



Dokumentasjonsvedlegg til søknad om landbasert konsesjon for
Norwegian Seafarming AS i Ramsvika i Tysvær kommune

DHI AS notat partikkelspredningsmodellering i
Yrkefjorden 2021

Partikkelspredningsmodellering i Yrkefjorden

Spredningsmodellering med lokal numerisk strømmodell

Trinn 2 og 3 av Modellering av strømforhold i Yrkefjorden

Utarbeidet for
Representert ved

Rådgivende Biologer
Geir Helge Johnsen, Nestleder -
Fagansvarlig Vann



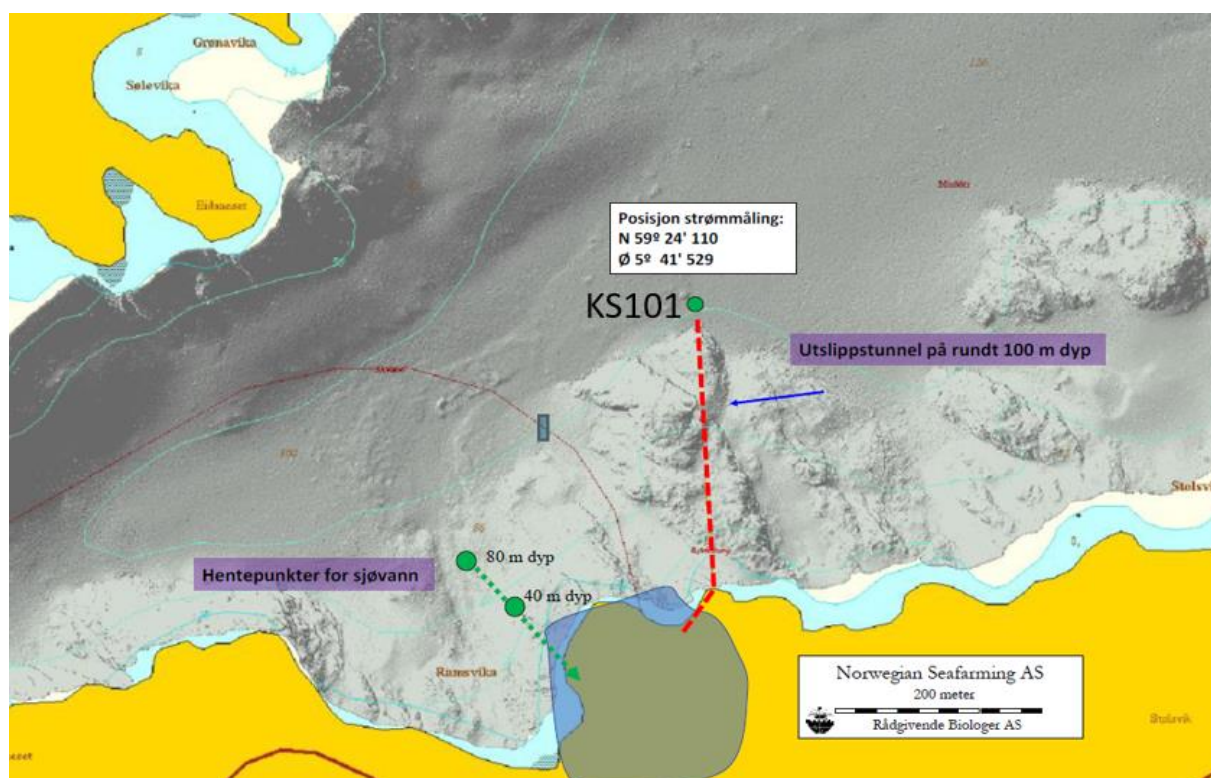
Prosjektleder	Mathias Singsaas Frøseth
Forfatter	Mathias Singsaas Frøseth
Kvalitetsansvarlig	Mads Joakim Birkeland og Thomas Uhrenholdt

Prosjektnummer	13801221
Godkjennelsesdato	18.06.2021
Revisjon	Endelig 1.0
Klassifikasjon	Begrenset

1 Introduksjon

Dette notatet sammenfatter resultater ifra partikkelspredning og 3D modellering av strømbildet i Yrkefjorden, som er Trinn 2 og 3 av modellering.

Det er modellert et planlagt utslipp av avløpsvann fra et nytt landbasert anlegg for produksjon av matfisk på 15.000 tonn i Ramsvika i Yrkefjorden i Tysvær kommune. Dette er sjøvann som tas fra både 80 og 40 meters dyp, går igjennom anlegget og slippes ut ved grønt punkt på 100 m dyp omtalt med koordinater i Figur 1.1. Det er benyttet samme posisjon for utslippspunktet fra tunnelen som posisjon for strømmålingene i KS101.



Figur 1.1 Bunnkart fra multistrålekartleggingen, sammen med posisjon for strømmåling og utslippspunkt (KS101) (hentet ifra Rådgivende Biologers tilbudsforespørsel)

Modellen settes opp til å simulere en periode på ett år, fra 1. mai 2020 til 1. mai i 2021. Denne perioden er valgt for å sikre at sesongvariasjonene er inkludert. Valideringen i vedlegg A viser også at modellresultatene i 2020-2021 var i samme størrelsesorden som de målte dataene i 2020 og 2021.

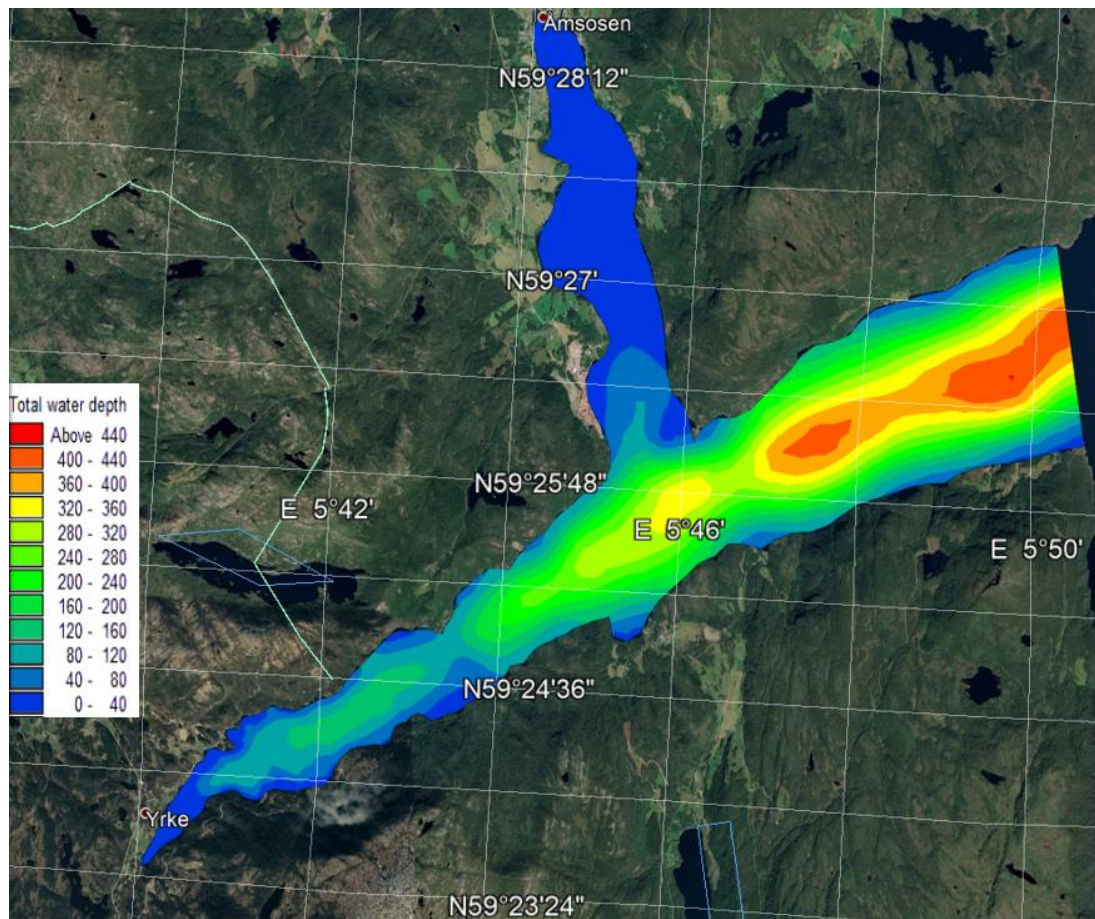
DHIs eget verktøy MIKE 3 HD FM og MIKE ECOLAB er benyttet til beregningene, som er et sterkt modelleringsverktøy sprunget ut ifra DHIs anerkjente programvarepakke MIKE Powered By DHI.

Resultatene er beregnet i tre fysiske dimensjoner, samt varierende i tid, og det er derfor behov for å sammenfatte og forenkle. I dette notatet presenteres derfor hovedresultater fra analysen, med utfyllende informasjon om oppsett og validering i vedlegg A.

2 Resultater strømmodellering

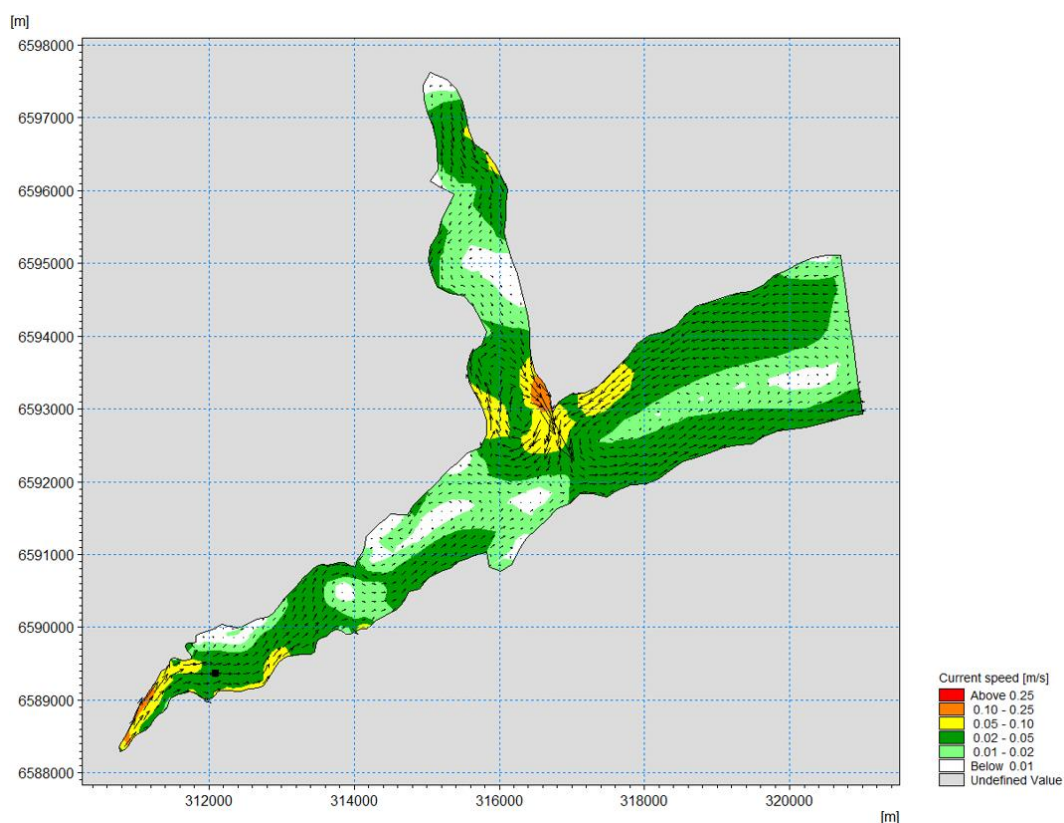
Validering av den hydrodynamiske modellen er presentert i vedlegg A.

