

Modellering av utslippsvannets spredning ved Tjuin Nord

Lokalitet: Tjuin Nord

Kunde: SalMar Settefisk AS

Dokumentkontroll			
Rapport			
Rapportbeskrivelse og navn	Modellering av avløpsvannets spredning ved Tjuin Nord. SM-T-01620-TjuinN0820-ver01.pdf		
Rapportversjon	Dato	Beskrivelse	
01	19.08.2020	Første utgivelse	
02	11.11 2020	Innblanding av saltvann i utslipp	
Rapportdistribusjon	Denne rapporten kan kun gjengis i sin helhet. Gjengivelse av deler av rapporten kan kun skje etter skriftlig tillatelse fra Åkerblå AS. I slike tilfeller skal kilde oppgis.		
Lokalitet			
Lokalitetsnavn	Tjuin Nord	Lokalitetsnummer	Ny
Kommune	Steinkjer	Fylke	Trøndelag

Sammendrag
Strømmen i fjorden er modellert og utslippsvannets innlagringsdyp og spredning i området rundt anlegget er beregnet for fire måneder i 2019. Fra strømmodellingene er innlagringsdyp og primærfortynning beregnet med et kontinuerlig utslipp på 5 m³/min. Tre ulike posisjoner for utslipp sørvest for Tjuin er simulert, alle ved 25 m dyp. Utslipet innlagres mellom 14 og 18 m avhengig av salinitet og strømhastighet.. Utslipet er fortynnet mer enn 50 ganger ved innlagring med signifikante minimalverdier for strøm. Sterkere strøm øker fortynningen. Utslipet når overflaten i løpet av en dag. Det er da fortynnet mer enn 1000 ganger. Utslipet transporteres raskt ut Beitstadsundet når det når overflaten. Deler av utslippet vil blande seg med bunnvannet som kommer inn Beitstadsundet og transporteres inn fjorden til Hjelbotn der det når overflaten. Utslipp fra posisjon lengst inne i fjorden (U1) er fortynnet mer enn 250 ganger, mens utslipp fra posisjoner lengre ute (U2 og U3) er fortynnet mer enn 600 ganger. Salinitet opptil 6.2 ppt i utslippsvann påvirker ikke resultatene i betydelig grad. Ved å plassere utslippsrør på grunnere dyp slik at innlagring skjer ved 10 m blir fortynningen ved overflaten innerst i Hjelbotn mer enn 500 ganger.

Oppdragsgiver		
Selskap	SalMar Settefisk AS, 7266 Kverva	
Kontaktperson	Karl Christian Aag	karl-christian.aag@salmar.no
Oppdragsansvarlig		
Selskap	Åkerblå AS; Nordfrøyveien 413; 7260 SISTRANDA Organisasjon nr. 963 554 052	
Rapportansvarlig	Lars Engvik	lars.engvik@akerbla.no
Kontrollert av	Inga Breisnes Utkilen	Inga.utkilen@akerbla.no

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	4
2. Områdebeskrivelse	5
3. Metodikk	8
3.1 Spredning og fortynning	8
3.2 Primærfortynning	8
3.3 Sekundærfortynning og spredning ved Delft3D-FLOW	9
3.3.1 Bunndata og modellstørrelse	10
3.3.2 Inngangsdata for strømmodellering	11
3.3.3 Utslippsmodellering	12
4. Resultater	13
4.1 Innlagring og primærfortynning	13
4.2 Sekundærfortynning	16
5. Konklusjon	32
5.1.1 Innlagringsdyp	32
5.1.2 Primærfortynning	32
5.1.3 Sekundærfortynning	32
6. Vedlegg – Konsekvenser ved utslipp på grunnere dyp	33
7. Vedlegg – Konsekvenser av salt i utslippsvann	38
8. Vedlegg - Havnivå	40
9. Vedlegg – Ferskvannstilsig	41
10. Vedlegg – Resultater fra simulering	44
10.1 Vurdering av salinitet ved utslippspunkt	44
10.2 Strømresultater for simulert periode	47
10.3 Strømresultater sammenlignet med målinger	51
11. Vedlegg - Usikkerhetsvurdering	57
11.1 Primærfortynning og innlagring	57
11.2 Inngangsdata for strømmodell	57
11.3 Strømmodell	57
11.4 Sekundærfortynning	57
12. Referanser	58

1. Innledning

Åkerblå AS har på oppdrag fra SalMar Settefisk AS utført modellering av innlagringsdyp, fortynning og spredning av utslippsvann fra planlagt settefiskanlegg ved Tjuin Nord i Steinkjer kommune.

Formålet med rapporten er å avgjøre hvor raskt utslippsvannet vil fortynnes og samtidig hvor det spres.

Ved utslipp til en resipient er det vanlig å skille mellom to prosesser. I den umiddelbare nærheten av utslippet foregår det en primærfortynning. Primærfortynningen bestemmes hovedsakelig av hastigheten til avløpsvannet og tetthetsforskjellen mellom avløpsvannet og resipienten. Avløpsvannet, som har lavere tetthet enn resipienten, vil bevege seg oppover gjennom vannmassene samtidig som det blandes med det omliggende vannet og fortynnes. Dette foregår helt til tetthetsforskjellen mellom utslipp og resipient er utlignet, eller til utslippet når overflaten. Primærfortynningen er relativt rask og foregår i et begrenset område. For å oppnå best mulig fortynning og begrense effektene av utslipp i overflatevannet er det nødvendig å plassere utslippsrøret tilstrekkelig dypt slik at utslippsvannet ikke kommer opp til overflaten før det er tilstrekkelig fortynnet.

Etter innlagring starter sekundærfortynningen som foregår hovedsakelig ved horisontal spredning i resipienten. Fortynningen går langsommere i denne prosessen og utslippet kan transporteres over betydelige avstander i resipienten.

Resultater bør vurderes ut fra lokal kunnskap og erfaring.

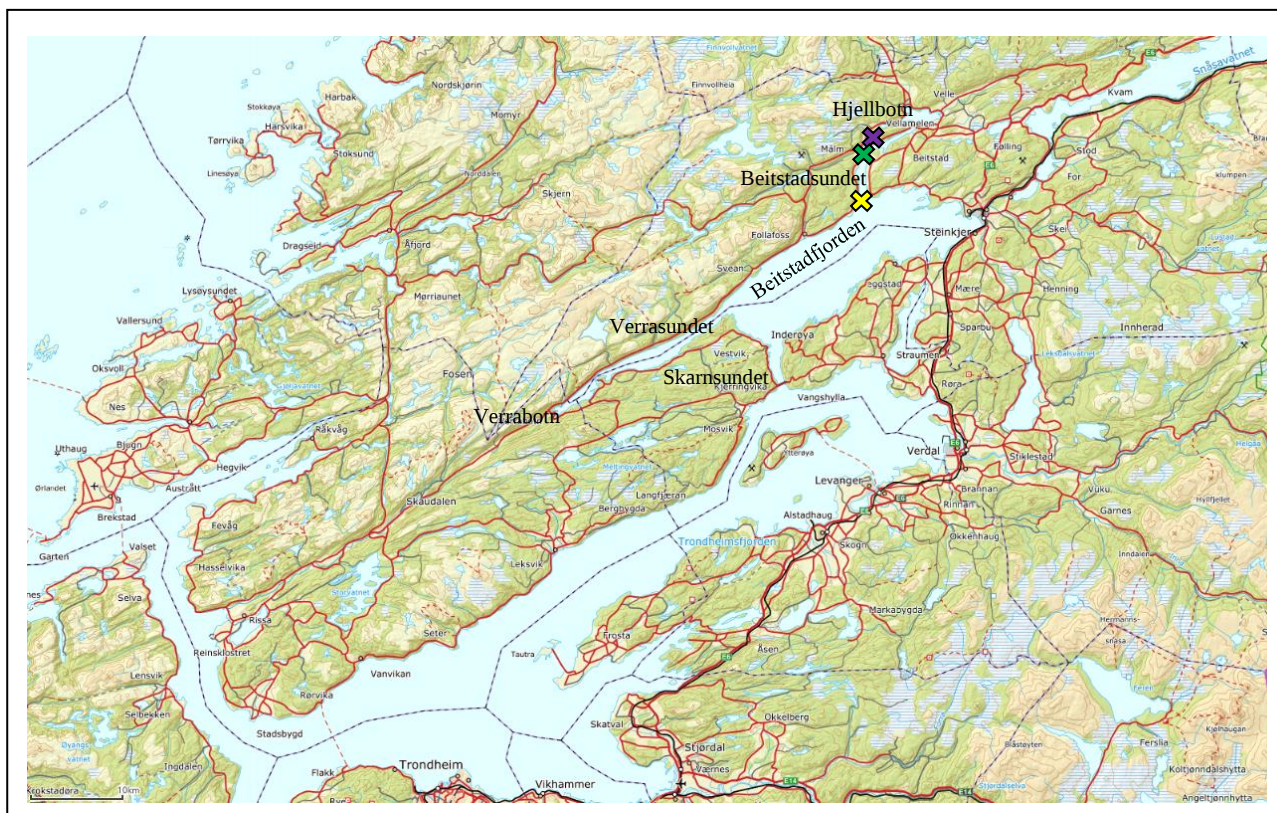
2. Områdebeskrivelse

Det planlagte settefiskanlegget ved Tjuin ligger i Steinkjer kommune i Trøndelag. Et oversiktskart over området er vist i Figur 2.1. Anlegget Tjuin, som er markert med ✖ i figuren, ligger i Beitstadsundet som er en fjordarm innerst i Trondheimsfjorden. Fra Tjuin strekker Beitstadsundet seg 8 km videre nordøstover inn til Hjellbotn. Utover fortsetter Beitstadsundet 6 km sørover før det munner ut i Beitstadfjorden. Beitstadsundet varierer i bredde mellom 300 m og 600 m. Innerst i Hjellbotn utvider den seg og har en utstrekning på 1.2 km i nord-sør retning og 3.5 km i øst-vest retning.

