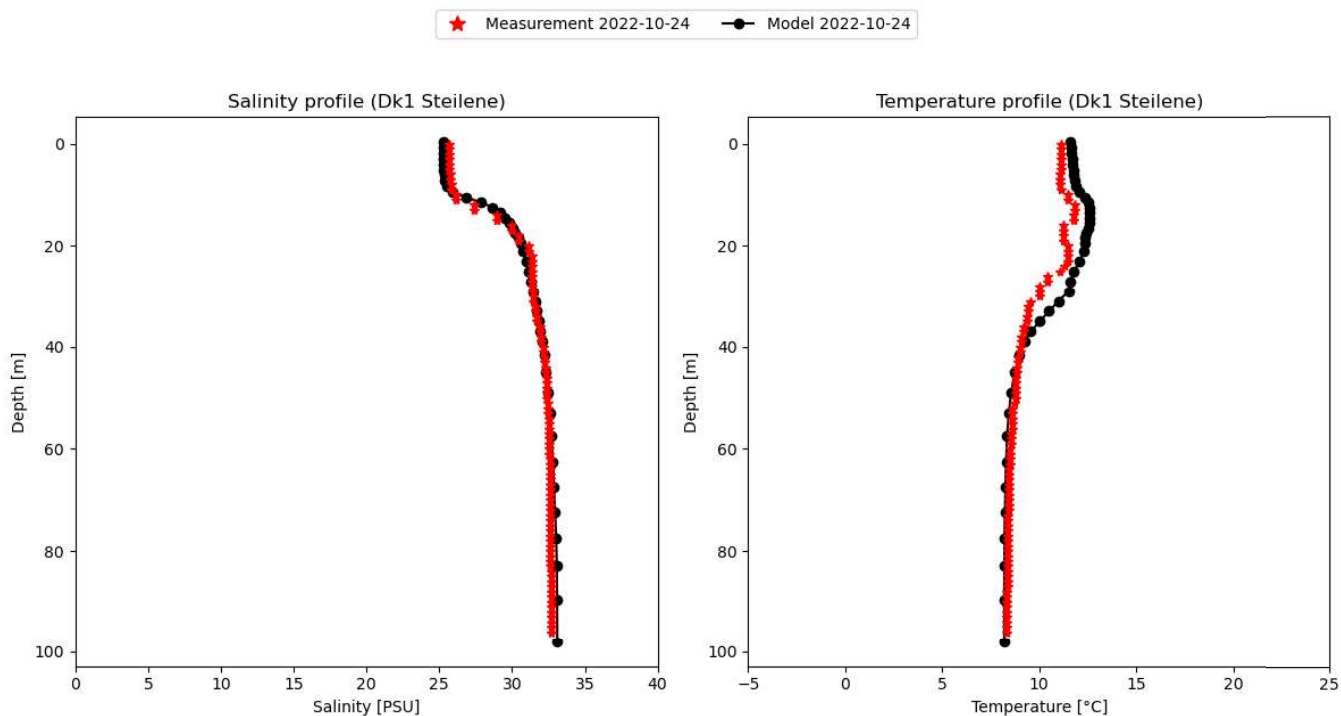
Figur A- 60 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 25.07.2019 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Dk1 - Steilene - 2022-08-24



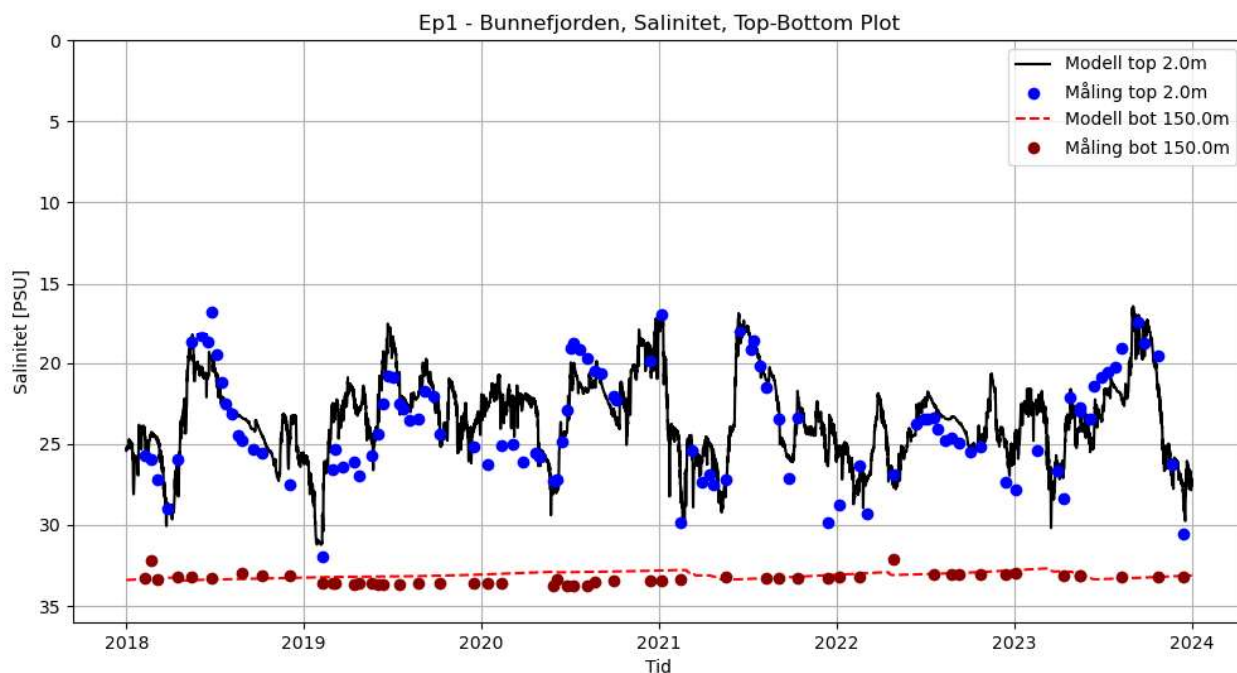
Figur A- 61 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 24.08.2022 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Dk1 - Steilene - 2022-10-24

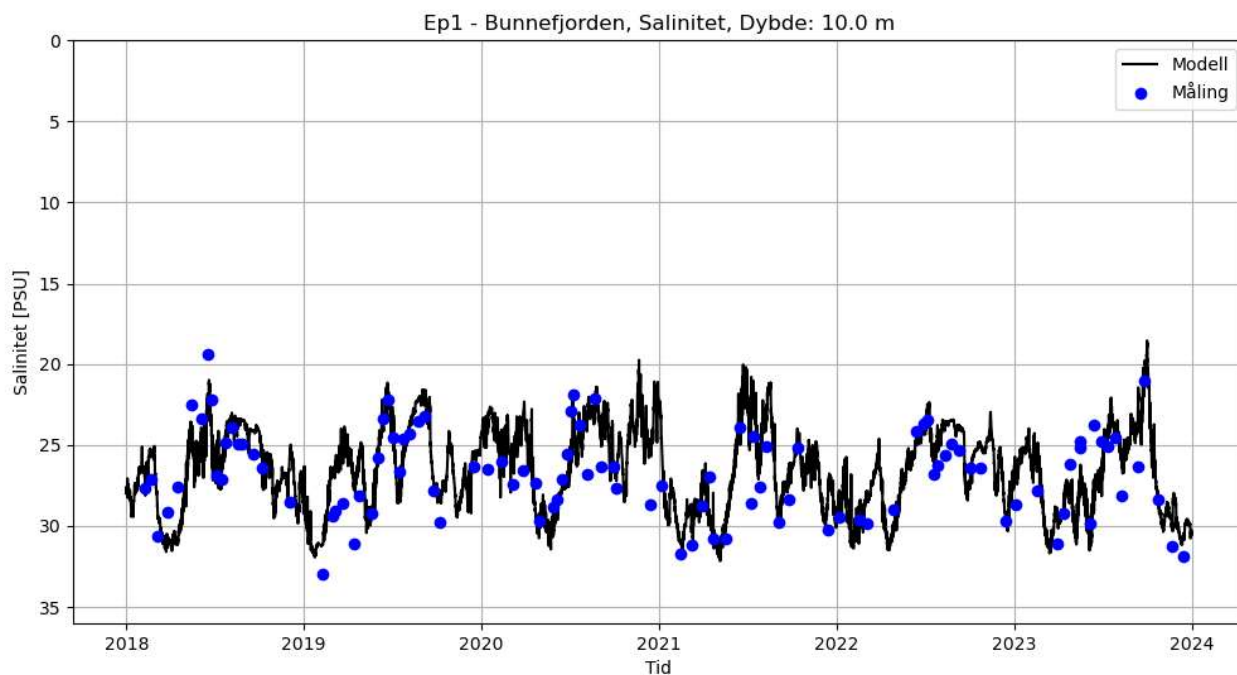


Figur A- 62 Målestasjon Dk1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 24.10.2022 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