Etter at modellen er satt opp, kalibrert og validert er modellen klar til bruk for å finne strømbildet i Yrkefjorden og senere modellere partikkelspredning basert på denne hydrodynamiske modellen. Modelldomenet er vist i Figur 2.1.

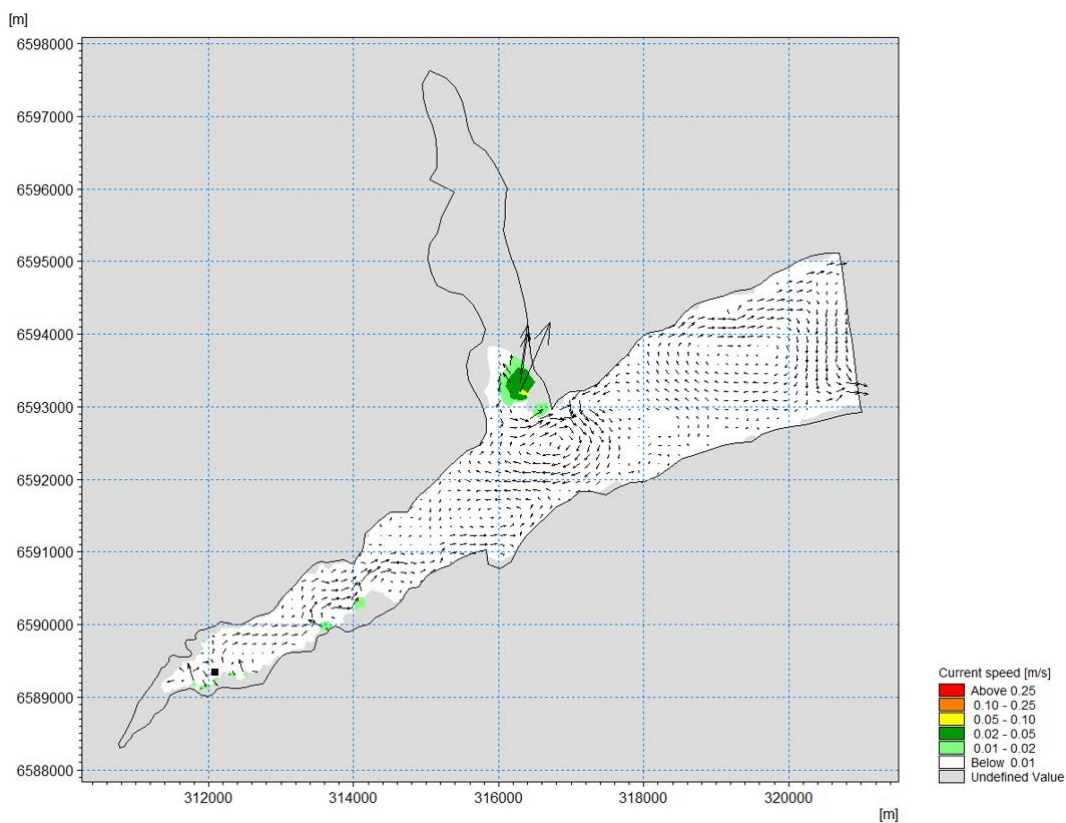


Figur 2.1 Modellområdet i Yrkefjorden

Netto strømming for vannoverflaten og -70 m er vist i Figur 2.2 og Figur 2.3. I vannoverflaten kan man se at vannet strømmer inn i Yrkefjorden i nord og ut i sør i overflaten. Inne ved utslippspunktet er det en utadgående overflatestrøm, noe som er forventet siden det er utløp fra en elv innerst i Yrkefjorden. Ved innlagringsdybden på rundt -71m er det generelle strømbildet at vannet er utadrettet til Vindafjorden, men med noen lokale komplekse systemer.

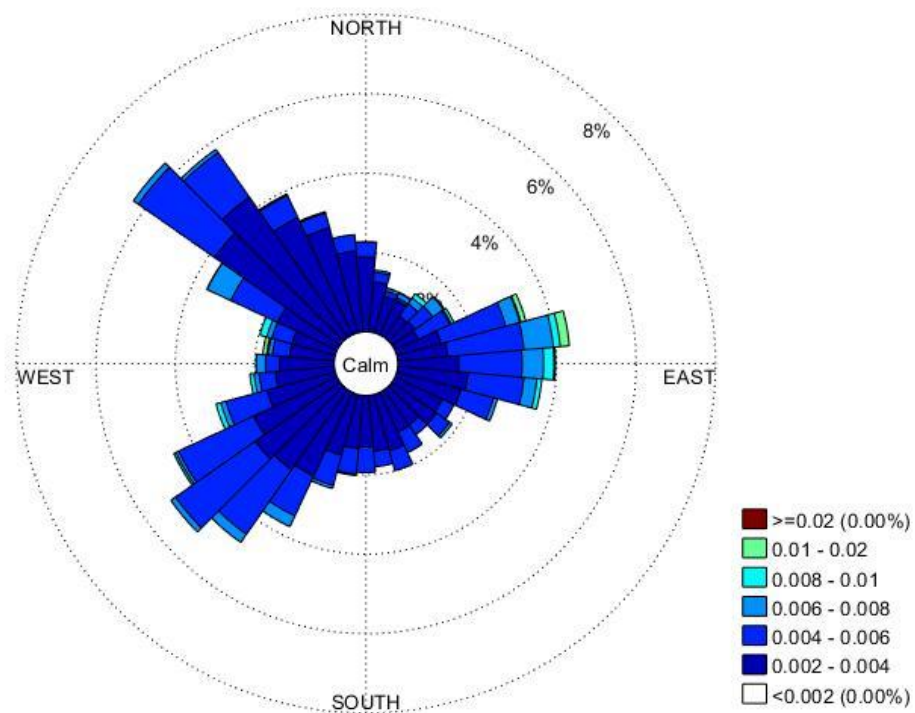


Figur 2.2 Netto strømning i vannoverflaten i modellperioden, den sorte firkanten markerer utslippspunktet



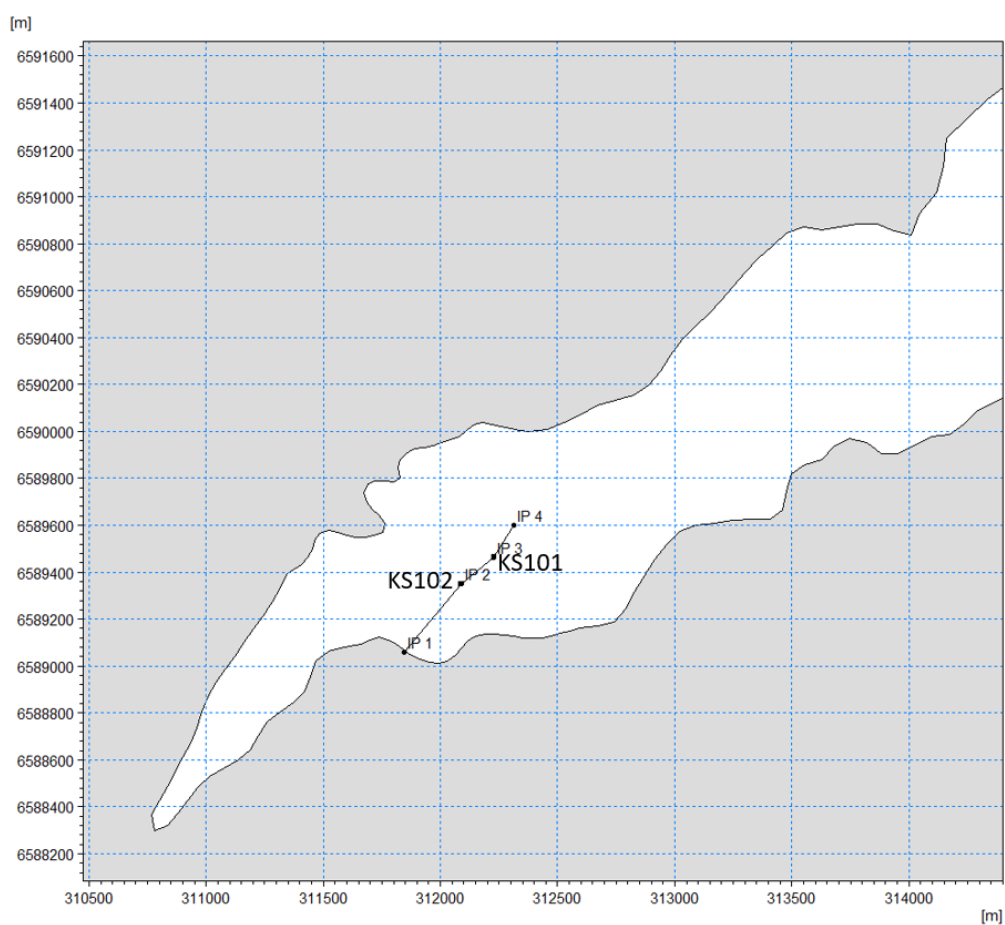
Figur 2.3 Netto strømning i -71 m i modellperioden, den sorte firkanten markerer utslippspunktet

Som nevnt tidligere er det KS101 i Figur 1.1 som blir undersøkt som utløpspunkt i dette notatet. I «Notat innlagingsberegninger i Yrkefjorden» (DHI, 2021) ble det funnet at innlagingsdybden av fanen med avløpsvann og næringsstoffer ville være på rundt 71 m dyp. I Figur 2.4 er en strømrose i dette punktet på denne dybden vist. Strømrosen viser at strømmen i punktet er veldig svak og multidireksjonal.