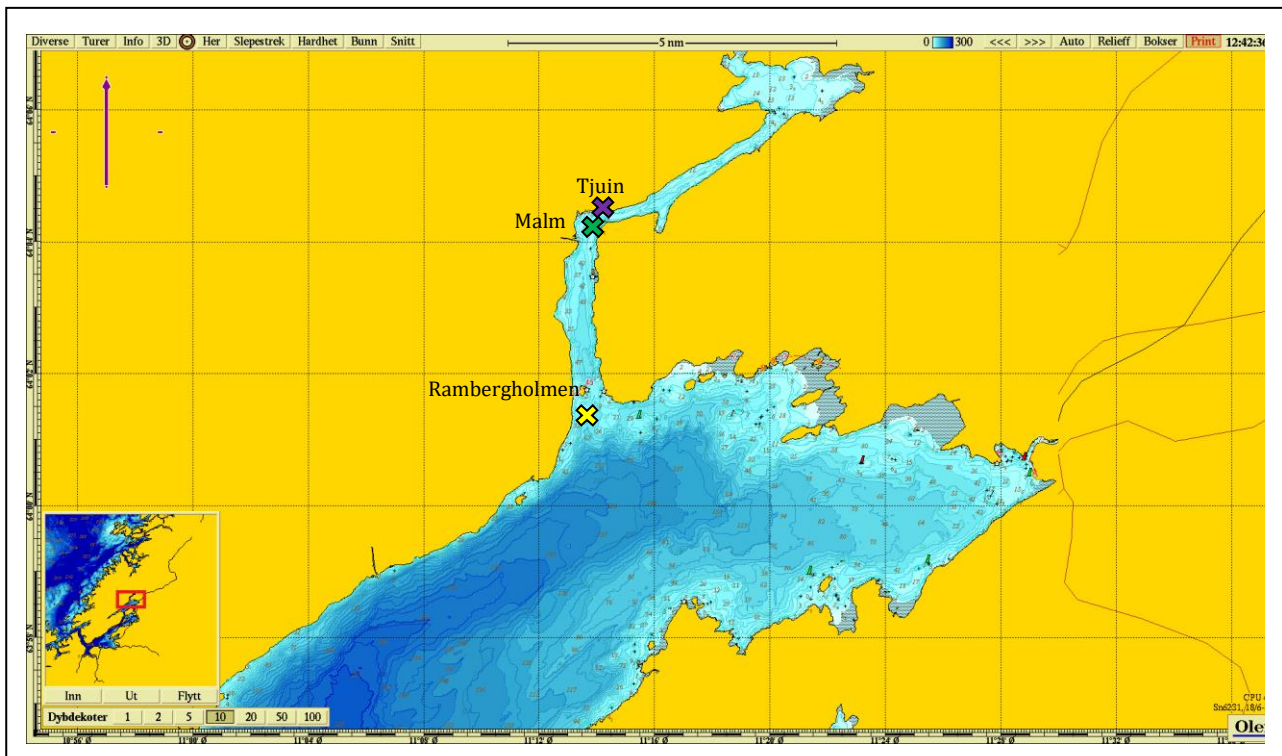
Beitstadfjorden har en utstrekning på 28 km fra Steinkjer i NØ til Verrasundet i sørvest, hvor det er en fjordarm som fortsetter 20 km videre sørvestover inn til Verrabotn. Beitstadfjorden har utløp sørover via Skarnsundet på vestsiden av Inderøya.

Figur 2.2 viser anleggets plassering i fjorden og bunntopografien i området. Det er foretatt strømmålinger i to posisjoner (Åkerblå AS, 2020). De er anvist med ✚ og ✛ på figuren. Den nordligste måleposisjonen (grønt kryss) er aktuell i forbindelse med planlagt utslipp fra anlegget.

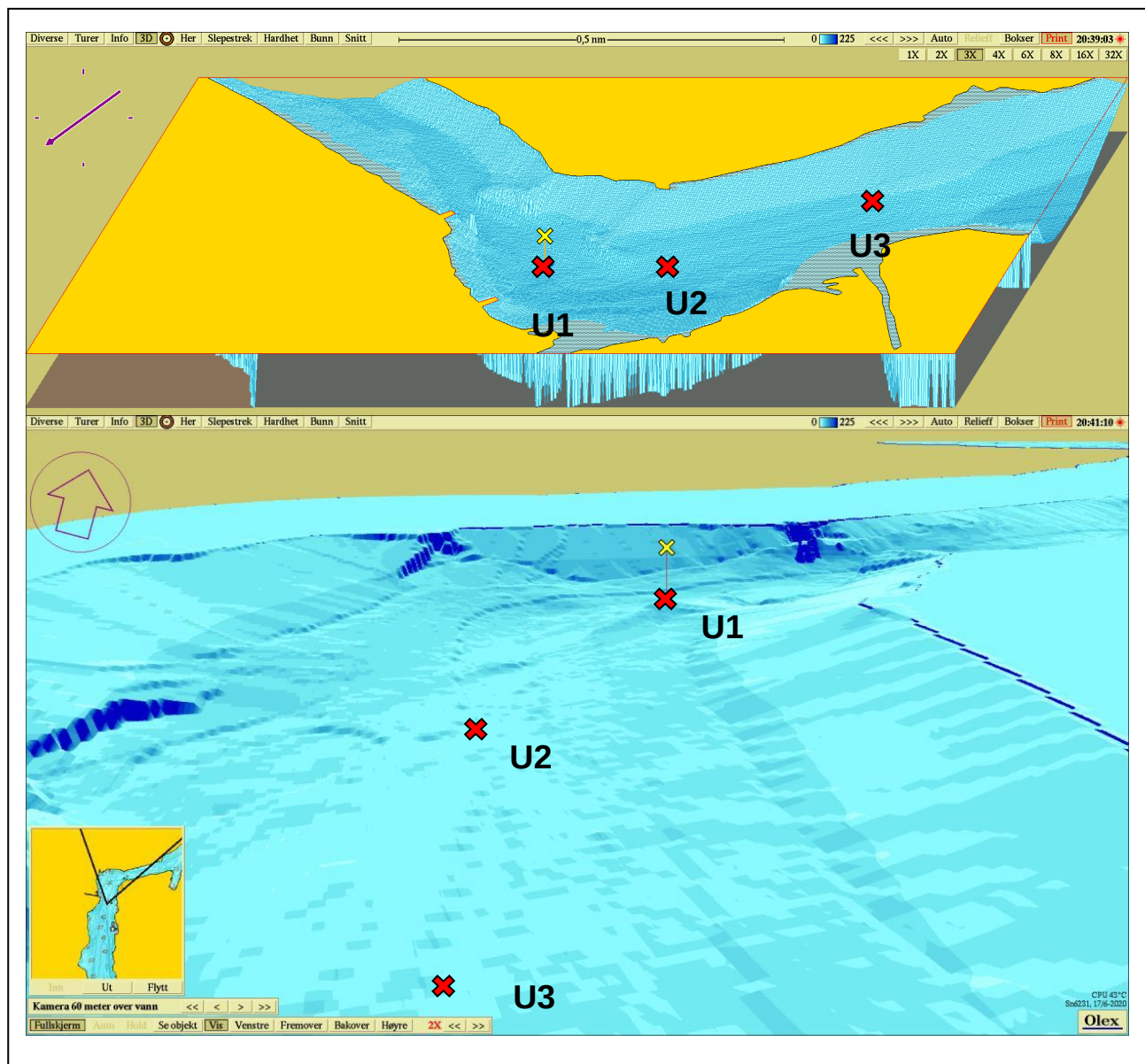
Beitstadsundet har en terskel på ca 30 m ytterst mot Beitstadfjorden. Ca 500 m innenfor terskelen i Beitstadsundet er det maksimalt dyp på 56 m. Deretter blir det gradvis grunnere nordover mot Malm, der dypet er i overkant av 20 m. Måleposisjon der utslippet er planlagt har dybde på ca. 25 m. Videre innover i fjorden varierer dybden mellom 16 m og 31 m, og innerst ved Hjellbotn er det 15 m dypt.