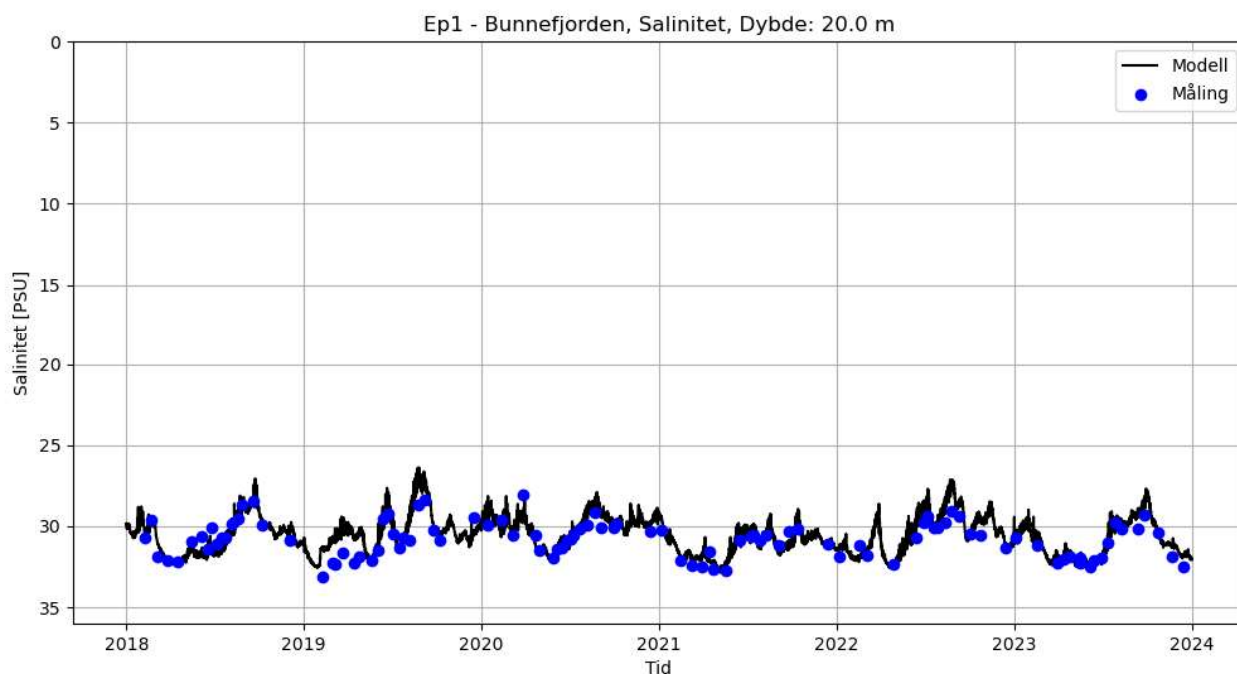
Vedlegg A.4.4 Ep1 – Bunnefjorden



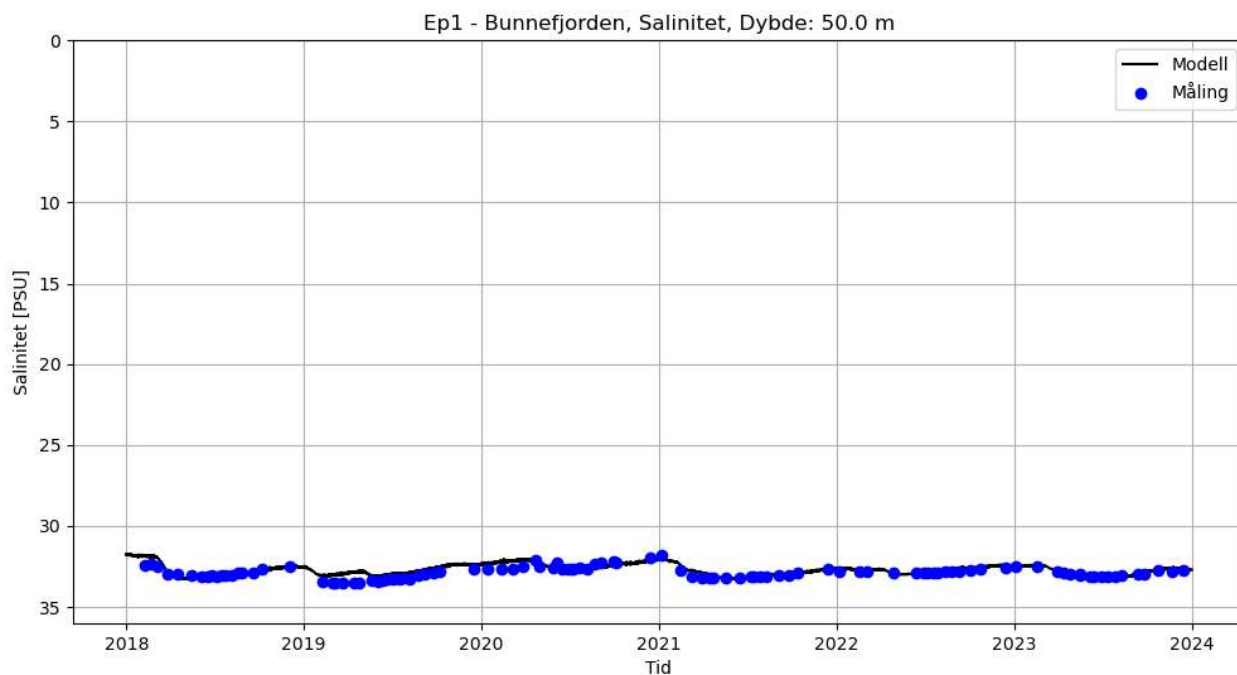
Figur A- 63 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 2 m (blå prikk for måling og sort linje for modell) og 150 m (rød prikk for måling og rødstiplet linje for modell).



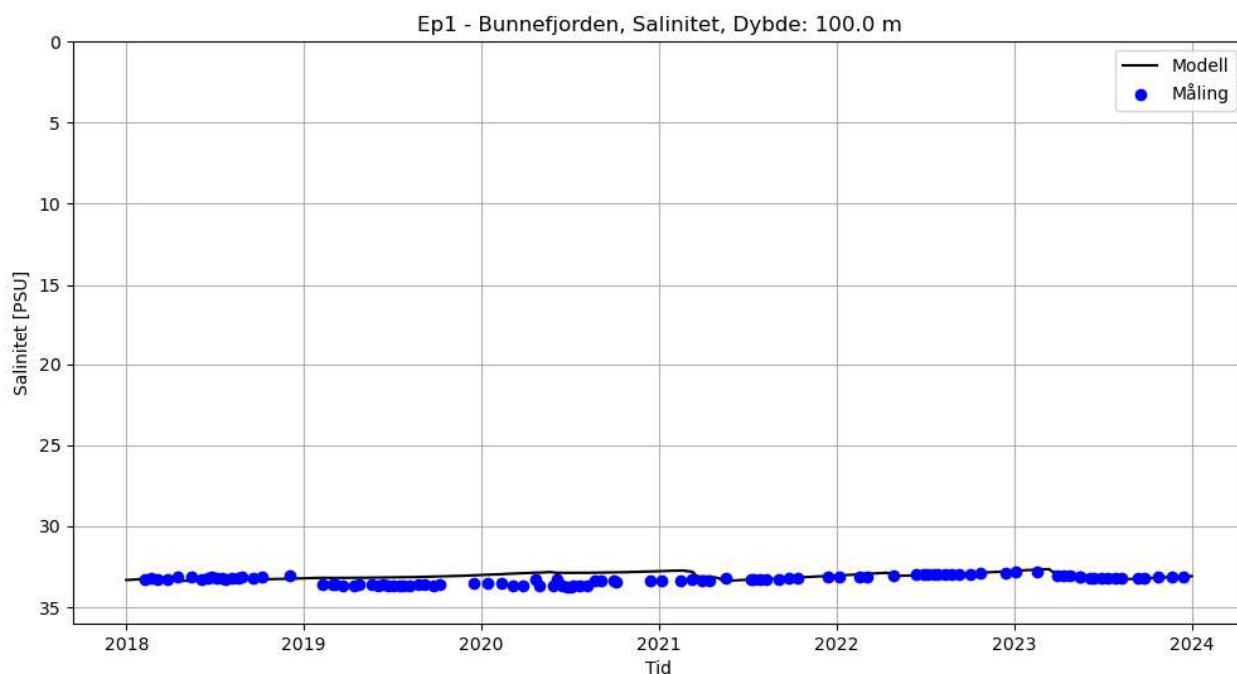
Figur A- 64 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 10 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



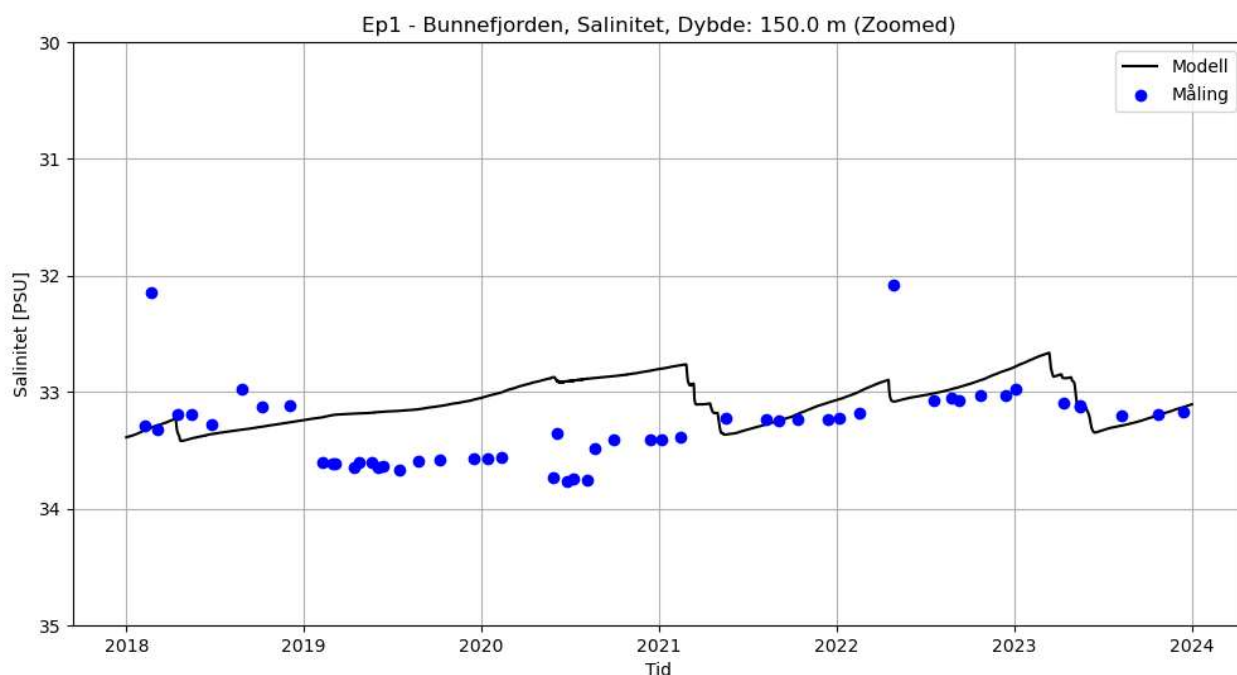
Figur A- 65 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 20 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