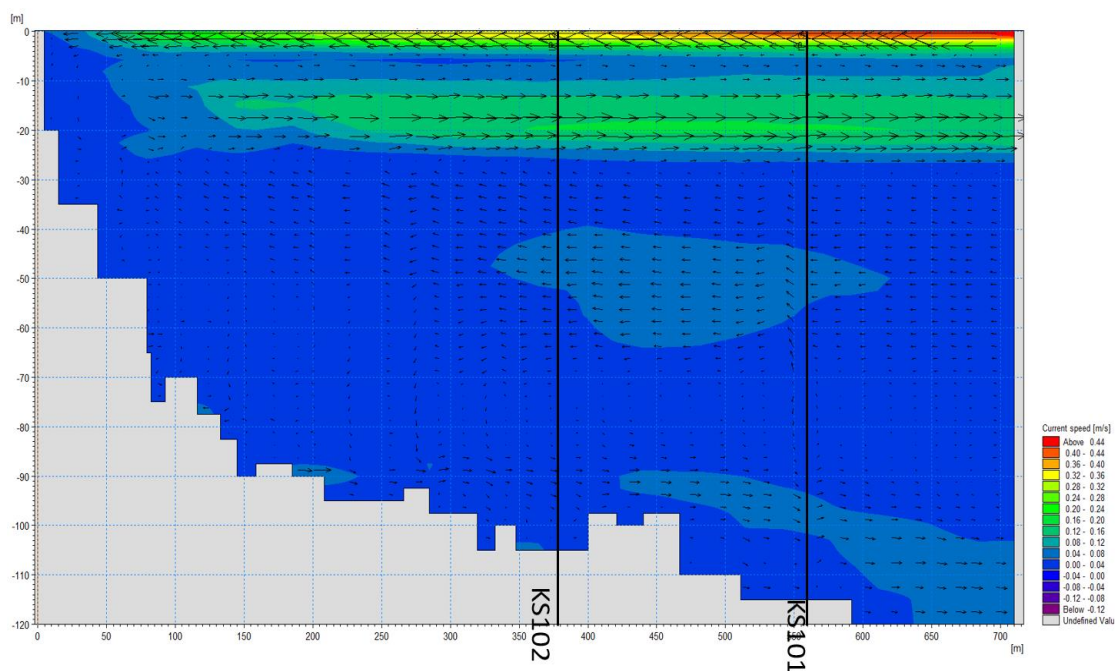


Figur 2.4 Tidsserie modellert strømhastighet (m/s) ved KS101 på -71 m dyp

Det er også laget et vertikalt tverrsnitt i Yrkefjorden for å vise variasjonen av strømhastigheten i dybden. Lokasjonen til tverrsnittet er vist i Figur 2.5, og vertikalprofilet av strømhastigheten er vist i Figur 2.6. Dette er et øyeblikksbilde på et tilfeldig tidspunkt. Her kan man se et eksempel på de kompliserte strømningene som foregår i de forskjellige dybdene.



Figur 2.5 Lokasjon for tverrprofil



Figur 2.6 Vertikalprofil som viser et øyeblikksbilde av strømhastigheten

3 Resultater partikkelspredning

DHIs eget verktøy MIKE ECOLAB (DHI, 2021) er benyttet til beregningene av partikkelspredning.

ECOLAB beskriver vannkvaliteten og sedimentdynamikken kombinert med den hydrodynamiske modellen. ECO Lab er drevet av en Euleriansk beskrivelse av AD (adveksjon / spredning) og sedimentdynamikk. Euler-tilnærmingen er valgt på grunn av at partiklene er relativt små ($<0,1\text{ mm}$) og den individuelle bevegelseshastigheten er lav. Bruken av Euleriansk modellering muliggjør en langt mer omfattende og dermed detaljert spredning av partiklene i tid og rom, og resulterer i en bedre representasjon av den geografiske fordelingen av partiklene.

Den Eulerianske beskrivelsen av organiske karbon og fosfor prosesser (C og P) inkluderer erosjon, resuspensjon og re-avsetning av C og P avsatt på havbunnen, mens N er oppløst. De simulerte tilstandsvariablene inkluderer:

- Resuspendert organisk C , og P , DC og DP (mg / l) (detritus C , og P)
- Sediment organisk C , og P , SOC (Sediment Organic Carbon) og SOP (Sediment Organic Phosphor) (g / m^2)
- Oppløst N , DN (mg/l) (dissolved nitrogen)

Etter avsetning av partikler overføres alt avsatt C og P til to tilstandsvariabler som representerer det avsatte C -, og P -innholdet i sedimentet. Erosjon og resuspensjon utløses når en kritisk skjærspenning overskrides. Erosjon / resuspensjon beregnes som en funksjon av ren spenning og eroderbarhet av sedimenter. Erosjonsformulering for sedimenter som dokumentert i MIKE MT-modulen (DHI, 2021) brukes. Resuspendert C og P overføres til pelagisk tilstandsvariabel for detritus-karbon (DC og DP) som er gjenstand for adveksjon og spredning, og gjenavsetning. Gjenavsetning oppstår når den kritiske skjærspenningen for gjenavsetning er under den totale skjærspenningen i sjiktet. Under gjenavsetning transporteres detritus (C og P) vertikalt nedover og inkorporeres gradvis i sedimentet.

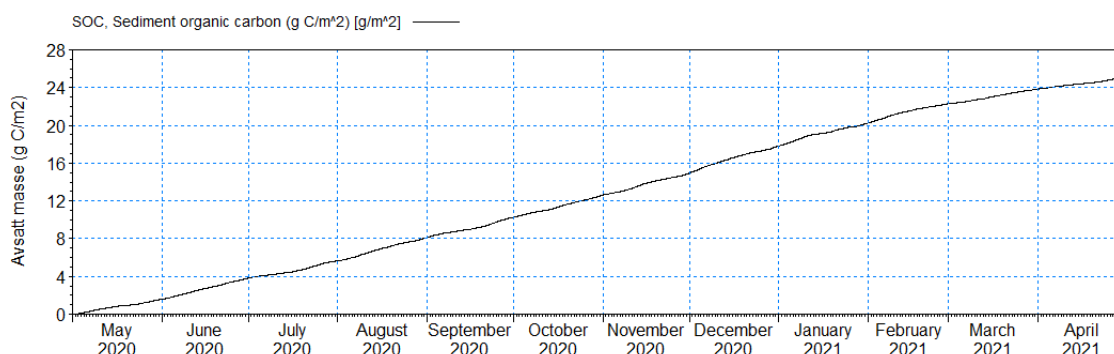
Nitrogen er inkludert i modellen som oppløst nitrogen (DN). DN er utsatt for adveksjon og spredning i vannsøylen, men ikke setning og gjensavsetning.

Med utgangspunkt i at utslippet vil foregå i KS101 (med innlagringsdybden av fanen med avløpsvann og næringsstoffer på rundt 71 m dyp) er det satt opp en modell med den hydrodynamiske modellen som driver, med utslipp av næringsstoffer som består av (obs: merk at enheten som er benyttet er $\mu\text{g/l}$, mikrogram per liter):

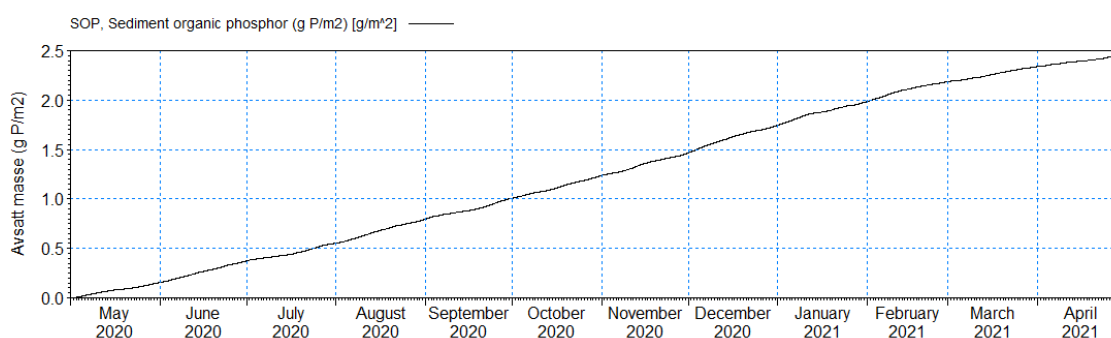
- Nitrogen (N): 1596 $\mu\text{g/l}$
- Fosfor (P): 166 $\mu\text{g/l}$
- Organisk stoff (TOC): 1692 $\mu\text{g/l}$.

Det er verdt å merke seg at det er ikke tatt hensyn til bakgrunnskonsentrasjoner, og at konsentrasjonene kan anses som overkonsentrasjoner.

Basert på partikkelstørrelsen ($<0,1\text{ mm}$) er fallhastigheten satt til 0,1 m/dag, og kritisk skjærspenningene til resuspensjon ble satt til 0,1 N/m^2 (tilsvarer en vannhastighet på ca. 0,2 m/s). Utslipet innleires i -71m og kommer med en middelvannføring på 650 m^3/min og maksimalvannføring med 900 m^3/min ; maksimalvannføringen er satt til å være tilfellet to timer hver 10. dag, når kar i anlegget skylles. I Figur 3.1 og Figur 3.2 kan man se tidsserien av utviklingen av avsatt masse SOC og SOP over ett år i punktet med høyest avsetning.