Figur 2.1 Oversiktskart over området rundt settefiskanlegget, anvist med ✖. Aktuelle utslippsposisjoner er anvist med ✚ og ✛. Kartet er hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. Kartdatum: WGS84.



Figur 2.2 Anleggets plassering i området. Kompasspila øverst i venstre hjørne indikerer kartets orientering. Anlegget er anvist med ✕. Det er foretatt strømmålinger i området i posisjoner anvist med ✕ og ✕. Dybde anvist med blå konturer. Kartet er hentet fra Olex. Kartdatum: WGS84.



Figur 2.3 3D-bilde av bunntopografi i området. Den tynne kompasspila øverst i venstre hjørne indikerer kartets orientering (øverste bilde) og den tykke kompasspila indikerer kameraets orientering (nederste bilde). De små bildene viser kameraets utsiktspunkt for den tilhørende bunntopografien. Strømmåling er vist med ✕. Utslippsposisjoner for simulering er vist med ✕. Kartene er hentet fra Olex. Kartdatum: WGS84.

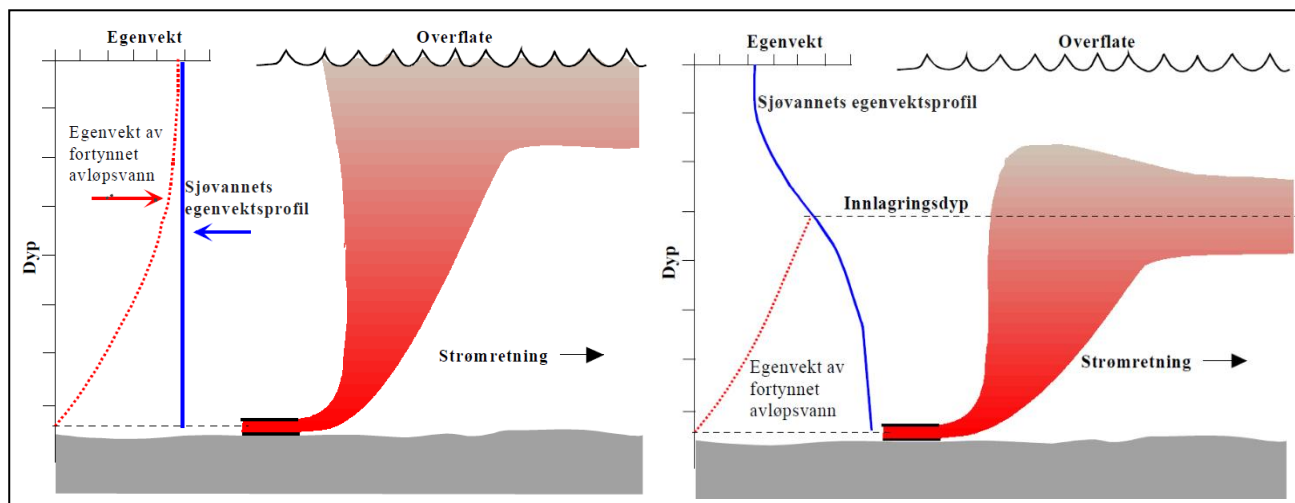
3. Metodikk

3.1 Spredning og fortynning

I miljødirektoratets veileder for fastsetting av innblandingssoner ved utslipp til en resipient, skiller man mellom primærfortynning, innlagring og sekundærfortynning (Ranneklev m. fl., 2013). Primærfortynningen er den fortynningen som foregår i den umiddelbare nærheten av selve utslippsrøret. Her foregår fortynningen raskt blant annet ved en vertikal bevegelse drevet av tetthetsforskjeller mellom avløpsvannet og resipienten. Når utslippsvannet fortynnes og tettheten er utjevnet med resipienten, vil den vertikale bevegelsen opphøre og utslippet har da nådd innlagringsdypet. Etter innlagring starter sekundærfortynningen som foregår ved horisontal spredning i resipienten. Sekundærspredningen er avgjørende for hvor stort område som påvirkes av utslippet og om f.eks. strandsoner kan bli påvirket.

3.2 Primærfortynning

Utslippsvann med lav saltholdighet er lettere enn sjøvann, og vil begynne å stige opp mot overflaten. Det er en relativt rask prosess og foregår i et begrenset område som regel innenfor noen få titalls meter. Det skjer en innblanding underveis av saltvann slik at tetthetsforskjellen utjevnes. Når forskjellen er utjevnet vil den vertikale bevegelsen opphøre og avløpsvannet har nådd innlagringsdybden.



Figur 3.1 Illustrasjon av dyputslipp til sjøvann. Figuren til venstre viser en situasjon uten vertikal lagdeling (konstant egenvekt) da utslippsvannet ikke innlagres, men når helt til overflaten. Figuren til høyre viser en situasjon med vertikal lagdeling (egenvekten øker med dypet) og innlagring av utslippsvannet dypere i vannsøylen (Ranneklev, Molvær, & Tjomsland, 2013).

Salinitet og vertikal lagdeling er med på å avgjøre hvilket dyp det fortynnede avløpsvannet innlagres. Hvis resipienten ikke har betydelig lagdeling, vil utslippsvannet kunne trenge igjennom til overflaten. Et slikt tilfelle er vist til venstre i Figur 3.1.

Hvis utslippspunktet er tilstrekkelig dypt og resipienten har høy salinitet ved utslippsdybden og lavere salinitet lengre oppe, vil utslippsvannet stige til tettheten i det fortynnede utslippsvannet er lik tettheten til resipienten. Fordi utslippsvannet har en vertikal hastighet, vil det kunne fortsette litt

lenger opp før det synker ned og sprer seg hovedsakelig langs innlagringsdypet. Dette er vist til høyre i Figur 3.1.

Hvis det er et sprang i sjøvannets salinitet like over utslippspunktet kan innlagring av sjøvannet skje relativt raskt nær bunnen. Det er imidlertid ofte gunstig at en innlagring skjer lenger oppe i vannmassene slik at utslippsvannet gjennomgår en størst mulig grad av primærfortynning. Dette fordi primærfortynningen er en effektiv prosess og det er gunstig at den blir så omfattende som mulig for at utslippsvannet skal være fortynnet i tilstrekkelig grad før det transporteres med strømmen i resipienten.

Beregning av primærspredning er gjort med den numeriske modellen Visual Plumes utviklet av U.S. Environmental Protection Agency (Frick, et al., 2003). Informasjon om utslippet som brukes i beregningene er følgende:

- Rørdiameter
- Utslippsvannets salinitet og temperatur
- Vannføring

Ved stor diameter på avløpsrøret og liten vannføring er det mulig at sjøvann kan trenge inn i den nedre delen av røret. Dette vil kunne resultere i en viss innblanding av sjøvann og strålen som forlater røret vil kunne bestå av avløpsvann og en mindre andel sjøvann.

Det behøves følgende informasjon om resipienten:

- Utslippsdyp
- Vertikalprofil av salinitet og temperatur i resipient
- Strømhastighet i resipient

Informasjon om saliniteten i vannsøylen over utslippspunktet er en viktig faktor for å kunne bestemme primærfortynning og innlagringsdyp sammen med egenskapene til utslippsvannet. Dette representerer det største usikkerhetsmomentet i forbindelse med beregning av innlagringsdybde og primærfortynning. Saliniteten kan variere med tidevann, i tillegg til sesongvariasjoner som følge av smeltevann og nedbør. Strømsimuleringer er foretatt for området i fire utvalgte måneder for å kunne representere alle disse variasjonene. Resultater fra simuleringene ved utslippspunkt er presentert i vedlegg 10. Det er gjort målinger av strøm, temperatur og salinitet ved lokaliteten (Åkerblå, 2020), som er brukt for å verifisere modellens strømhastighet og retning.

3.3 Sekundærfortynning og spredning ved Delft3D-FLOW

Etter at avløpsvannet er innlagret, starter sekundærfortynningen. Avløpsvannet beveger seg med vannmassene og fortynnes videre ved resipientens turbulente bevegelse. Det er derfor nødvendig med en mer omfattende beskrivelse av strømforholdene i større deler av fjorden. For å beregne sekundærfortynningen legges primærfortynningen og innlagringsdybden, slik den er beregnet i Visual Plumes, inn i en tredimensjonal hydrodynamisk modell. Strømmodellen er laget ved hjelp av programvaren Delft3D-FLOW, som er utviklet av Deltares (Deltares, 2018). Strømmodellen beskriver videre transporten og fortynningen av avløpsvannet i fjorden.