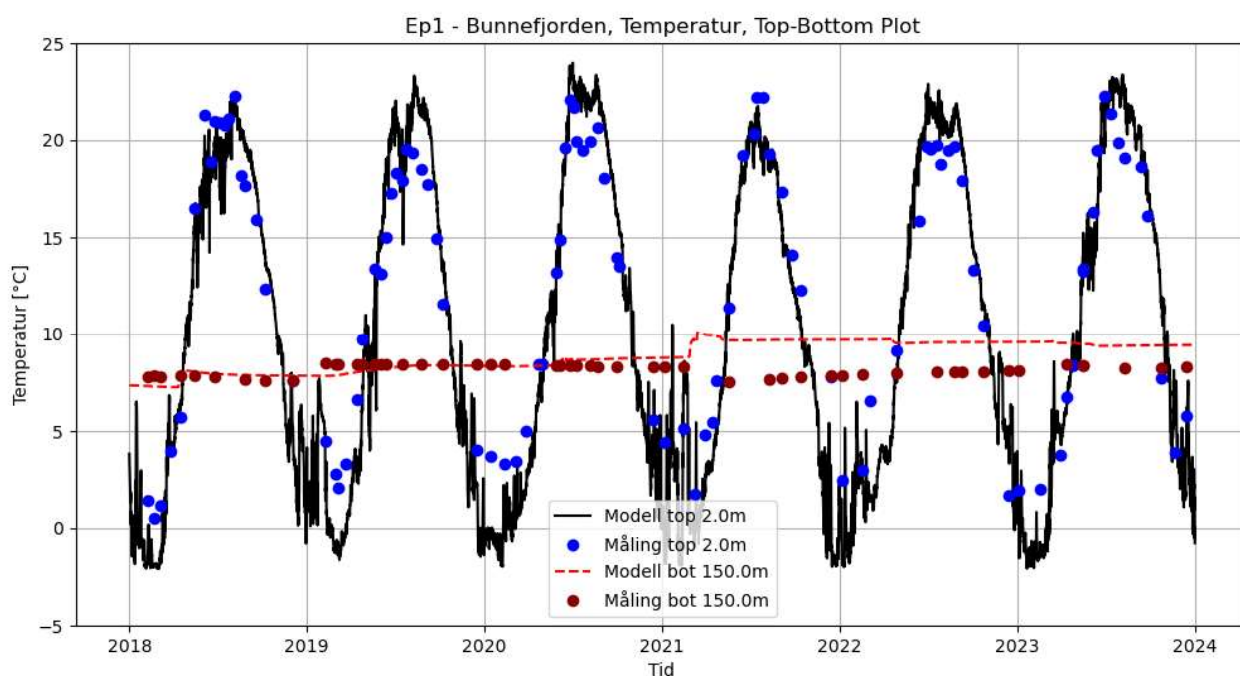
Figur A- 66 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 50 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



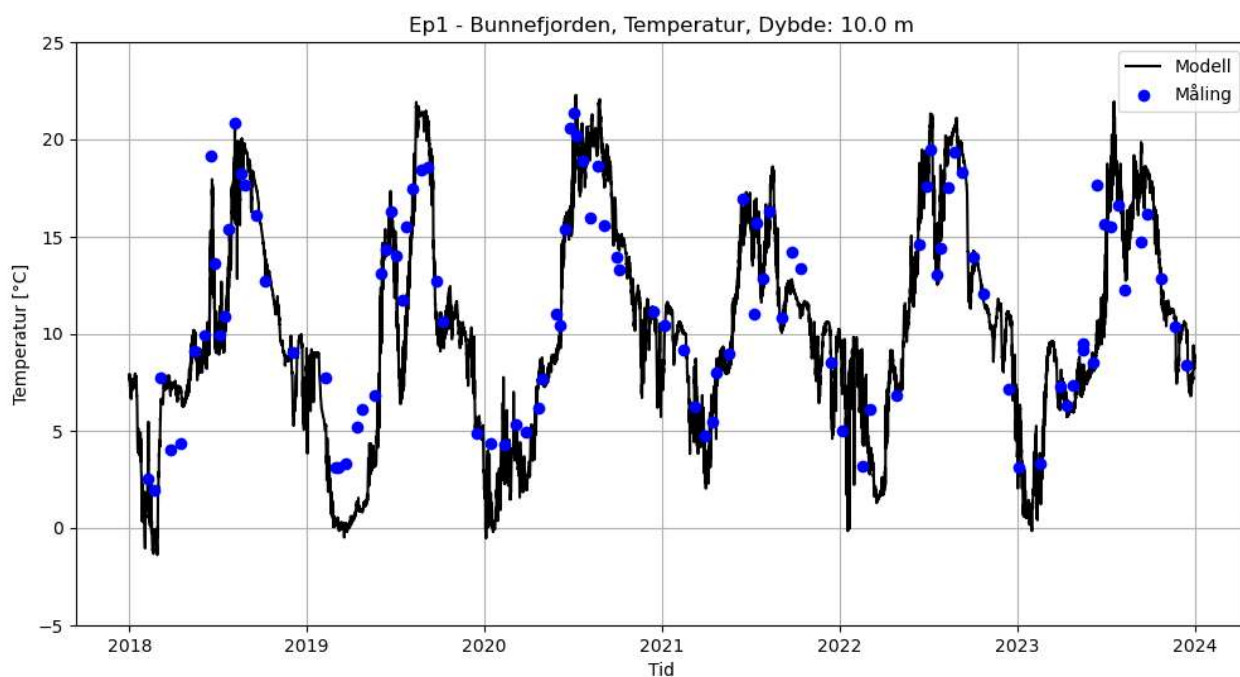
Figur A- 67 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 100 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



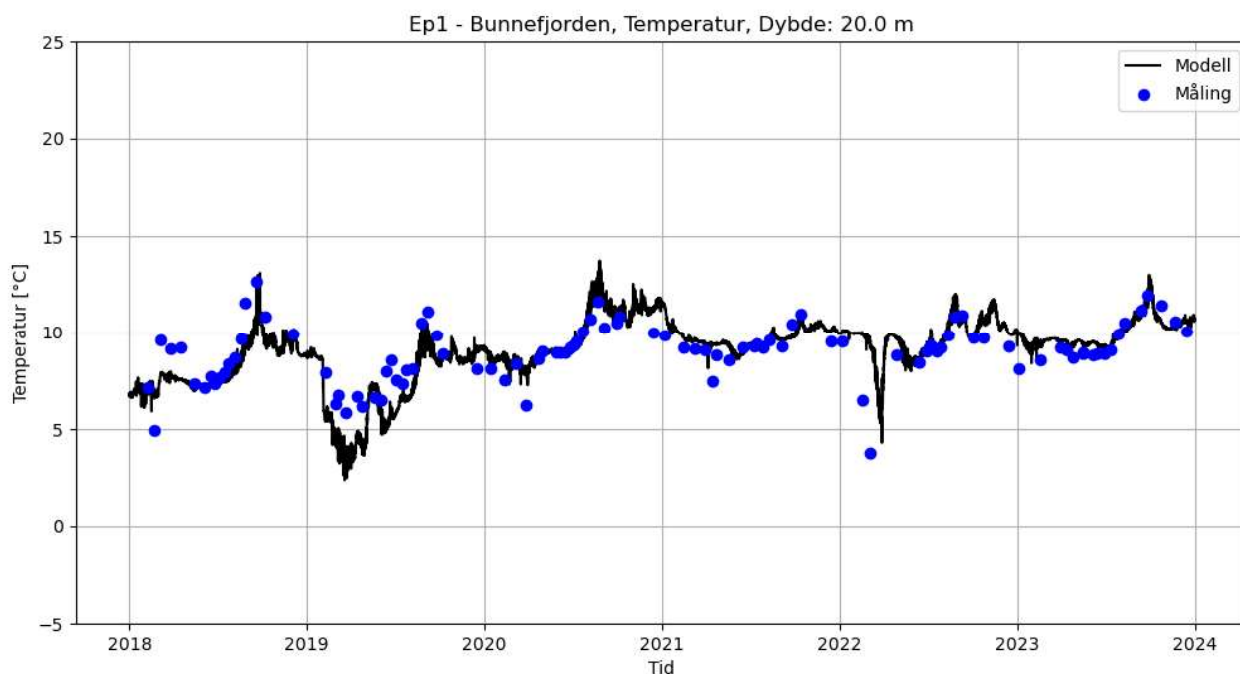
Figur A- 68 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, tidsserie for salinitet ved 150 m (blå prikk for måling og sort linje for modell). Det mistenkes at målingene som er gjort tidlig i 2018 og 2022 som er langt fra de andre målingene er en feilmålinger.