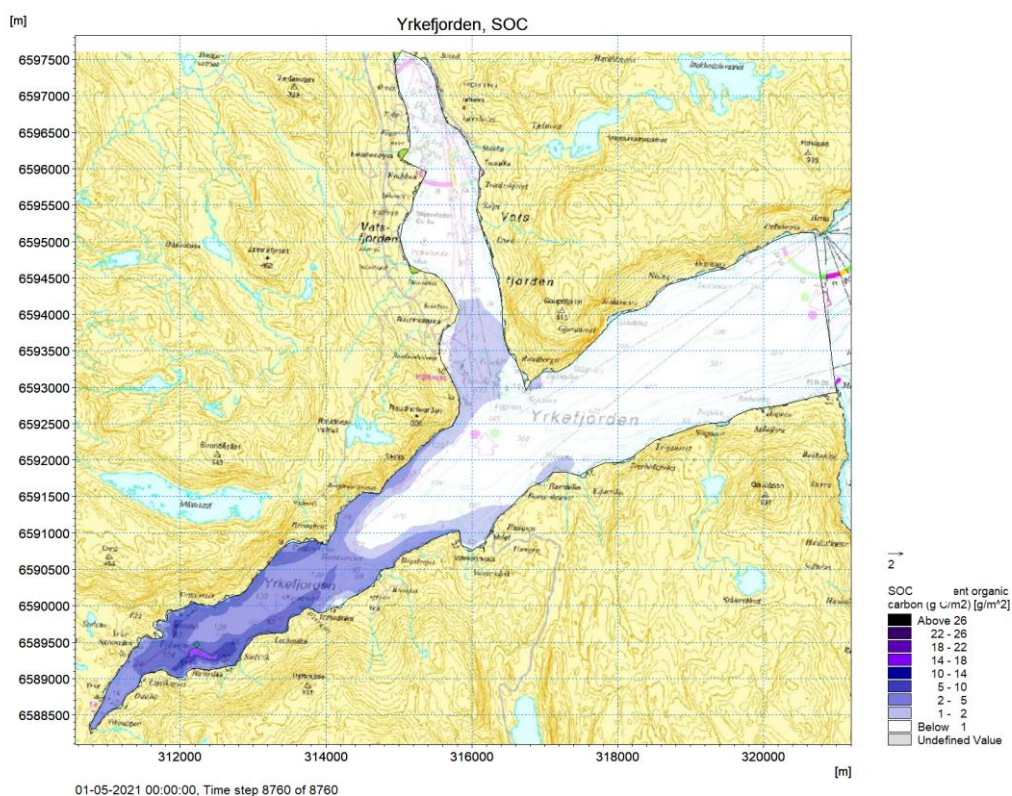


Figur 3.1 Tidsserie som viser utviklingen av den avsatte massen av karbon (C) i punktet med mest avsetning på ett år

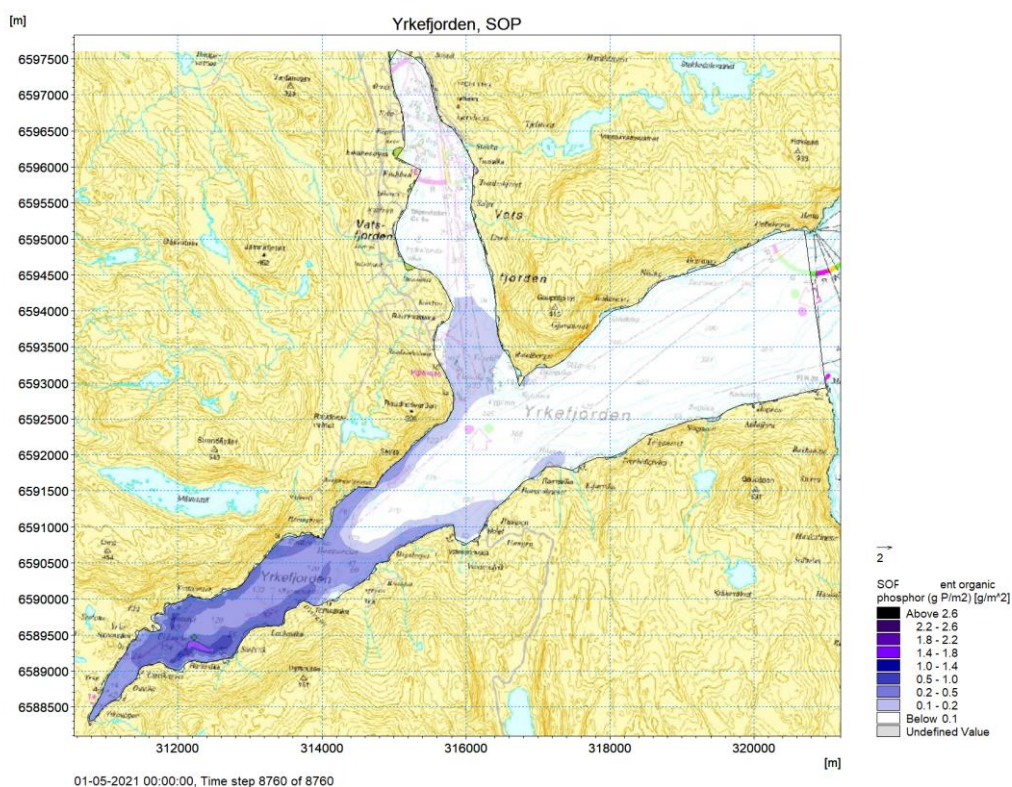


Figur 3.2 Tidsserie som viser utviklingen av den avsatte massen av fosfor (P) i punktet med mest avsetning på ett år

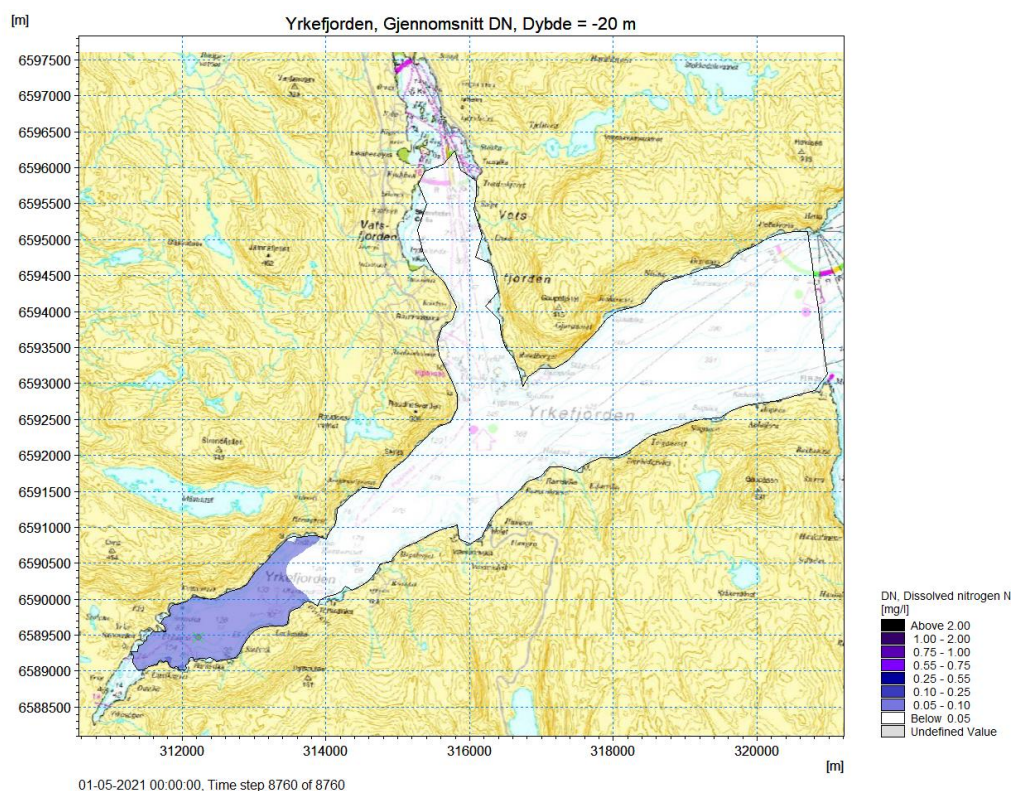
I Figur 3.3 og Figur 3.4 er oversiktskart over avsatte masser for Karbon og Fosfor vist. Det kan sees at avsatte masser sprer seg for det meste innerste i Yrkefjorden. Men at det også sprer seg langs utover i Yrkefjorden og noe opp i Vatsfjorden. I Figur 3.5 til Figur 3.8 er oppløst Nitrogen vist; både i overflatelaget, like over den forventede dybde av termoklinen og haloklinen (-20 m) (se Figur A-9 og Figur A-10) og ved innlagringsdybden på -71 m. Dette er vist for både gjennomsnitts og 90% persentil verdien over ett år. 90% persentil vil si verdien som kun er overskridet 10% av tiden over ett år. En kan se her at det er høyest konsentrasjon av Nitrogen innerst i Yrkefjorden, men at det også spres utover og inn i Vatsfjorden. Merk at det kan forekomme forskjeller mellom dybdeangivelse sjøkartet (bakgrunn fra Kystverkets www.kystinfo.no) og batymetridata benyttet til modelloppbyggingen (fra Kartverket og bunnoppmålingsdata fra Rådgivende Biologer). Merk at skalaen for Fosfor er en tiendedel av Karbon. Utslippspunktet er merket med et grønt kryss over en prikk i figurene.



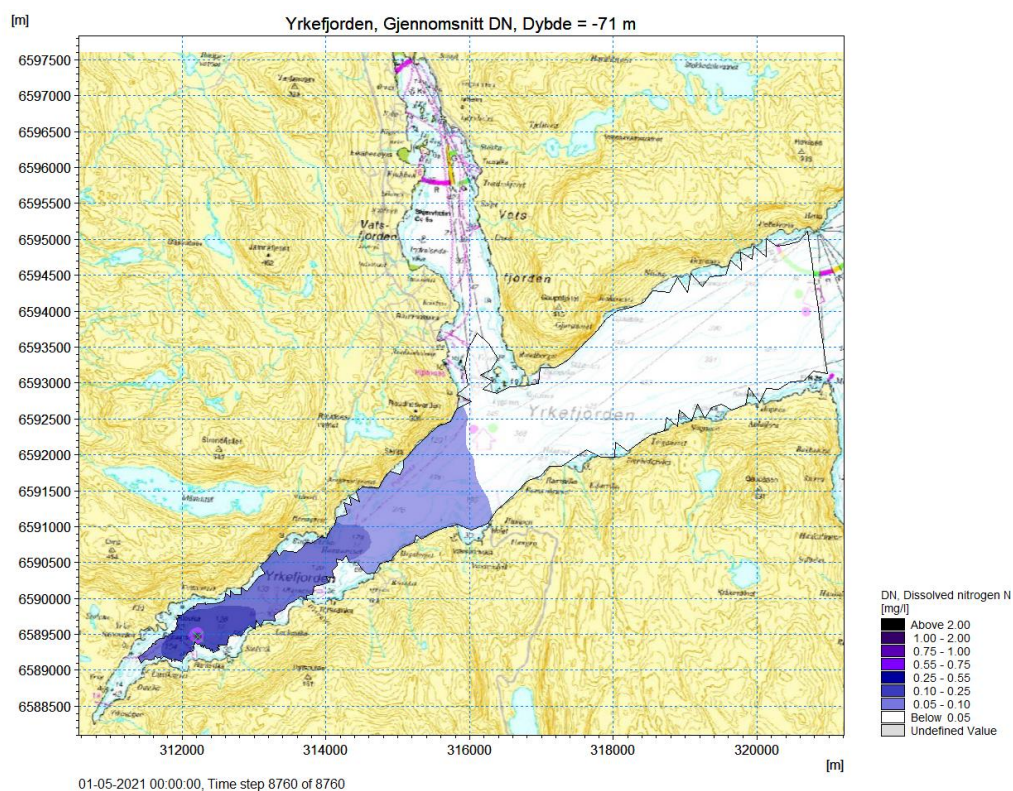
Figur 3.3 Oversiktskart over SOC (Sediment Organic Carbon) (g C/m²) etter ett år, utslippspunktet er markert med et grønt kryss over en prikk