Delft3D-FLOW benytter inngangsdata fra atmosfæriske data som vind, temperatur, lufttrykk og luftfuktighet, regionale havdata som havnivå, strøm, temperatur og salinitet, samt ferskvannstilsig

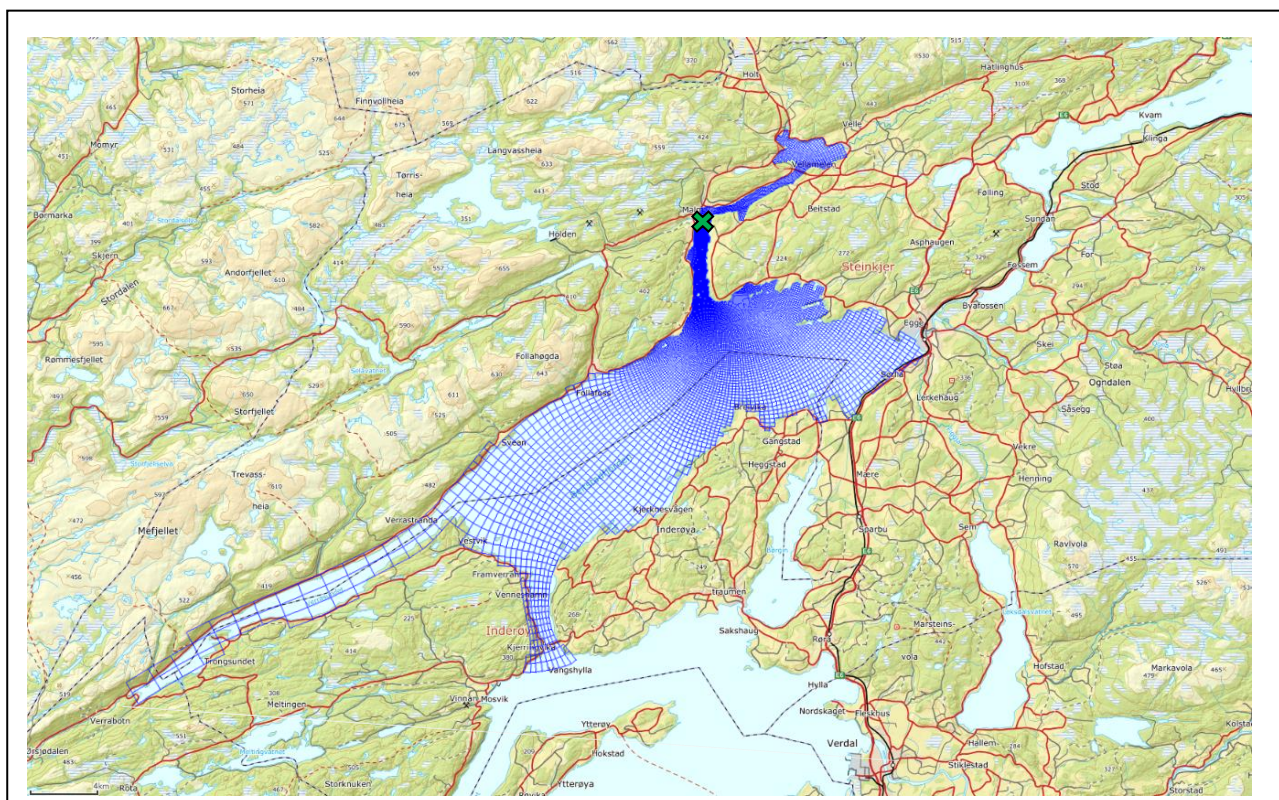
(Delft3D-FLOW, 2018). I modellen løses Navier-Stokes ligninger for strømmen i tre dimensjoner basert på Boussinesq-tilnærmelsen (Lesser, Roelvink, van Kester, & Stelling, 2004). Den vertikale bevegelsen antas å være liten i forhold til den horisontale slik at vertikal akselerasjon kan neglisjeres. Bevegelsen styres av trykkgradienter beregnet fra variasjon i havnivå, temperatur og salinitet. Effektene fra jordrotasjon er inkludert som en funksjon for Corioliskraften. Turbulensgenskaper for strømmen er tatt hensyn til ved den såkalte k-epsilon-modellen som er tilgjengelig i Delft3D.

3.3.1 Bunndata og modellstørrelse

Den tredimensjonale strømmodellen som laget for området rundt utslippspunktet, dekker de indre delene av Trondheimsfjorden med hele Beitstadfjorden, og har en utstrekning på 50 km fra Verrabotn i vest til Steinkjer i øst. Fra ytterst i Skarnsundet og nordøstover forbi Beitstadsundet til innerst i innerst til Hjøllbotn har modellen en utstrekning på 35 km. Modellen har et horisontalt rutenett med oppløsning på 50 m $\times$ 50 m rundt utslippsposisjon og avtagende oppløsning utover til maksimalt 650 m $\times$ 400 m ved randsonen ytterst i Skarnsundet, og opptil 700 m $\times$ 1500 m i Verrabotn. Gitternettet er vist i Figur 3.2, med utslippspunkt markert med $\otimes$.

For å beskrive variasjon i dybden er det valgt en sigmamodell med 15 dybdelag. Dybdelagene følger terrenget og varierer i tykkelse proporsjonalt med dypet (se Tabell 3.1).

Bunndata brukt i modellen er hentet fra kartverket, og tilpasset oppløsningen i modellen ved hjelp av interpolasjon. Nærmest utslippspunkt er det benyttet oppmålte Olexdata (Åkerblå AS, 2020a).



Figur 3.2 Rutenett benyttet for å modellere strøm og spredning av utslipp fra lokaliteten. Utslippspunkt er anvist med $\otimes$. Kartet er hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy, med kartdatum: WGS84.

Tabell 3.1 Fordeling og prosentvis tykkelse av vannlag i modellen for et valgt dyp på 25 m. Nederst er det i alt 10 vannlag som hver utgjør 8% av den totale dybden.

Vannlag	Tykkelse (%)	Tykkelse ved 25m dyp (m)	Dybde (m)
1	2	0.5	0 - 0.5
2	3	0.8	0.5 - 1.3
3	4	1.0	1.3 - 2.3
4	5	1.3	2.3 - 3.5
5	6	1.5	3.5 - 5.0
6-15	80	20.0	5.0 - 25.0

3.3.2 Inngangsdata for strømmodellering

Den hydrodynamiske modellen er drevet av randbetingelser, dvs strøm over ytre grenser, tidevann, vind og varmeutveksling med atmosfæren, samt ferskvannstilførsel. Inngangsdata for salinitet og temperatur er fra Havforskningsinstituttets modell NorKyst800, som er en havmodell basert på ROMS (Regional Ocean Modeling System) (NK800, 2020; Albretsen, et al., 2011). Dette er timesdata med oppløsning på 800 x 800 m, som omfatter havnivå, strømhastighet, temperatur og saltholdighet. Dataene interpoleres for å tilpasses gitternettet med høyere oppløsning i Delft3D-FLOW. Inngangsdata for havnivå er hentet fra kartverkets nettside for vannstands- og tidevannsinformasjon (Kartverket, 2020).

Atmosfæriske data er hentet fra Meteorologisk institutt, MEPS (MetCoOp Ensemble Prediction System, 2020). Dette er data for vind, temperatur og luftfuktighet, og er gitt med intervall på 3 timer og med oppløsning på 2.5 x 2.5 km. Også disse dataene interpoleres for å tilpasses gitternettet i strømmodellen.

For å unngå ustabilitet i starten av modellkjøringen er modellen startet med en spin-up-periode på en måned (desember 2018). Resultatene fra denne kjøringen er deretter brukt som inngangsverdi for den endelige modellkjøringen. Etter spin-up er strømmodellen kjørt for perioden januar til og med desember 2019.

Informasjon om ferskvannstilsig fra de største elvene innerst i Trondheimsfjorden er hentet fra NVE (Norges Vassdrags- og Energidirektorat), med daglig vannføring i hver elv. Vannet blir sluppet ut i en gittercelle i modellen, og er med på å styre lagdelingen i vannsøylen.

Parametere som er benyttet i modellen, blant annet for å beskrive turbulens, er gitt i Tabell 3.2.

Tabell 3.2 Modellparametere i Delft3D-FLOW.

Parameter	Verdi
Horizontal eddy viscosity	1 m ² /s
Background vertical eddy viscosity	0.001 m ² /s
Horizontal eddy diffusivity	0.0001 m ² /s
Background vertical eddy diffusivity	0.0001 m ² /s
Time step	60 s

3.3.3 Utslippsmodellering

For beregninger av primærspredning og innlagringsdyp kreves informasjon om strøm, samt hydrografiske profiler, dvs. informasjon om temperatur og saltholdighet med dyp, som inngangsdata. Ved sekundærspredning brukes resultatene fra primærspredning som inngangsdata.