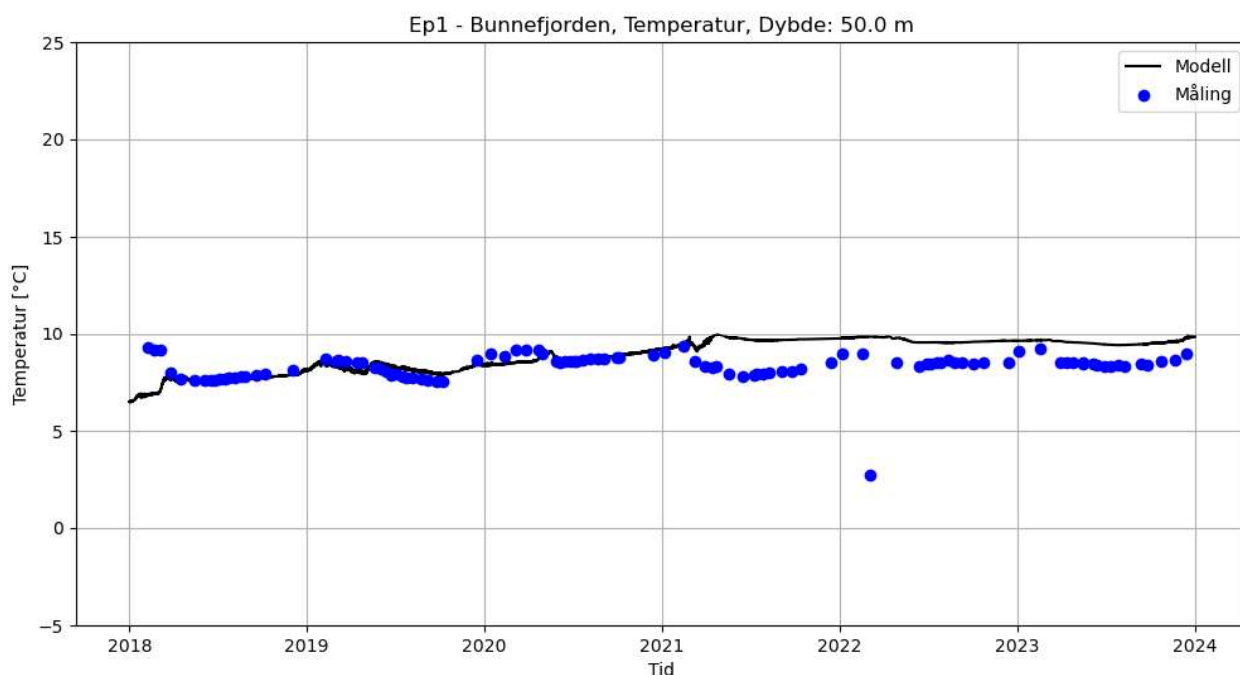
Figur A- 69 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 2 m (blå prikk for måling og sort linje for modell) og 150 m (rød prikk for måling og rødstiplet linje for modell).



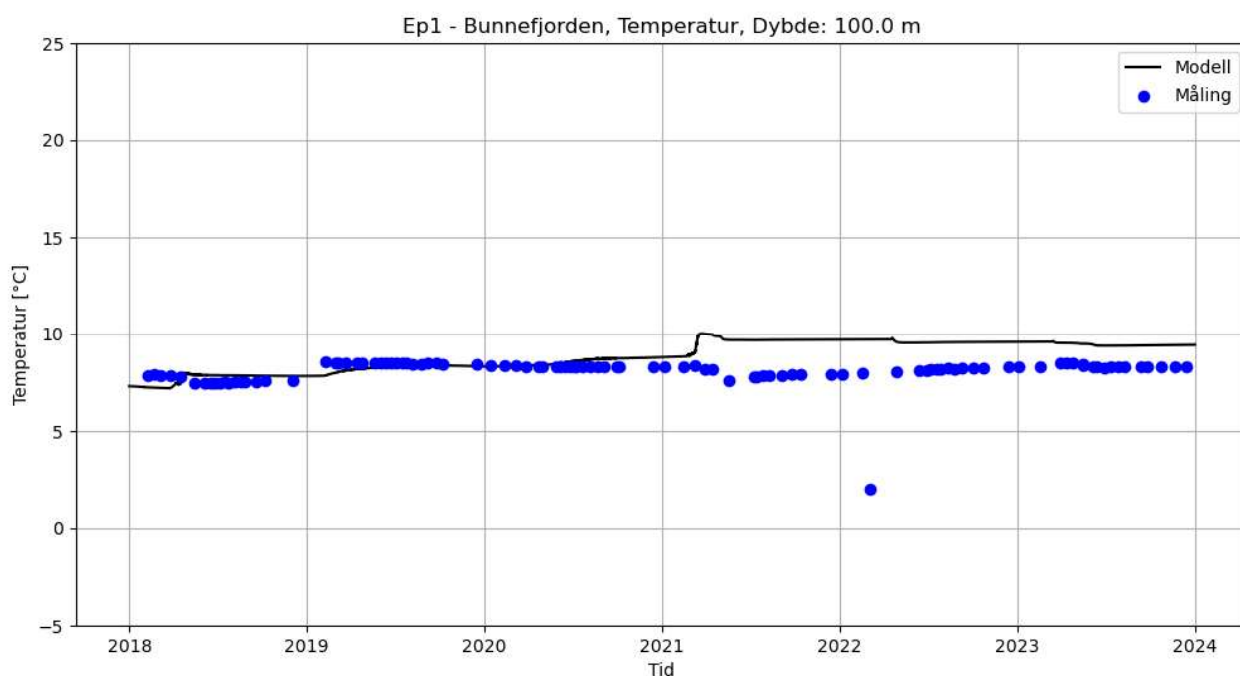
Figur A- 70 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 10 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).



Figur A- 71 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 20 m (blå prikk for måling og sort linje for modell).

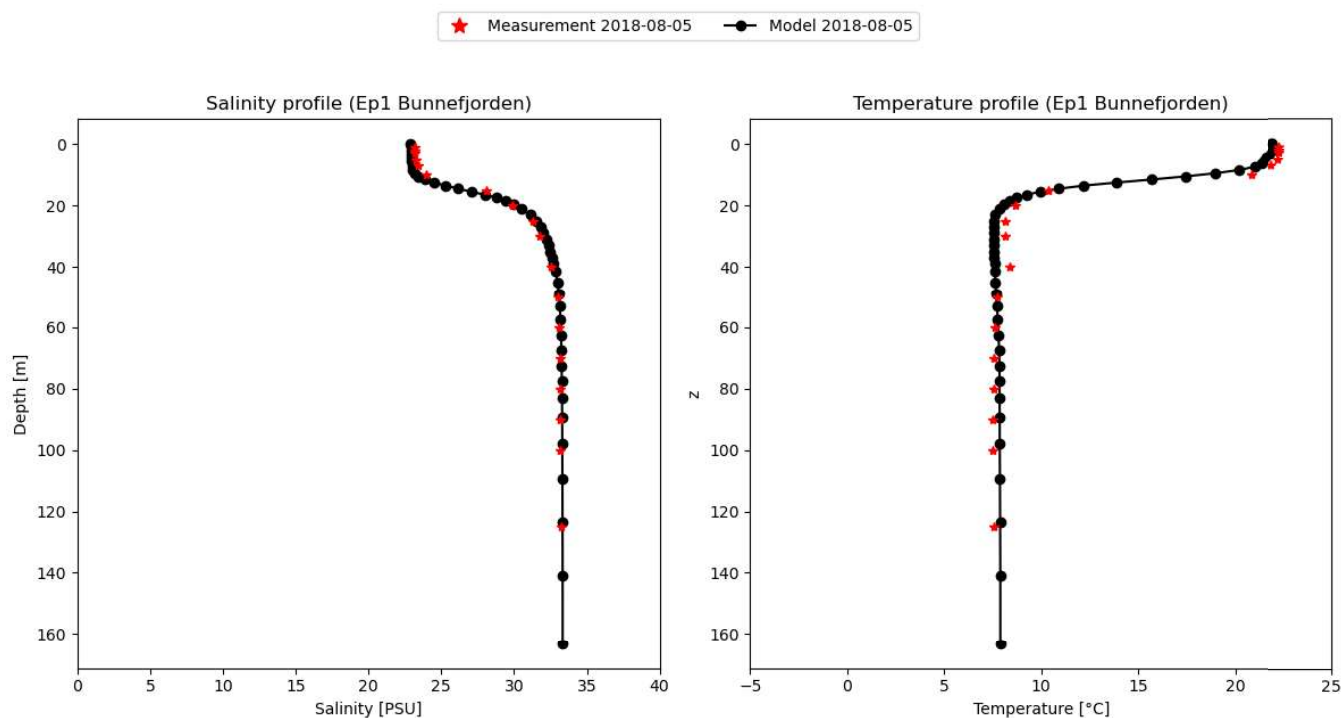


Figur A- 72 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 50 m (blå prikk for måling og sort linje for modell). Det mistenkes at målingen som er gjort tidlig i 2022 som er langt fra de andre målingene er en feilmåling.