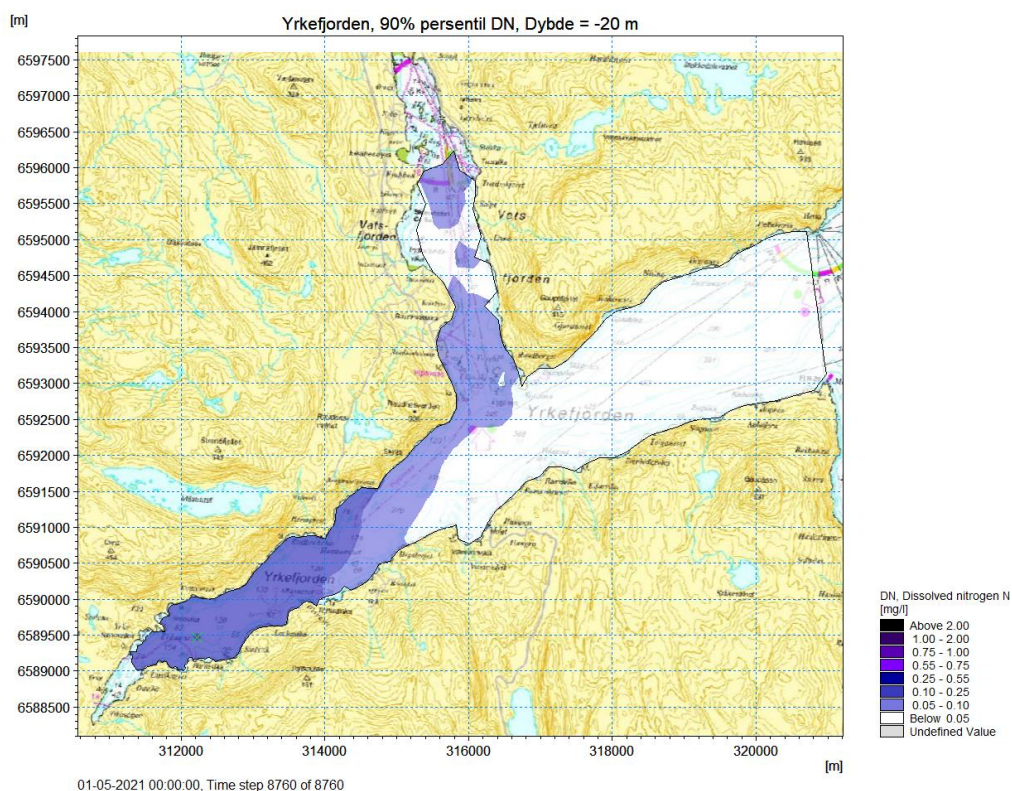
Figur 3.4 Oversiktskart over SOP (Sediment Organic Phosphor) (g P/m²) etter ett år, merk at skalaen er 1/10 av SOC, utslippspunktet er markert med et grønt kryss over en prikk



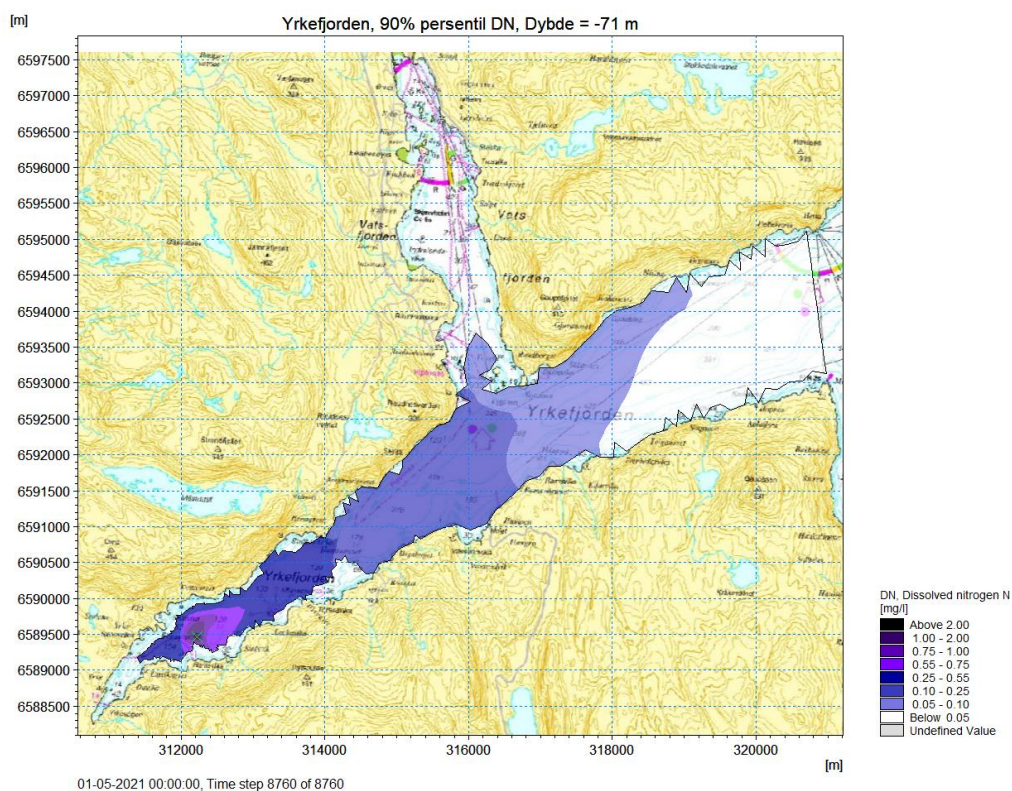
Figur 3.5 Oversiktskart over gjennomsnittlig *DN* konsentrasjon (Dissolved Nitrogen) (mg/l) over ett år i en dybde på -20m, utslippspunktet er markert med et grønt kryss over en prikk



Figur 3.6 Oversiktskart over gjennomsnittlig *DN* konsentrasjon (Dissolved Nitrogen) (mg/l) over ett år i innlagingsdybden på -71m, utslippspunktet er markert med et grønt kryss over en prikk



Figur 3.7 Oversiktskart over 90% persentil DN konsentrasjon (Dissolved Nitrogen) (mg/l) over ett år i en dybde på -20m, utslippspunktet er markert med et grønt kryss over en prikk



Figur 3.8 Oversiktskart over 90% persentil DN konsentrasjon (Dissolved Nitrogen) (mg/l) over ett år i innlagringsdybden på -71m, utslippspunktet er markert med et grønt kryss over en prikk

4 Diskusjon og konklusjon

For utførelse av trinn 3, strømodellering, er det satt opp en robust lokalmodell av Yrkefjorden, med god dekning i både tid og sted. Modellen har inkludert forseringer i form av meteorologiske felter fra StormGeo og 3D grensebetingelser fra DHIs operative regionalmodell. Modellen er validert mot eksisterende målinger i lokalområdet.

Resultatet fra avsetningen av karbon og fosfor viser avsatt masse for ett år, med en maksimal årlig avsetningsrate på ca. 25 g C og $\text{m}^{-2} \text{y}^{-1}$ (gram karbon per kvadratmeter per år) og ca. 2.5 g P $\text{m}^{-2} \text{y}^{-1}$ (gram fosfor per kvadratmeter per år). Strømmen er ganske omnidireksjonal ved utslippspunktet, og påvirker i stor grad hvilken retning massene fra utslippspunktet føres, så en kan se at avsetningen sprer seg i Yrkefjorden, men også opp i Vatsfjorden.

Resultatet fra spredning og fortykning av DN (Dissolved Nitrogen) viser maksimal modellert overkonsentrasjoner på 1-2 mg/l i innleiringsdybden og 0.25-0,55 mg/l i -20 m.

Med rådende strømforhold og bunntopografi sprer avsatte masser seg for det meste i indre deler av Yrkefjorden, men også i inngangen til Vatsfjorden.

Modellen for avsetning inkluderer ikke bakteriell mineralisering og faunaforbruk av karbon og fosfor. Derfor bør den modellerte avsetningen betraktes som konservativ. I utslippet er nitrogenet oppløst, mens det for fosfor og karbon er partikulært.

Følgende usikkerheter i modellresultatene trekkes frem;

- En usikkerhet i modellen kan være oppløsningen av topografien og vannsøylen i beregningsnett. Det ble valgt å gjøre et kompromiss hvor det er en fin oppløsning innerst i Yrkefjorden, mens det er en grovere oppløsning i ytre deler av Yrkefjorden og Vatsfjorden
- Begrenset informasjon og data om oseanografien i Yrkefjorden
- Usikkerhet i HD-forsering, f.eks. lokal meteorologi og lokal avstrømning
- De modellerte konsentrasjonene av oppløst Nitrogen er konservative da modellen ikke inkluderer pelagisk omsetning og primærproduksjon. Det betyr at en del av oppløst Nitrogen reelt vil bli mineralisert av bakterier eller tatt opp av phytoplankton og dermed inngå i den partikulære delen av Nitrogen mengden.

5 Bibliografi

DHI, 2021. *MIKE 21 & MIKE 3 Flow Model FM Mud Transport Module Scientific Documentation*.

Hørsholm: DHI.

DHI, 2021. *MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation*.

Hørsholm: DHI.

DHI, 2021. *MIKE ECO Lab Short Scientific Description*. Hørsholm: s.n.

DHI, 2021. *Notat innlagingsberegninger i Yrkefjorden*, s.l.: s.n.

VEDLEGG A – Validering av den hydrodynamiske modellen

A Validering av den hydrodynamiske modellen

I dette vedlegget er valideringen av den hydrodynamiske modellen presentert. Her er MIKE 2021 (DHI, 2021) brukt til beregningene.

A.1 Input til modellen

Til Trinn 2 og 3 er to typer modeller benyttet; en hydrodynamisk modell til beregning av strømmingen i Yrkefjorden og en økologisk modell brukt til partikkelspredning. Simuleringsperioden er 1. mai 2020 til 1. mai 2021.

Til forsering av den hydrodynamiske modellen er det brukt atmosfæriske forhold som påvirker Yrkefjorden-systemet både regionalt og lokalt; regionalt gjennom de åpne grensene (hentet ifra en operativ DHI-modell, som tidligere er blitt validert) 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

Merk at den hydrodynamiske modellen beregner fordampningen internt i varmevekslingsmodulen.