Simuleringene viser en sjikting i vannsøylen ved utslippspunkt (Figur 10.1). Det er også foretatt CTD-undersøkelser ved Tjuin den 26.02.2020 og 18.05 2020 (Åkerblå AS, 2020; Åkerblå AS, 2020) som bekrefter betydelig sjikting i området. Ved tidspunktene var det betydelig ferskvannstilsig i fjorden. (se Figur 9.3). Beregninger av primærspredning og innlagring er utført ved bruk de målte verdiene av salinitet og temperatur utført 26.02.2020 og 18.05 2020, samt representative verdier av simulert strøm ved utslippspunktet.

4. Resultater

Utslippsvannets primærfortynning, innlagring, samt videre fortynning og spredning er beregnet. Utslippsdata oppgitt fra oppdragsgiver er vist i Tabell 4.1. En representativ vannføring på 5000 l/minutt er valgt. Utslippsvannet er ferskvann og antas å ha salinitet lik 0. Temperaturen vil blant annet er avhengig av lengden på utslippsrøret og vannføring. Temperaturen antas å være 7°C ved utslippspunktet.

Tabell 4.1 Utslippsdata for Tjuin

Inngangsverdier for primærspredning	
Utslippsdyp	25 m
Rørdiameter	500 mm
Salinitet	1 ppt
Temperatur	7°C
Vannføring	5 m ³ /min

Strøm ved utslippspunkt er presentert i vedlegg 7. Resultatene i Tabell 10.1 viser at strømmen er variabel ved utslippspunktet og avtar med dybden. For å fange opp variabiliteten er det benyttet tre forskjellige strømprofiler for å beregne primærspredningen, gjennomsnittverdien av strømmen for hvert dyp, signifikante minimalverdier (gjennomsnittverdien av de 33% laveste strømverdiene) og signifikante maksimalverdier (gjennomsnittverdien av de 33% høyeste strømverdiene).

Beregningene er basert på målte salinitetsprofiler (Åkerblå AS, 2020). Disse profilene er tatt opp hhv. 26.2.2020 og 18.05.2020. Salinitetsprofilene er relativt like. Det er stor endring i salinitet fra overflaten og ned til 15 m dyp. Saliniteten øker noe mindre videre nedover i vannsøylen.

4.1 Innlagring og primærfortynning

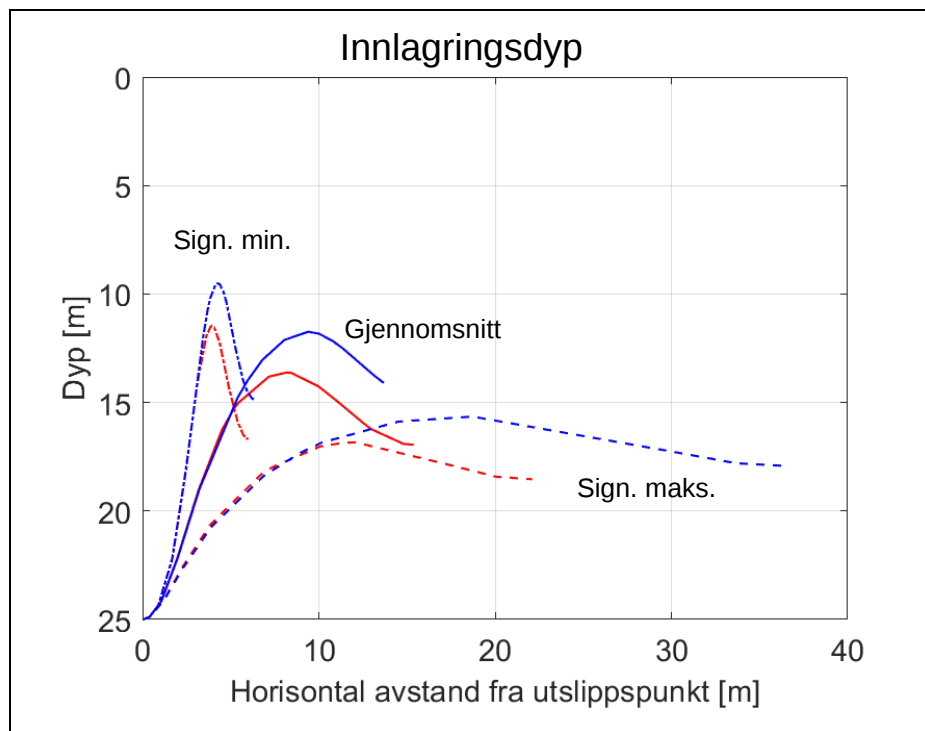
Innlagringsdyp og fortynning er beregnet ved hjelp av målte salinitetsprofiler. Se vurdering av salinitet ved utslippspunkt i Kapittel 10.1. Salinitetsprofiler er tatt opp hhv. 26.2.2020, og 18.05.2020. Den sistnevnte viser størst variasjon med stor endring i salinitet øverst i vannsøylen ned til 14 m dyp og betydelig ending også videre nedover i vannsøylen. Salinitetsprofilen fra 26.02.2020 har den sterkeste sjiktingen ned til 12 m dyp, men også i dette tilfellet er det betydelig endring saliniteten videre nedover i vannsøylen. For å bestemme variabilitet i innlagringsdyp og fortynning er det benyttet signifikante minimalsverdier maksimalverdier, samt gjennomsnittsverdier av strøm fra simuleringene (Tabell 10.1).

Figur 4.1 viser innlagringsdypet beregnet med ulike salinitetsprofiler og strømverdier. Figur 4.2 viser den tilhørende fortynningen. Resultatene for innlagring og fortynning er oppsummert i Tabell 4.2.

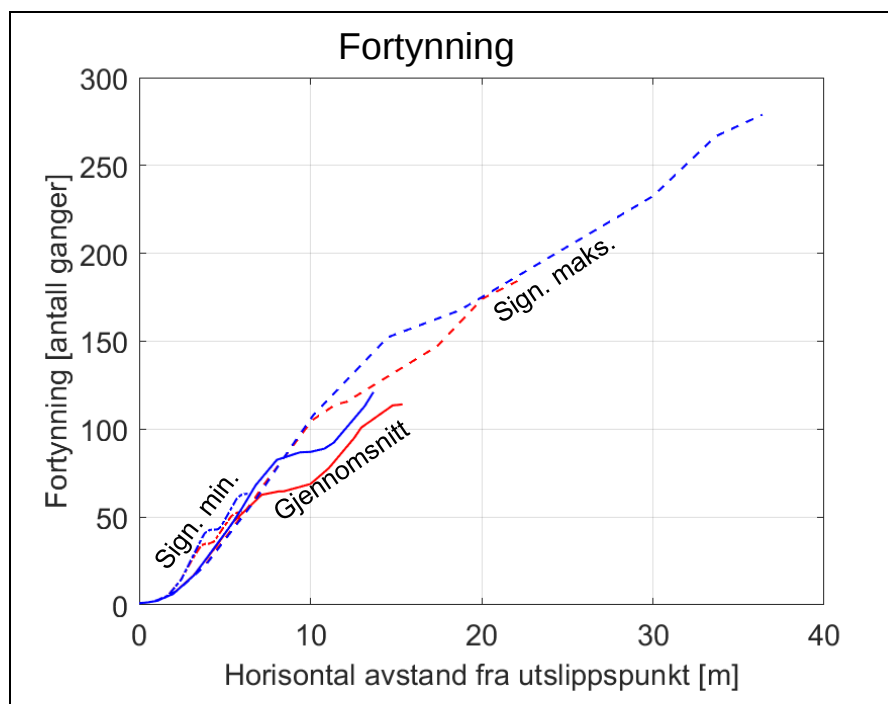
Innlagringsdypet (Figur 4.1) varierer mellom 14 m med salinitetsprofil fra 26.02.2020 og gjennomsnittlig strøm til 18 m med salinitetsprofil fra 18.05.2020 og signifikant maksimal strøm.

Fortynningen (Figur 4.2) er størst ved signifikant maksimalstrøm (280 ganger og 175 ganger for salinitetsprofilene fra hhv. 26.02.2020 og 18.05.2020). Fortynningen er minst ved signifikant minimalstrøm (63 ganger og 53 ganger for salinitetsprofilene fra hhv. 26.02.2020 og 18.05.2020).

Fortynning og innlagring er ikke beregnet for en situasjon med blandet vannsøyle. I et slikt tilfelle vil utslippet innlagres høyere oppe i vannsøylen og fortynnes mer. Høyere oppe i vannsøylen vil det også transporteres raskere ut fjorden.