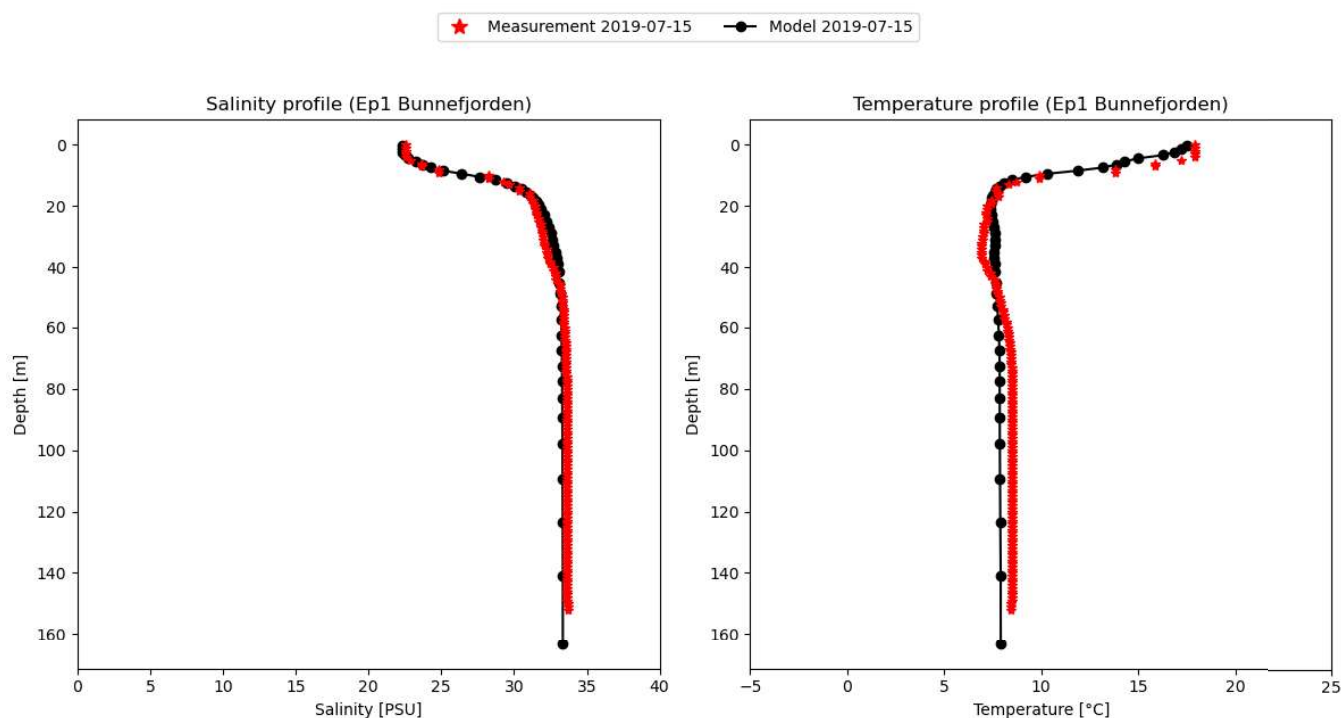
Figur A- 73 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, tidsserie for temperatur ved 100 m (blå prikk for måling og sort linje for modell). Det mistenkes at målingen som er gjort tidlig i 2022 som er langt fra de andre målingene er en feilmåling.

Ep1 - Bunnefjorden - 2018-08-05



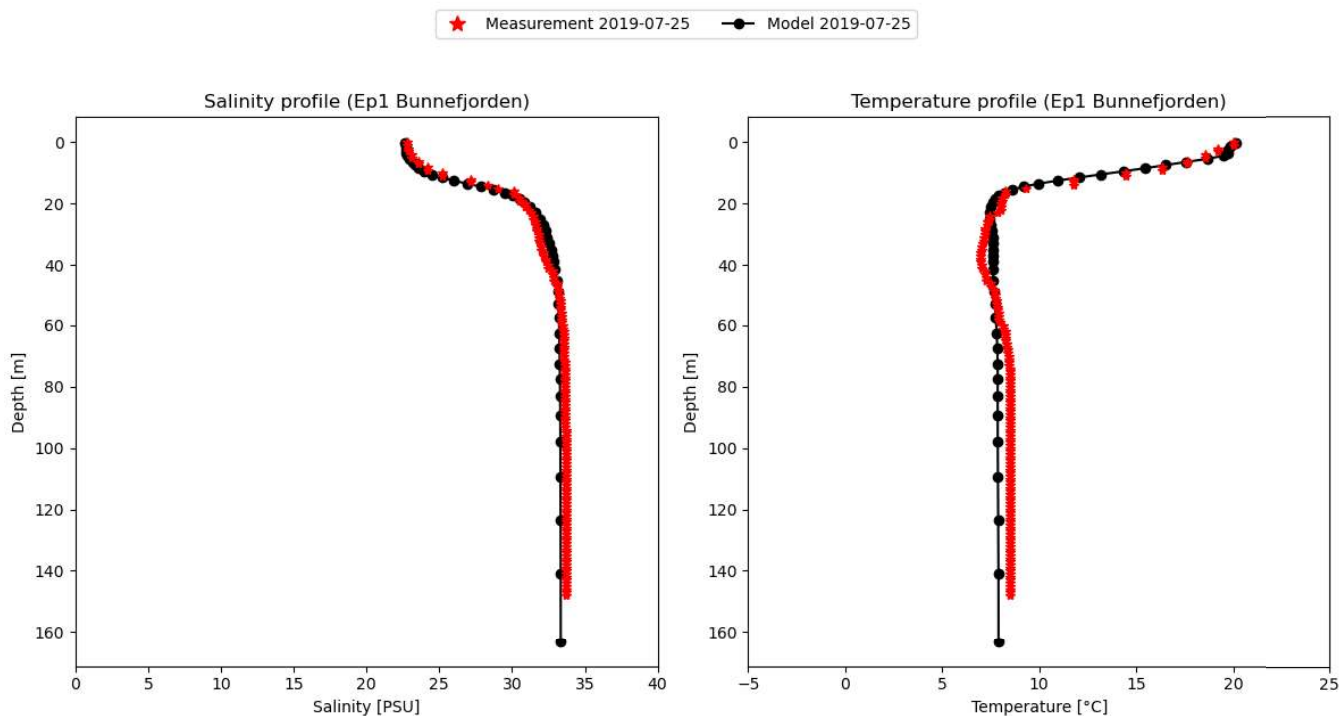
Figur A- 74 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 05.08.2018 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Ep1 - Bunnefjorden - 2019-07-15



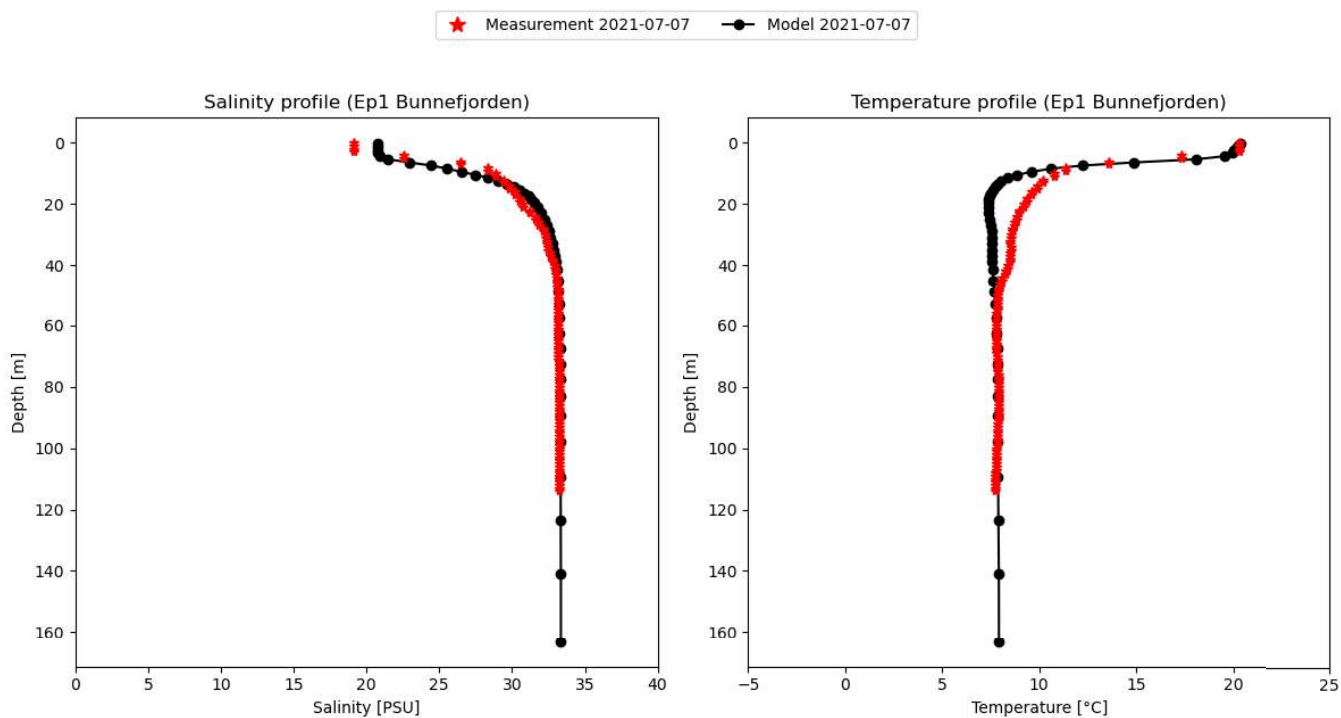
Figur A- 75 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 15.07.2019 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Ep1 - Bunnefjorden - 2019-07-25