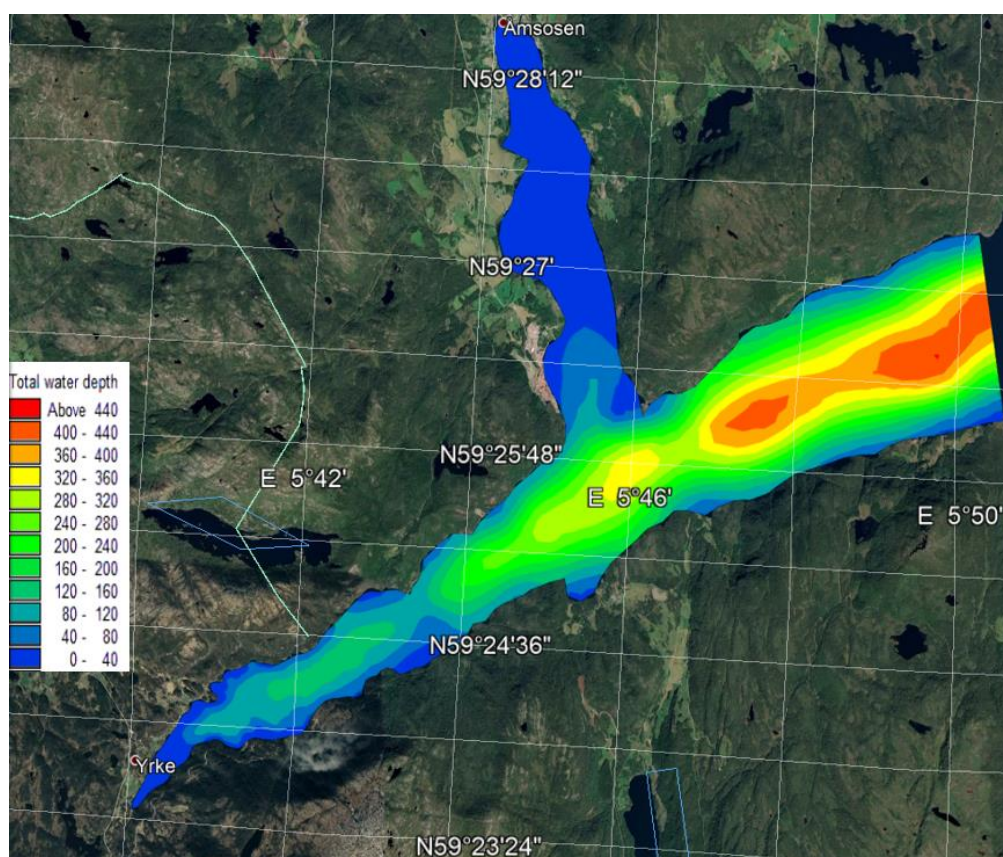
De meteorologiske dataene kommer fra StormGeo, en modell med en oppløsning på 1 time i tid og 0,1 ° i det geografiske domenet.

I den hydrodynamiske modellen er det lagt til et utslipp i KS101 i Figur 1.1, som ligger på innlagingsdybden 71 m (fremkommet gjennom Trinn 1 (DHI, 2021)).

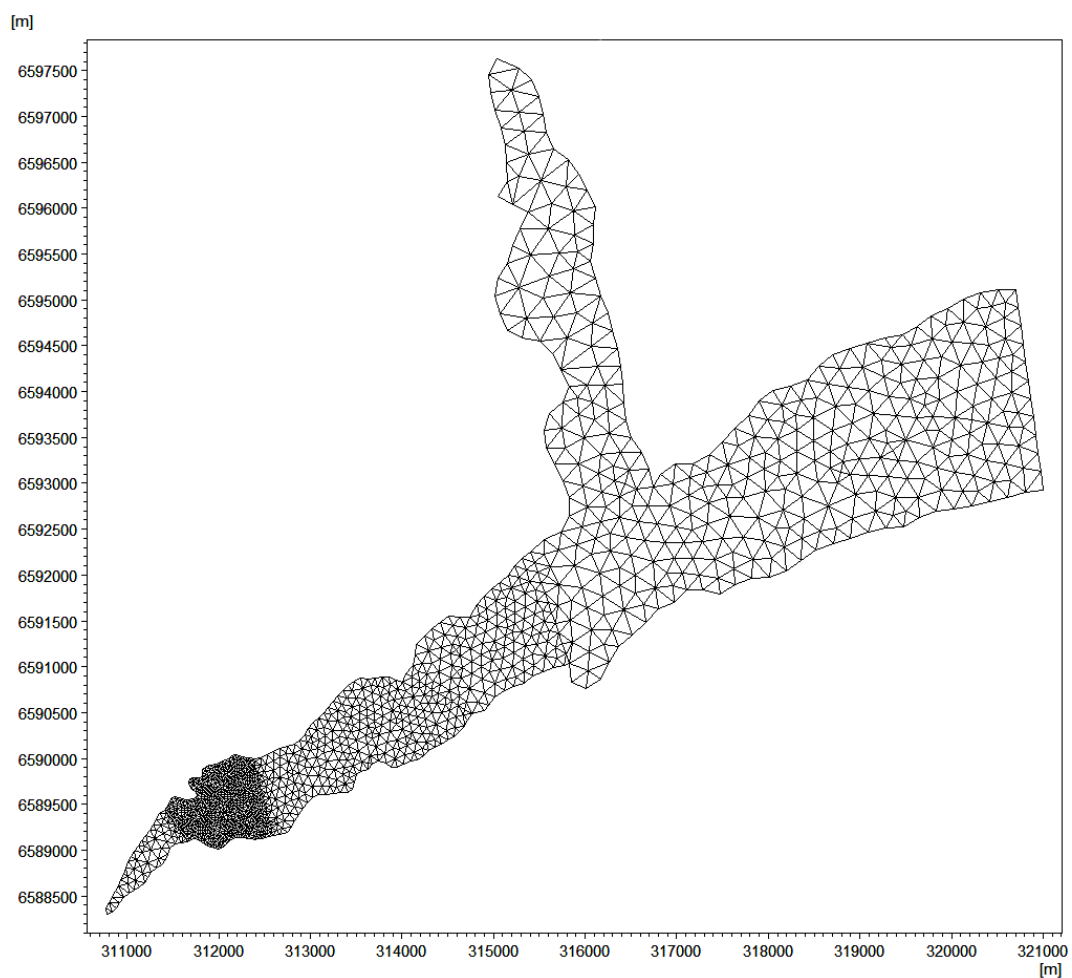
Utslipet kommer med en middelvannføring på 650 m³/min og maksimalvannføring med 900 m³/min. Maksimalvannføringen er antatt til være tilfelle to timer hver 10. dag, når kar i anlegget skylles, og utenom dette er middelvannføring anvendt.

A.2 Modellområde og -oppløsning

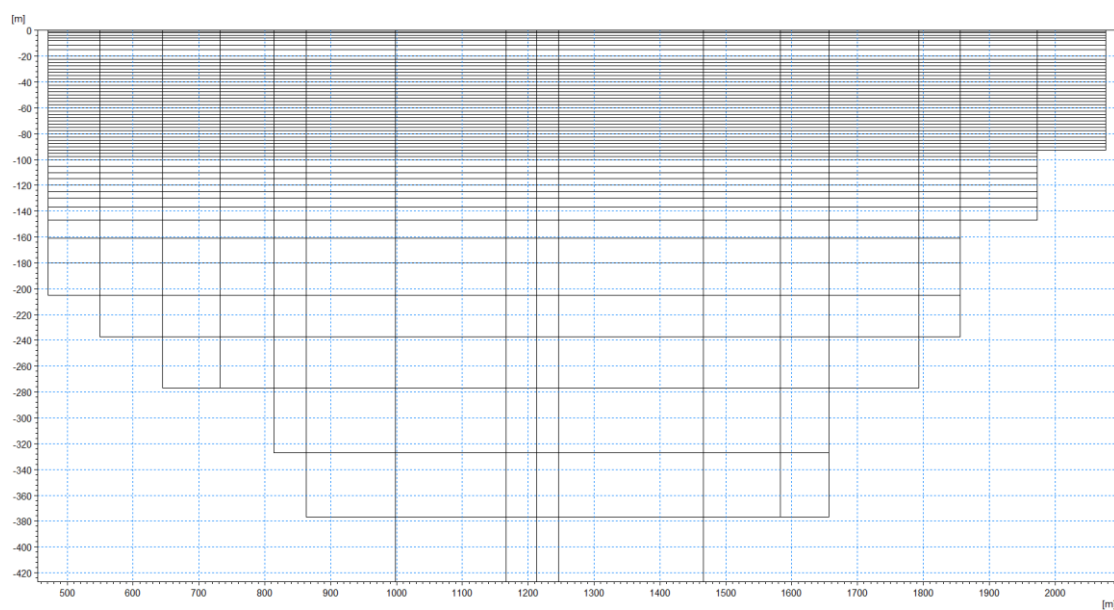
Modellområdet er vist i Figur A-1, og modellopløsningen er vist for henholdsvis horisontal og vertikal retning i Figur A-2 og Figur A-3. Oppløsningen i modellområdet varierer mellom 40 – 250 m (40m i interesseområdet) horisontalt, og mellom 1-50 m (1-2,5 m i interesseområdet) vertikalt.



Figur A-1 Modellområde Yrkefjorden



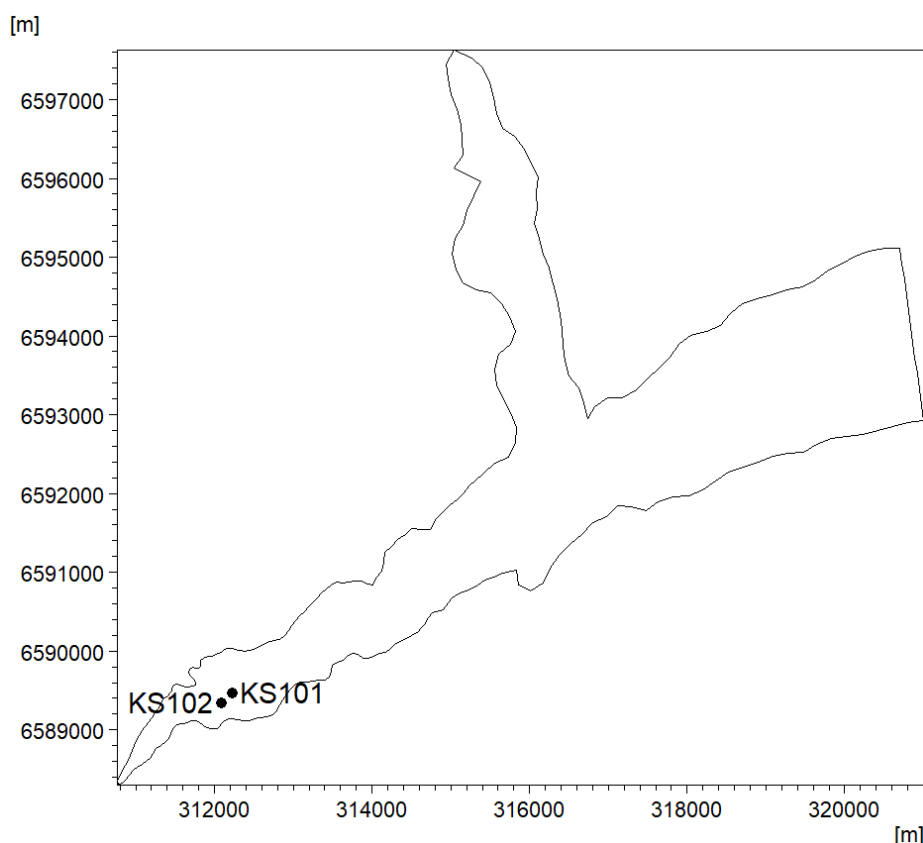
Figur A-2 Horizontal modeloppløsning, varierende mellom 40 – 250 m



Figur A-3 Vertikal modeloppløsning, varierende mellom 1 - 50 m

A.3 Modellvalidering

Strømningsmodellen er kalibrert og validert mot tilgjengelige, relevante målinger for området (målinger av saltholdighet, temperatur, strømhastighet og -retning i ulike posisjoner), for å sikre at sirkulasjon og vannutskiftning for simuleringsperioden beskrives riktig. Modellen settes opp til å simulere en periode på ett år, fra 1. mai 2020 til 1. mai i 2021. Denne perioden er valgt for å sikre at sesongvariasjonene er inkludert. Posisjonen til målingsstasjonene er vist i Figur A-4.