Figur 4.1 Beregnet innlagringsdyp for utslipp De blå linjene er resultater for salinitetsprofil registrert 26.02.2020 og de røde linjene viser resultatene fra profil registrert 18.05.2020. De heltrukne linjene er resultater med gjennomsnittlige strømverdier. Stiplede linjer er resultater ved signifikante maksimalverdier for strøm. Prikkede linjer viser resultater ved signifikante minimumsverdier for strøm.



Figur 4.2 Beregnet fortynning av utslipp. Se Figur 4.1 for ytterligere forklaring.

Tabell 4.2 Sammendrag av primærspredning ved Tjuin.

Strømverdier	Innlagringsdyp 26.02.2020	Fortynning 26.02.2020	Innlagringsdyp 18.05.2020	Fortynning 18.05.2020
Signifikant min.	15 m	63 ganger	17 m	53 ganger
Gjennomsnitt	15 m	142 ganger	17 m	114 ganger
Signifikant maks.	18 m	279 ganger	18 m	184 ganger

4.2 Sekundærfortynning

Primærspredning og innlagring foregår i løpet av kort tid, rundt et par minutter. Etter innlagring fortsetter fortynningen ved sekundærspredning videre ut fra utslippspunktet på innlagringsdypet. Denne prosessen foregår over lang tid, og strøm og tidevann er avgjørende for i hvilken grad utslippet når overflaten.

Sekundærfortynningen er beregnet for tre posisjoner. Tabell 4.3 viser utslippsposisjoner, innlagringsdyp og fortynning som er brukt i simuleringene. Posisjonene er vist i Figur 2.3. Utslippsdypet for alle tre posisjonene er på 25 m. Fortynning og innlagring er basert på resultater fra primærspredning med den laveste fortynningen og med utslipp i vannlaget fra 15 m – 17 m i modellen. Det er foretatt simulering for i alt 4 måneder, (januar, februar august og september 2019) for hver av posisjonene. Utvalget av måneder er basert på mengde ferskvann som slippes ut i fjorden og som påvirker strømforholdene i betydelig grad. I januar er det mye ferskvannstilsig i begynnelsen av måneden og en reduksjon mot slutten. I februar er det lite ferskvannstilsig i begynnelsen av måneden og en økning mot slutten. I august er det gjennomgående lite ferskvannstilsig, mens september er den måneden med mest ferskvannstilsig i området (Figur 9.2).

Figur 4.3 viser fortynningen av utslipp som når overflaten fra posisjon 1 (U1) for utvalgte tidspunkt i januar 2019. Fortynning opp til 10 000 ganger er vist i figuren. I løpet av det første døgnet når utslippet overflaten utenfor utslippspunktet (med fortynning mindre enn 10 000 ganger). Utslippet som kommer til overflaten transporteres raskt sørover ut av Beitstadsundet. Utenfor Beitstadsundet fortynnes utslippet raskt videre. Noe av utslippet transporteres østover fra utslippspunktet lengre inn i Beitstadsundet der det er grunnere. Ved dag 4 i simuleringen når det overflaten innerst i Hjellobtn. Utslipp som når overflaten transporteres raskt utover med strømmen i fjorden. Ved dag 8 er fortynningen av utslippet fortsatt omtrent 1000 ganger og ved dag 12 er fortynningen mer enn 500 ganger. Videre i simuleringen er det langsam reduksjon i fortynning og ved utgangen av januar er utslippsvannet fortsatt fortynnet mer enn 300 ganger. Mot slutten av januar er det gradvis reduksjon av ferskvannstilsig i fjorden som kan forklare denne reduksjonen.

Figur 4.4 viser fortynningen av utslipp ved bunnen for de samme tidspunktene. Utslippet som transporteres innover mot Hjellobtn blander seg med bunnvannet som kommer inn fjorden og blir fortynnet mer enn 250 ganger før det når Hjellobtn. Det blandes gradvis med vannlagene ovenfor. Når utslippet nærmer seg overflaten transporteres det ut fjorden.

Figur 4.5 - Figur 4.10 viser resultatene fra de andre månedene med simulert utslipp. August er den måneden der fortynningen er lavest ved overflaten inne i Hjellobtn, med fortynning ned til 250 ganger. Fortynningen er størst ved utgangen av februar (400 ganger). Februar er den måneden som har størst ferskvannstilsig mot slutten.

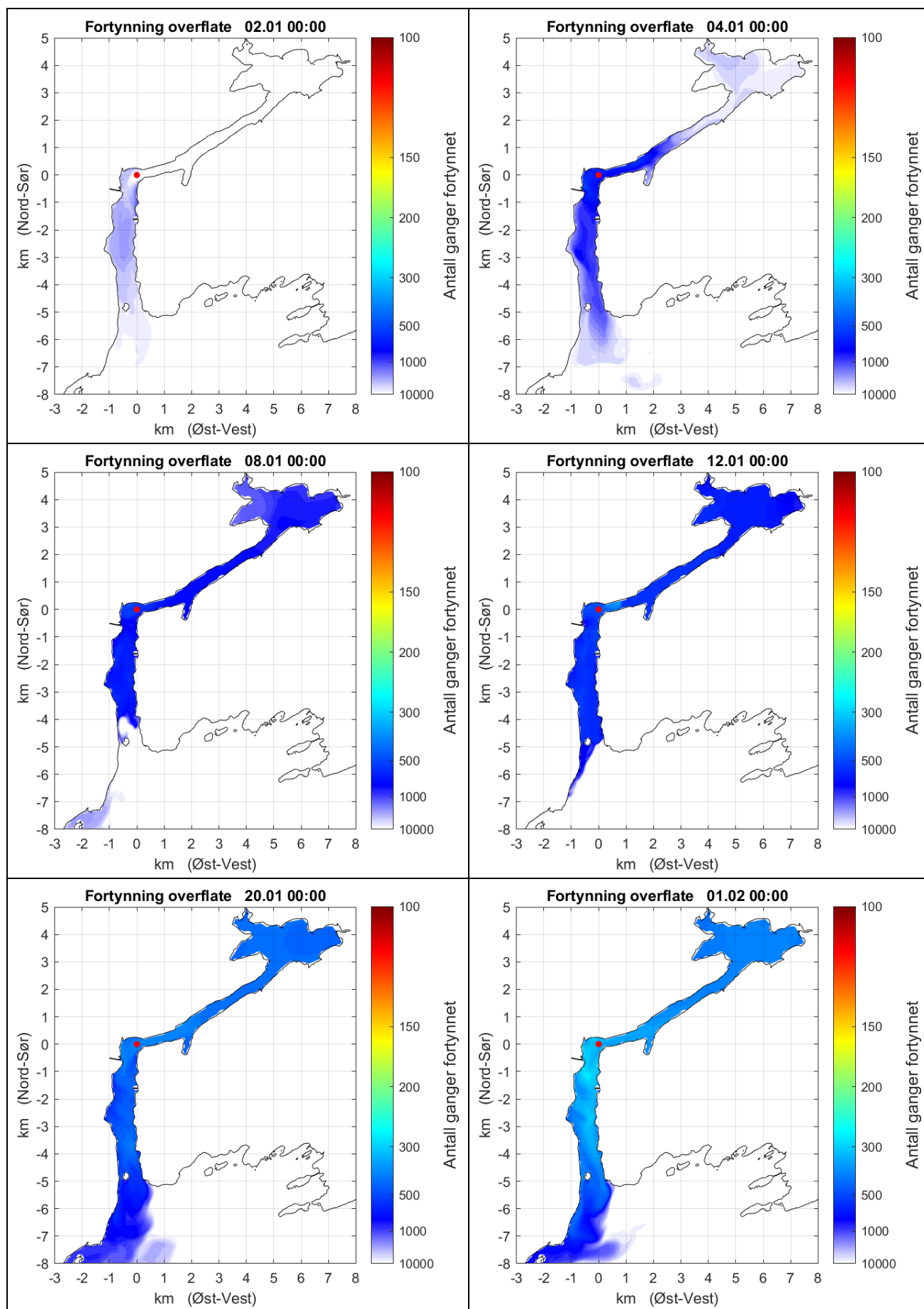
Figur 4.11 og Figur 4.12 viser fortynningen av utslipp fra den midterste utslippsposisjonen (U2) ved utvalgte tidspunkt for henholdsvis august og september. Utslippet foregår ved samme dyp som U1. Utslippet som når overflaten nærmest utslippspunkt transporteres sørover og fortynnes raskt. Sammenlignet med utslipp fra posisjon U1 er utslippet fra U2 mer fortynnet når kommer innerst i Hjellobtn. Lavest fortynning fra U2 opptrer i august mer enn 300 ganger, mens fortynningen i september er på ca. 500 ganger. Fortynningen ved overflaten i området ved Tjuin er ca. 160 ganger ved dag 20 i august. Til sammenligning er fortynningen ved overflaten ca. 280 ganger for utslipp fra U1 ved samme tidspunkt. Utslippet som kommer opp til overflaten transporteres raskt ut fjorden og fortynnes.