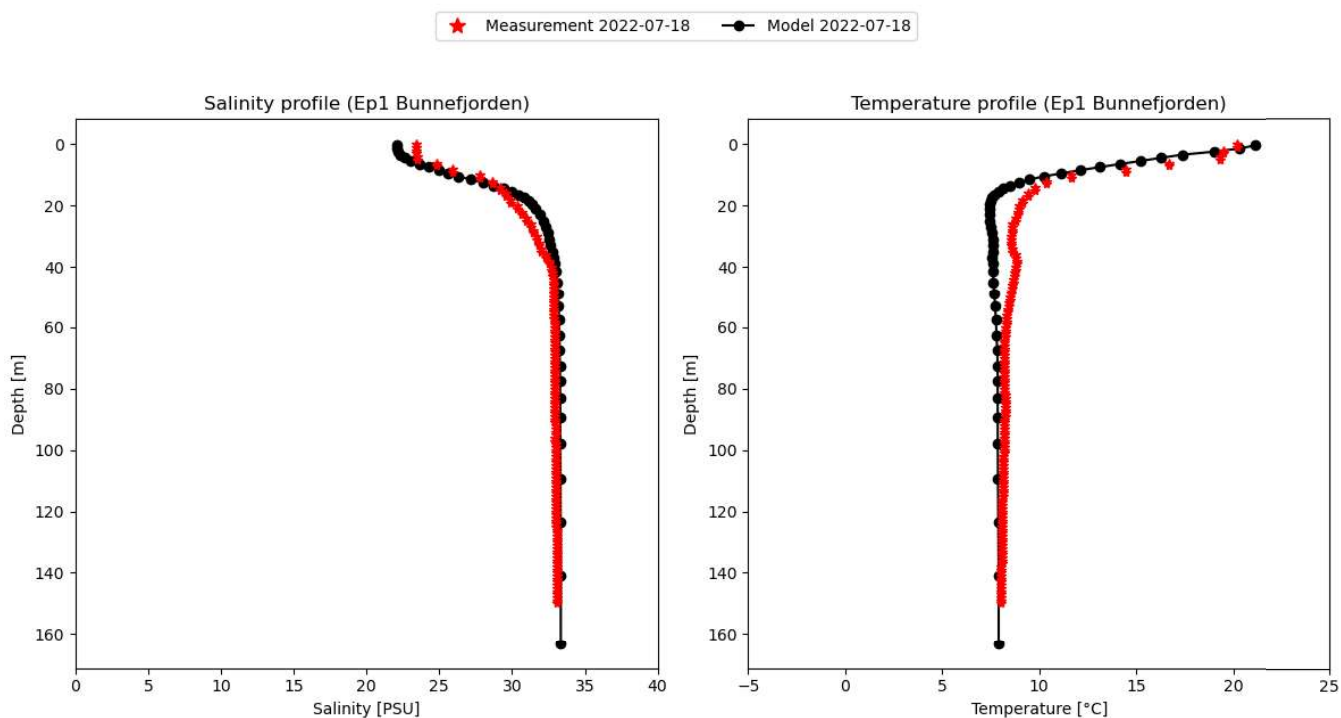
Figur A- 76 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 25.07.2019 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Ep1 - Bunnefjorden - 2021-07-07



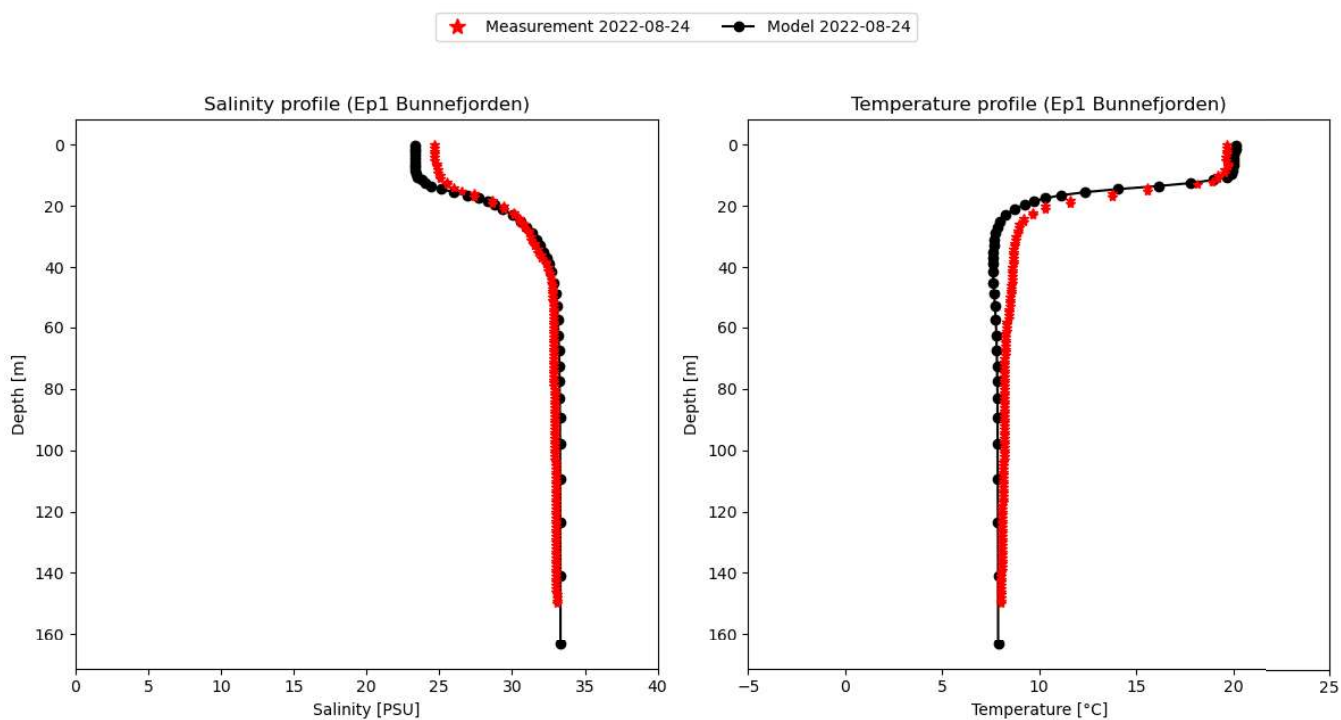
Figur A- 77 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 07.07.2021 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Ep1 - Bunnefjorden - 2022-07-18



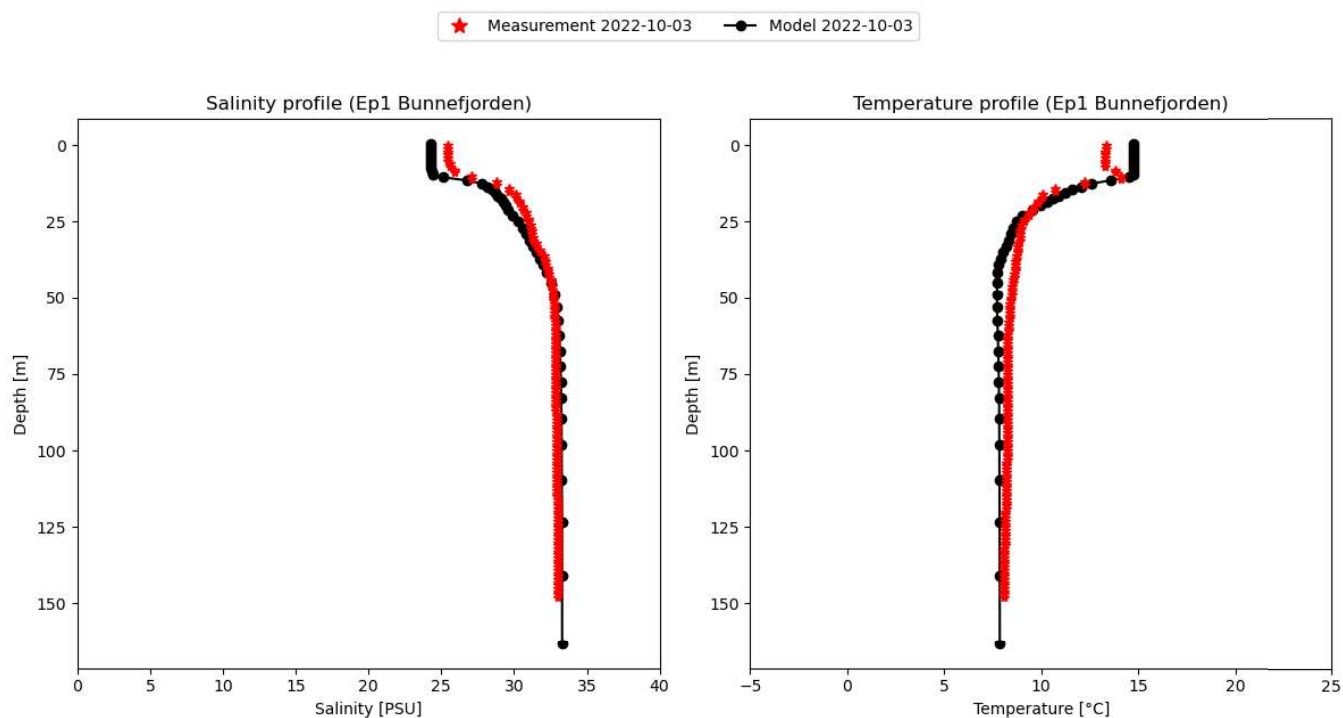
Figur A- 78 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 18.07.2022 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Ep1 - Bunnefjorden - 2022-08-24