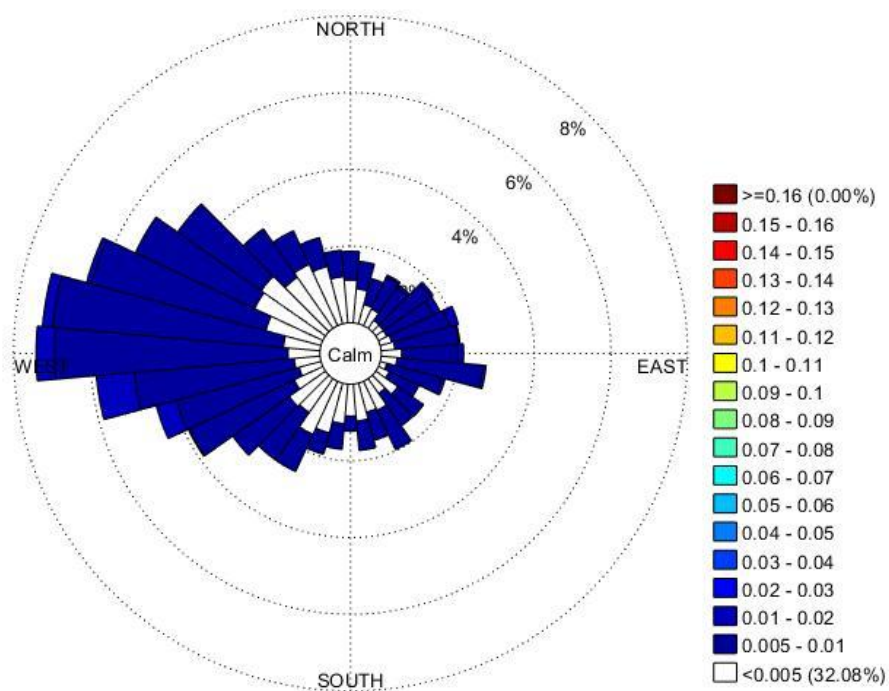
Figur A-4 Posisjoner hvor det er gjennomført målinger

A.3.1 Strøm

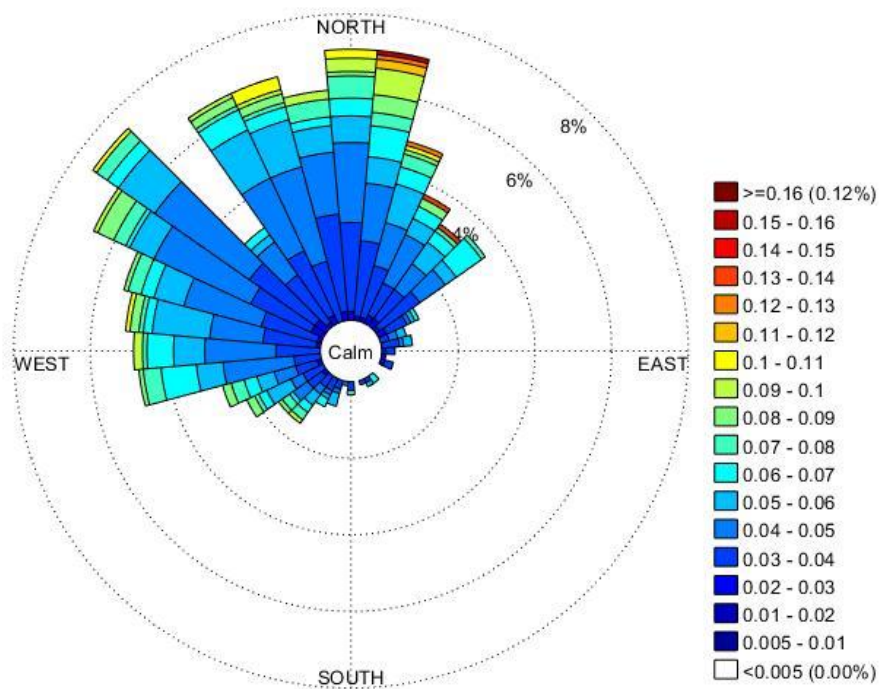
Det er utført strømmålinger ved -110 - -70 m ved KS101 og ved -55 - -7 m ved KS102. Måleperioden her var henholdsvis 03.03.21 – 08.04.21 og 26.10.20 – 01.12.20.

A.3.1.1 KS101

I Figur A-5 og Figur A-6 er strømmosen for henholdsvis modell og målte data i 80 m dyp. En kan se i begge strømmosene at en av hovedretningene er vestover. I de målte dataene er den andre hovedretning nordover, som ikke blir fanget like godt opp i modellen. Strømhastighetene i både målinger og modell er veldig lave, i gjennomsnitt under 0,03 m/s, noe som gjør det vanskelig å modellere de riktige nivåene. I modellen er de enda lavere med et gjennomsnitt på 0,01 m / s. Dette avviket kan skyldes støy i målingene eller en begrenset undervurdering av modellen. Grunnen til at 80 m dyp er valgt, er at målingene på 70 – 80 m er ansett for å være usikre, siden mye av måledataen ble automatisk ansett som støy av måleapparatet og at de dataen som var igjen veldig høye.



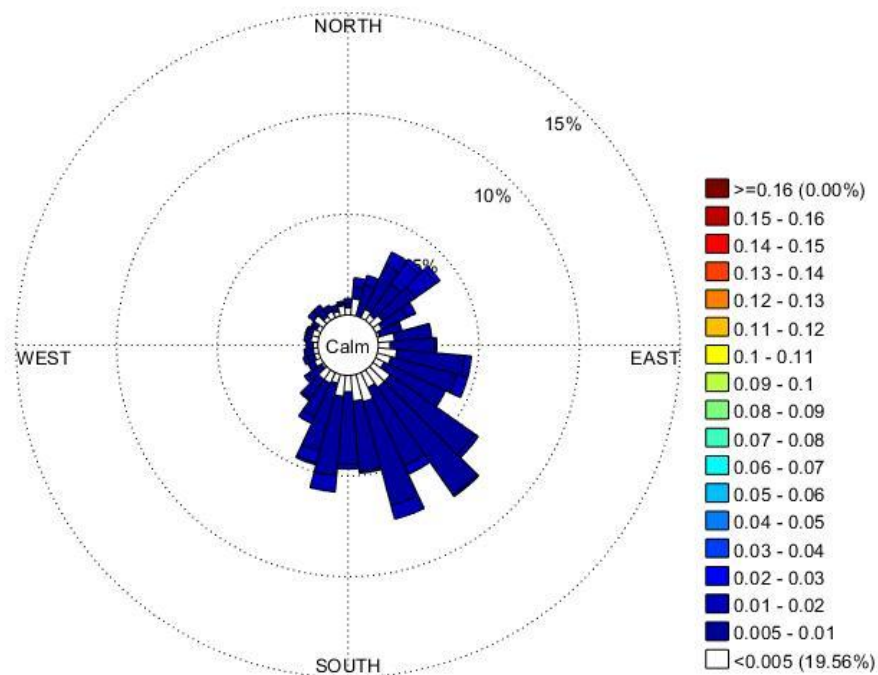
Figur A-5 Strömrose for modellert strømshastighet ved KS101 på 80 m dyp 03.03.21 – 08.04.21



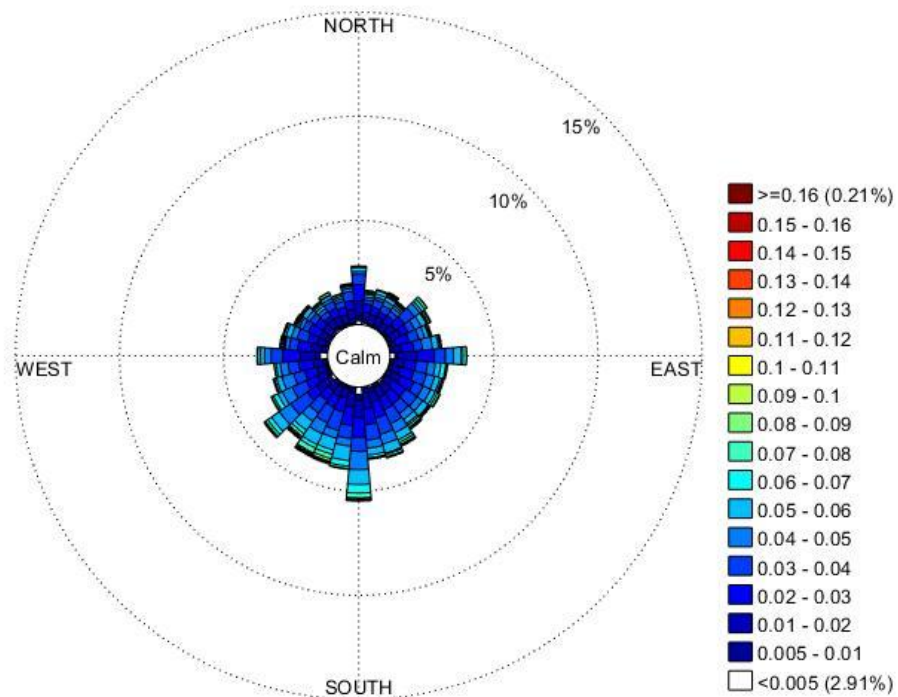
Figur A-6 Strömrose for målt strømshastighet ved KS101 på 80 m dyp 03.03.21 – 08.04.21

A.3.1.2 KS102

I Figur A-7 og Figur A-8 er strømmrosen for henholdsvis modell og målte data i 2020 i 46,5 m dybde presentert. Her er perioden 26.10.20-01.12.20. Her kan en se at strømmrosen til modellen har hovedretning sør sør-øst. Men målingene er enda mer omnidireksjonal enn modellen i denne perioden og har hovedretning sør-vest til sør-øst. En kan se at hastighetene er høyere for de målte dataene. Noe av grunnen til dette kan være at rådataene fra målingene kan inneholde noe støy ettersom hastighetene er så lave.