Figur 4.13 og Figur 4.14 viser fortynningen av utslipp fra den sørvestligste posisjonen (U3) med samme dyp som foregående. Fortynning ved overflaten nær Tjuin blir vesentlig mindre enn ved utslipp U2. (Ved dag 20 i august er fortynningen mer enn 250 ganger). Fortynningen innerst i

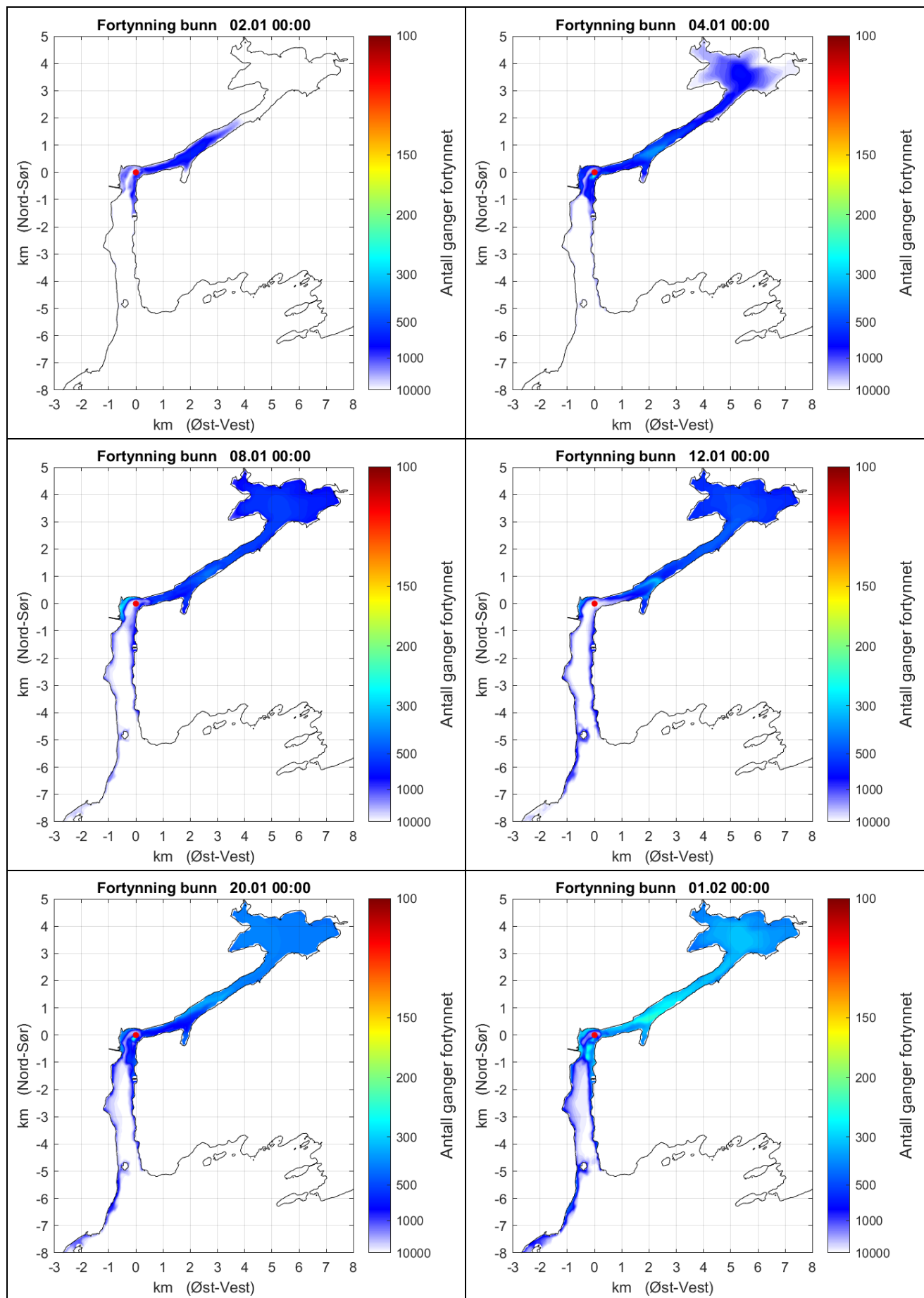
Hjellbotn skiller seg ikke vesentlig fra utslipp U2 (mer enn 300 ganger i august og ca. 500 ganger i september).

Tabell 4.3 Inngangsdata for sekundærspredning for de utvalgte periodene som presenteres i rapporten.

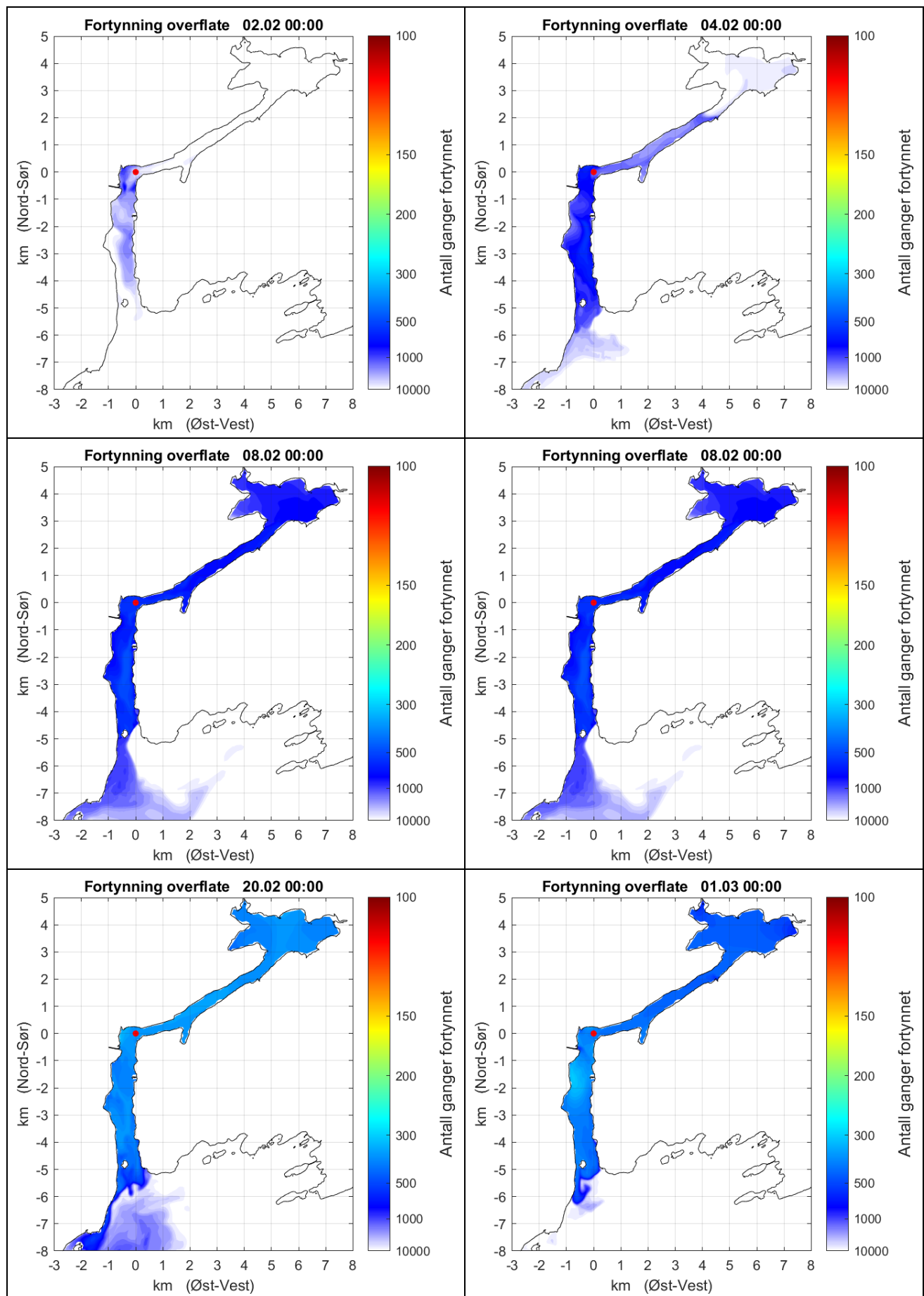
Tidsrom	Posisjon		Dybde	Fortynning	Innlagring (m)
01.01 - 01.02	U1	64° 4.350'N, 11° 14.015' Ø	25 m	53	15- 17
01.02 - 01.03	U1	64° 4.350'N, 11° 14.015' Ø	25 m	53	15- 17
01.08 - 01.09	U1	64° 4.350'N, 11° 14.015' Ø	25 m	53	15- 17
01.01 - 01.02	U2	64° 4.170'N, 11° 13.620' Ø	25 m	53	15- 17
01.08 - 01.09	U2	64° 4.170'N, 11° 13.620' Ø	25 m	53	15- 17
01.09 - 01.10	U2	64° 4.170'N, 11° 13.620' Ø	25 m	53	15- 17
01.01 - 01.02	U3	64° 3.940'N, 11° 13.554' Ø	25 m	53	15- 17
01.08 - 01.09	U3	64° 3.940'N, 11° 13.554' Ø	25 m	53	15- 17
01.09 - 01.10	U3	64° 3.940'N, 11° 13.554' Ø	25 m	53	15- 17