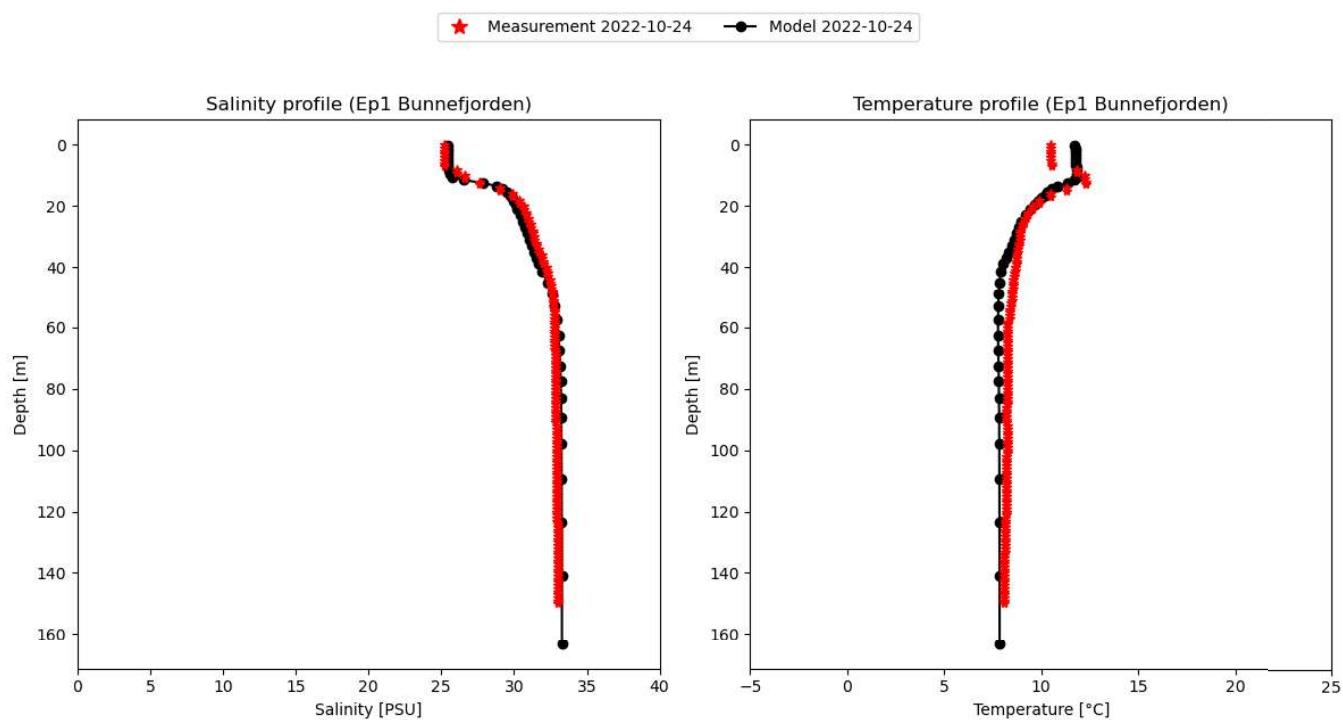
Figur A- 79 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 24.08.2022 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Ep1 - Bunnefjorden - 2022-10-03



Figur A- 80 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 03.10.2022 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

Ep1 - Bunnefjorden - 2022-10-24

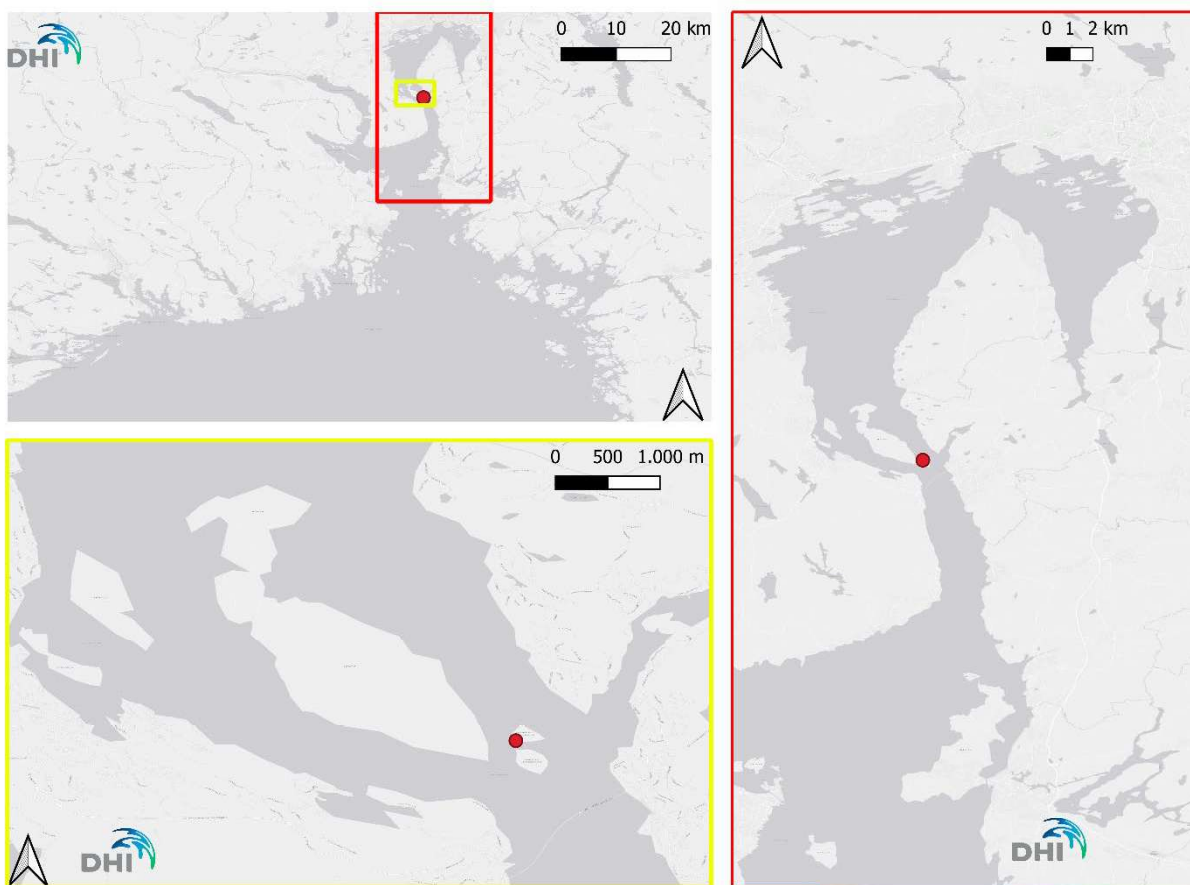


Figur A- 81 Målestasjon Ep1 i indre Oslofjord, profil for salinitet og temperatur 24.10.2022 (rød stjerne for måling og sort prikk og linje for modell).

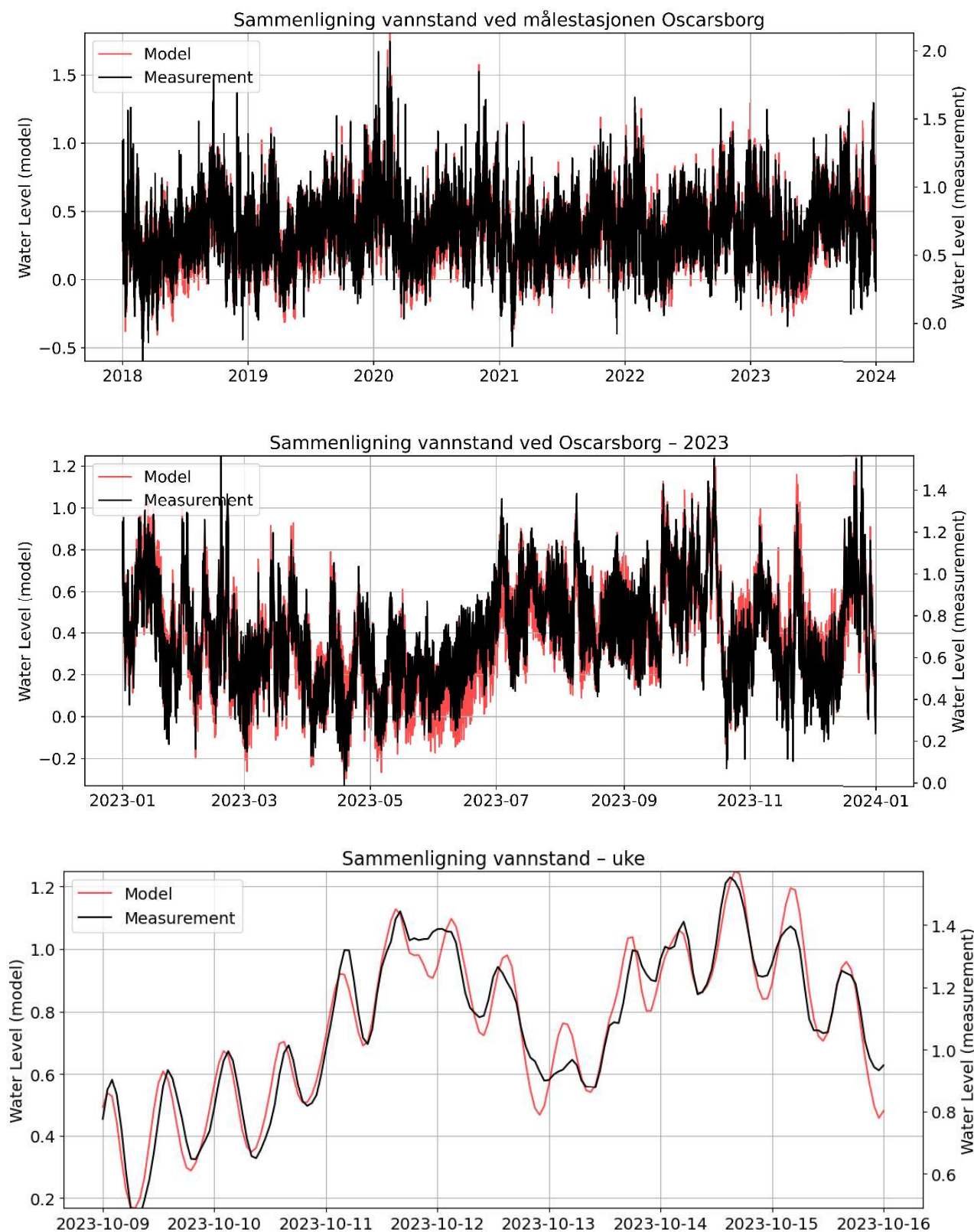
Vedlegg A.4.5 Vannstand

Kartverket har 30 permanente vannstandsmålere i Norge, <https://www.kartverket.no/til-sjos/se-havniva/lar-om-tidevann-og-vannstand/permanente-vannstandsmalere>, en av disse er Oscarsborg, som er plassert ved Oscarsborg festning. Målestasjonen er vist i Figur A- 82.