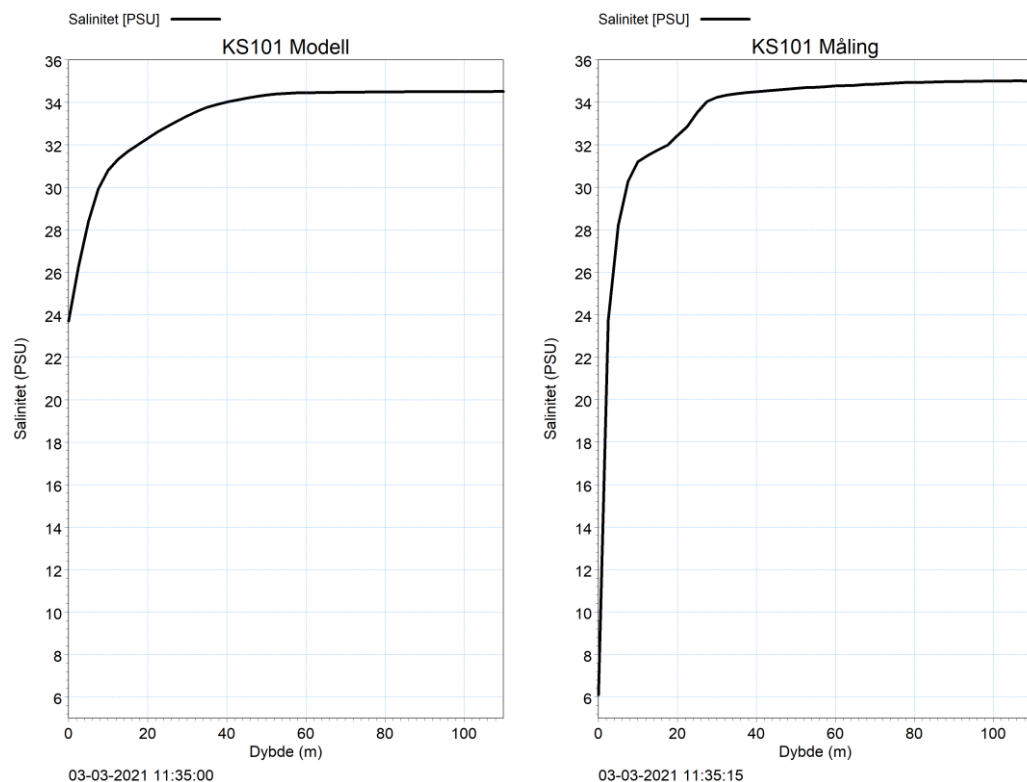
Figur A-7 Strømrose for modellert strømhastighet ved KS102 på 46,5 m dyp 26.10.20 – 02.12.20



Figur A-8 Strömrose for målt strømhastighet ved KS102 på 46,5 m dyp 26.10.20 – 02.12.20

A.3.2 Salinitet

Det er utført måling av salinitetsprofil ved KS101 den 03.03.21. For å sjekke lagdelingen i modellen er modellresultatet sammenlignet med måledataene. Sammenligningen er vist i Figur A-9, her kan en se at lagdelingen ser fornuftig ut sammenlignet med målingene. Målingene er litt mer saltholdig i bunnen, og har et markant ferskvannslag i overflaten (0-4 m) på tidspunktet prøven ble tatt.

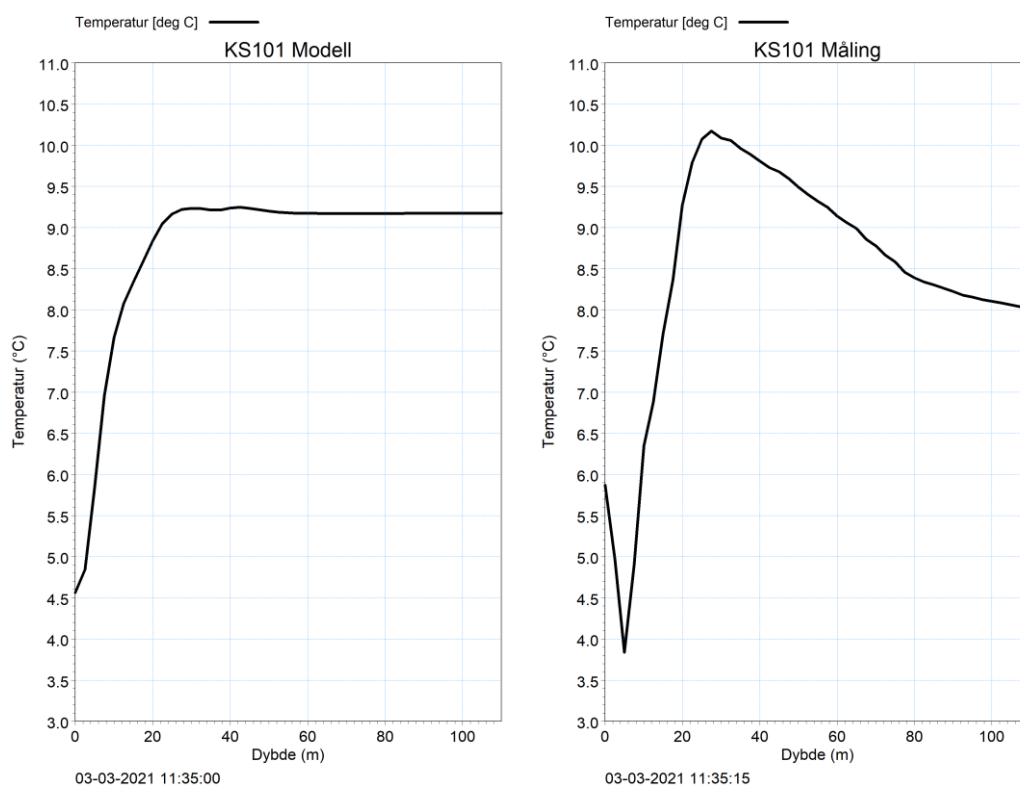


Figur A-9 Salinitet ved KS101 03.03.21, modellresultatet er vist til venstre mens måledataene er vist til høyre

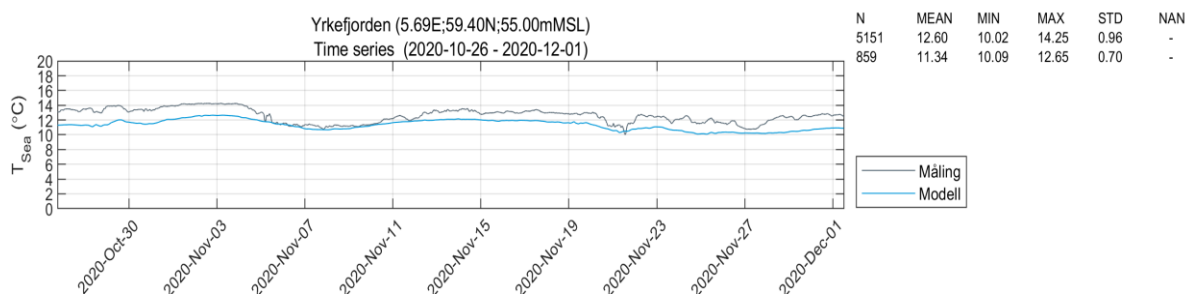
A.3.3 Temperatur

Det er utført måling av temperaturprofil ved KS101 den 03.03.21. For å sjekke lagdelingen i modellen er modellresultatet sammenlignet med måledataene. Sammenligningen er vist i Figur A-10, her kan man se at lagdelingen ser fornuftig ut sammenlignet med målingene. Forskjellene mellom modell og måling er at målingene har et noe varmere lag rundt 30 m dyp, og at overflatelaget er noe varmere enn modellen, mens bunnelaget er noe kjøligere enn modellen.

Det er også gjennomført temperaturmålinger (tidsserie) ved KS102 (26.10.20 – 01.12.20), sammenligningen er vist i Figur A-11. Her kan en se at temperaturene ved KS102 på 55 m dyp har samme variasjoner i både modell og måling, men at målingene generelt er noe varmere enn modellen.



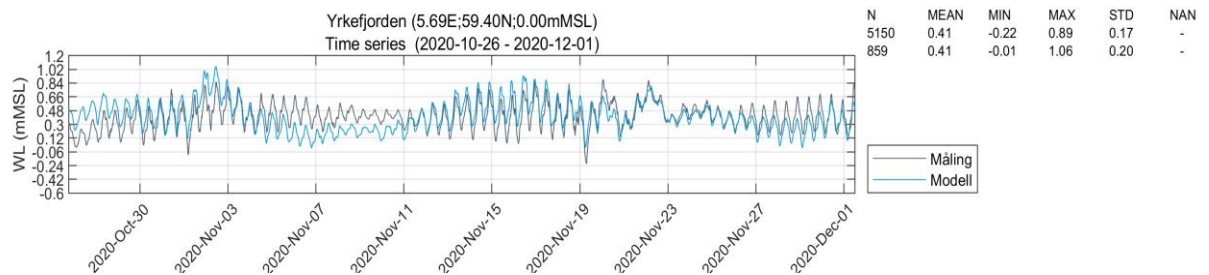
Figur A-10 Temperatur ved KS101 03.03.21, modellresultatet er vist venstre mens måledataene vist til høyre



Figur A-11 Temperatur ved KS102 på 55 m dyp

A.3.4 Vannstand

Det er utført måling av vanndybde ved KS102 i måleperioden 26.10.20 – 01.12.20. For å sammenligne den målte vanndybden med vannstanden, er den gjennomsnittlige vanndybden trukket fra vanndybden i hvert målepunkt, for å kun se variasjonene; i tillegg ble den gjennomsnittlige vannstanden i modellen plussset på, så en kun ser variasjonsforskjellen mellom modell og måling (det er derfor gjennomsnittet for måling er +0,41). I Figur A-12 kan en se at modellen reproducerer den målte vannstanden godt.



Figur A-12 Sammenligning mellom modell og målt vannstand i KS102 i i måleperioden 26.10.20 – 01.12.20