Sammenligningen mellom målingen og modellen er vist i Figur A- 83. Modellen viser god samsvar med observerte vannstandsnivåer ved Oscarsborg målestasjon over hele den seksårige simuleringsperioden. Dette styrker tilliten til modellens evne til å representere de store vannstandsvariasjonene og tidevannskomponentene.



Figur A- 82 Målestasjon for vannstand ved Oscarsborg.



Figur A- 83 Vannstand ved Oscarsborg, sammenligning mellom modell (rød linje) og målinger (sort linje), for hele modellperioden (topp), 2023 (midten) og en uke i 2023 (bunn). Målestasjonen er vist i Figur A- 82.

Vedlegg B Årlige resultater for transport gjennom tverrsnitt

Tabell B 1 Akkumulert volumtransport Drøbaksundet.

	Akkumulert Volumtransport (m ³ /s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2018	-18,5	-18,5	-18,5	0	0
2019	-38,4	-38,4	-38,4	0	0
2020	-34	-33,9	-33,8	-0,3	-0,6
2021	-20,3	-20,3	-20,4	0	0,5
2022	-13	-13	-13	0	0
2023	-38,7	-38,8	-38,8	0,3	0,3
Gjennomsnitt	-27,1	-27,1	-27,1	0	0

Tabell B 2 Akkumulert salttransport Drøbaksundet.

	Akkumulert Salttransport (kg/s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2018	267,4	300,6	330,6	12,4	23,7
2019	-601,4	-614,7	-638,9	2,2	6,2
2020	-431,1	-407,5	-403,2	-5,5	-6,5
2021	887,6	878,9	890,6	-1,0	0,3
2022	-173,0	-180,3	-202,4	4,2	17,0
2023	337,8	333,6	354,0	-1,3	4,8
Gjennomsnitt	47,9	51,8	55,1	8,1	15,2

Tabell B 3 Positiv akkumulert salttransport Drøbaksundet.

	Akkumulert Positiv Salttransport (kg/s)			Akkumulert Positiv Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2022	74148	74781	75941	0,9	2,4
2023	74102	74697	75865	0,8	2,4
Gjennomsnitt	74125	74739	75903	0,8	2,4

Tabell B 4 Akkumulert volumtransport Småskjær – Drøbak.

	Akkumulert Volumtransport (m ³ /s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2018	12,6	104,4	54	728,6	328,6
2019	-10,9	59,6	37,1	-646,8	-440,4
2020	-6,9	79,5	41,7	-1252,2	-704,3
2021	16,4	108,6	54,4	562,2	231,7
2022	7,7	70,6	60,1	816,9	680,5
2023	4,6	106,3	30,8	2210,9	569,6
Gjennomsnitt	3,9	88,2	46,4	403,3	111,0

Tabell B 5 Akkumulert salttransport Småskjær – Drøbak.

	Akkumulert Salttransport (kg/s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2018	1154,1	3736,8	1870,3	223,8	62,1
2019	178,5	2120,5	1098,1	1088	515,2
2020	329,9	2632,4	1237,6	697,9	275,1
2021	1860,7	4301	2331,3	131,1	25,3
2022	444,0	2248,4	1600,7	406,4	260,5
2023	1495,8	4209,5	1656,2	181,4	10,7
Gjennomsnitt	910,5	3208,1	1632,4	454,8	191,5

Tabell B 6 Positiv akkumulert salttransport Småskjær – Drøbak.

	Akkumulert Positiv Salttransport (kg/s)			Akkumulert Positiv Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2022	56579,2	49923,6	44954,8	-11,8	-20,5
2023	56596,6	50537,5	44311,7	-10,7	-21,7
Gjennomsnitt	56587,9	50230,5	44633,2	0,8	2,4

Tabell B 7 Akkumulert volumtransport Jetéen mellom Hurum og Småskjær.

	Akkumulert Volumtransport (m ³ /s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2022	-20,7	-83,6	-73,1	303,9	253,1
2023	-43,2	-145	-69,6	235,6	61,1
Gjennomsnitt	-31,9	-119,2	-73,5	269,8	157,1

Tabell B 8 Akkumulert salttransport Jetéen mellom Hurum og Småskjær.

	Akkumulert Salttransport (kg/s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2022	-611,9	-2423,7	-1797,9	296,1	193,8
2023	-1170,6	-3888,1	-1314	232,1	12,3
Gjennomsnitt	910,5	3208,1	1632,4	264,1	77,1

Tabell B 9 Positiv akkumulert salttransport Jetéen mellom Hurum og Småskjær.

	Akkumulert Positiv Salttransport (kg/s)			Akkumulert Positiv Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2022	2797,6	10835,4	17683,6	287,3	532,1
2023	2280	9578,9	17997,1	320,1	689,3
Gjennomsnitt	2538,8	10207,1	17840,4	303,7	610,7

Tabell B 10 Akkumulert volumtransport Håøya – Drøbak.

	Akkumulert Volumtransport (m ³ /s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2018	283,3	213,1	142,3	-24,8	-49,8
2019	248,7	173,2	125,4	-30,4	-49,6
2020	246,1	176,8	129,2	-28,2	-47,5
2021	278,7	215	142,6	-22,9	-48,8
2022	257,2	182,8	145,1	-28,9	-43,6
2023	273,3	209,4	126,7	-23,4	-53,6
Gjennomsnitt	264,6	195,1	135,2	-26,4	-48,8

Tabell B 11 Akkumulert salttransport Håøya – Drøbak.

	Akkumulert Salttransport (kg/s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2018	8489,7	6841,8	4227,3	-19,4	-50,2
2019	7097,8	5326,2	3414,9	-25,0	-51,9
2020	6785,4	5271,0	3402,8	-22,3	-49,9
2021	8880,2	7322,2	4627,1	-17,5	-47,9
2022	7238,7	5425,5	3886,2	-25,0	-46,3
2023	8674,6	7151,8	4170,3	-17,6	-51,9
Gjennomsnitt	7861,1	6223,1	3954,8	-20,8	-49,7

Tabell B 12 Positiv akkumulert salttransport Håøya – Drøbak.

	Akkumulert Positiv Salttransport (kg/s)			Akkumulert Positiv Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2022	51963	48381	45435	-6,9	-12,6
2023	52770	49417	45311	-6,4	-14,1
Gjennomsnitt	52367	48899	45373	-6,6	-13,4

Tabell B 13 Akkumulert volumtransport Hurum – Håøya.

	Akkumulert Volumtransport (m ³ /s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2018	-301,7	-231,5	-160,7	-23,3	-46,7
2019	-286,3	-210,8	-163	-26,4	-43,1
2020	-279,5	-210,2	-162,5	-24,8	-41,9
2021	-298,8	-235,2	-162,9	-21,3	-45,5
2022	-270,2	-195,7	-158	-27,6	-41,5
2023	-311,1	-247,4	-164,7	-20,5	-47,1
Gjennomsnitt	-291,3	-221,8	-162,0	-24,0	-44,3

Tabell B 14 Akkumulert salttransport Hurum – Håøya.

	Akkumulert Salttransport (kg/s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2018	-8236,3	-6554,9	-3911,2	-20,4	-52,5
2019	-7673,4	-5915,9	-4027,7	-22,9	-47,5
2020	-7203,9	-5666,5	-3794,4	-21,3	-47,3
2021	-8020,5	-6470,8	-3764,9	-19,3	-53,1
2022	-7402,2	-5596,3	-4078,0	-24,4	-44,9
2023	-8362,1	-6843,0	-3841,7	-18,2	-54,1
Gjennomsnitt	-7816,4	-6174,6	-3903	-21,0	-50,1

Tabell B 15 Positiv akkumulert salttransport Hurum – Håøya.

	Akkumulert Positiv Salttransport (kg/s)			Akkumulert Positiv Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2022	17163	22799	25851	32,8	50,6
2023	16073	21396	25623	33,1	59,4
Gjennomsnitt	16618	22097,5	25737	33,0	54,9

Tabell B 16 Akkumulert volumtransport Asker – Nesodden.

	Akkumulert Volumtransport (m ³ /s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2018	-16,4	-16,4	-16,4	0	0
2019	-31,9	-31,9	-31,9	0	0
2020	-28,7	-28,7	-28,6	0	-0,3
2021	-17,6	-17,6	-17,7	0	0,6
2022	-11,7	-11,7	-11,7	0	0
2023	-32	-32,1	-32,1	0,3	0,3
Gjennomsnitt	-23,1	-23,1	-23,1	0,1	0,1

Tabell B 17 Akkumulert salttransport Asker – Nesodden.

	Akkumulert Salttransport (kg/s)			Akkumulert Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2018	179,8	205,4	227,0	14,3	26,3
2019	-487,0	-499,0	-516,0	2,5	5,9
2020	-326,5	-309,2	-304,4	-5,3	-6,8
2021	694,0	688,3	695,7	-0,8	0,2
2022	-141,5	-146,9	-163,3	3,9	15,5
2023	263,0	260,2	277,4	-1,0	5,5
Gjennomsnitt	30,3	33,1	36,1	9,5	19,2

Tabell B 18 Positiv akkumulert salttransport Asker – Nesodden.

	Akkumulert Positiv Salttransport (kg/s)			Akkumulert Positiv Salttransport Differanse (%)	
	Baseline	Scenario 1	Scenario 2	Scenario 1	Scenario 2
2022	97142	99999	98869	2,9	1,8
2023	94341	96669	94767	2,5	0,5
Gjennomsnitt	95742	98334	96818	2,7	1,1