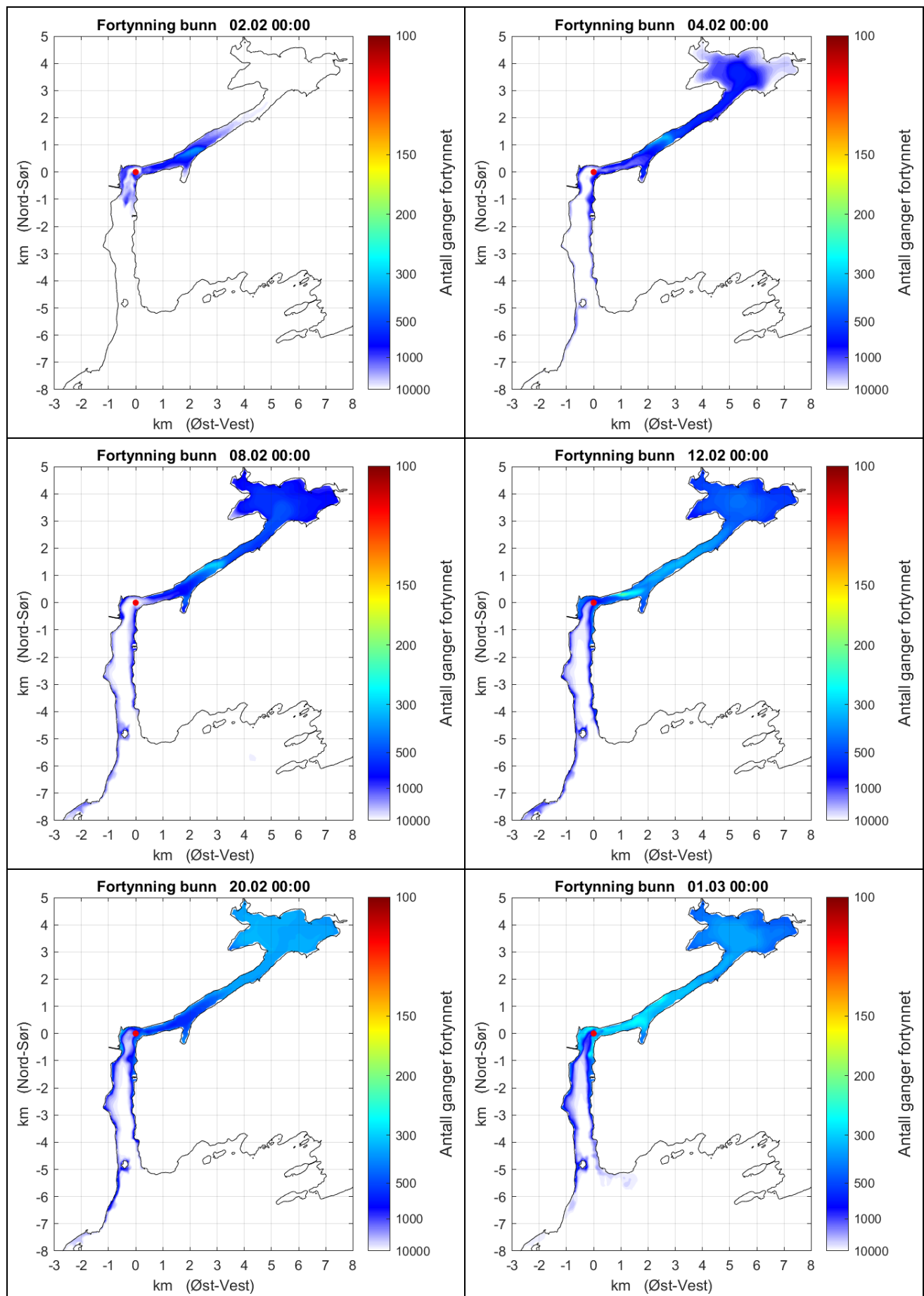
Figur 4.3 Fortynning registrert ved overflaten for utvalgte tidspunkt i januar. Utslipp fra posisjon U1 i Tabell 4.3.



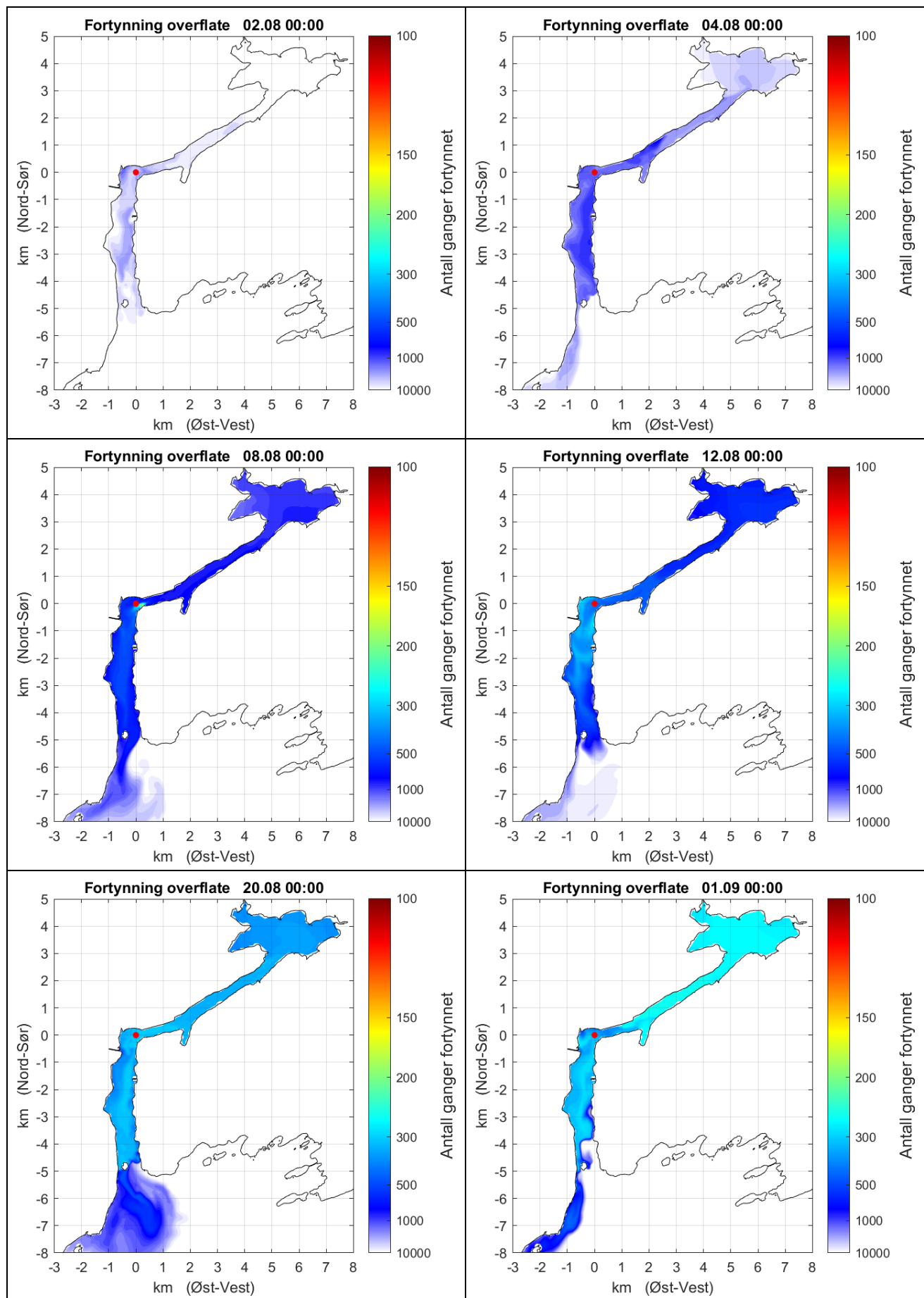
Figur 4.4 Fortynning registrert ved bunnen for utvalgte dager i januar. Utslipp fra posisjon U1 i Tabell 4.3.



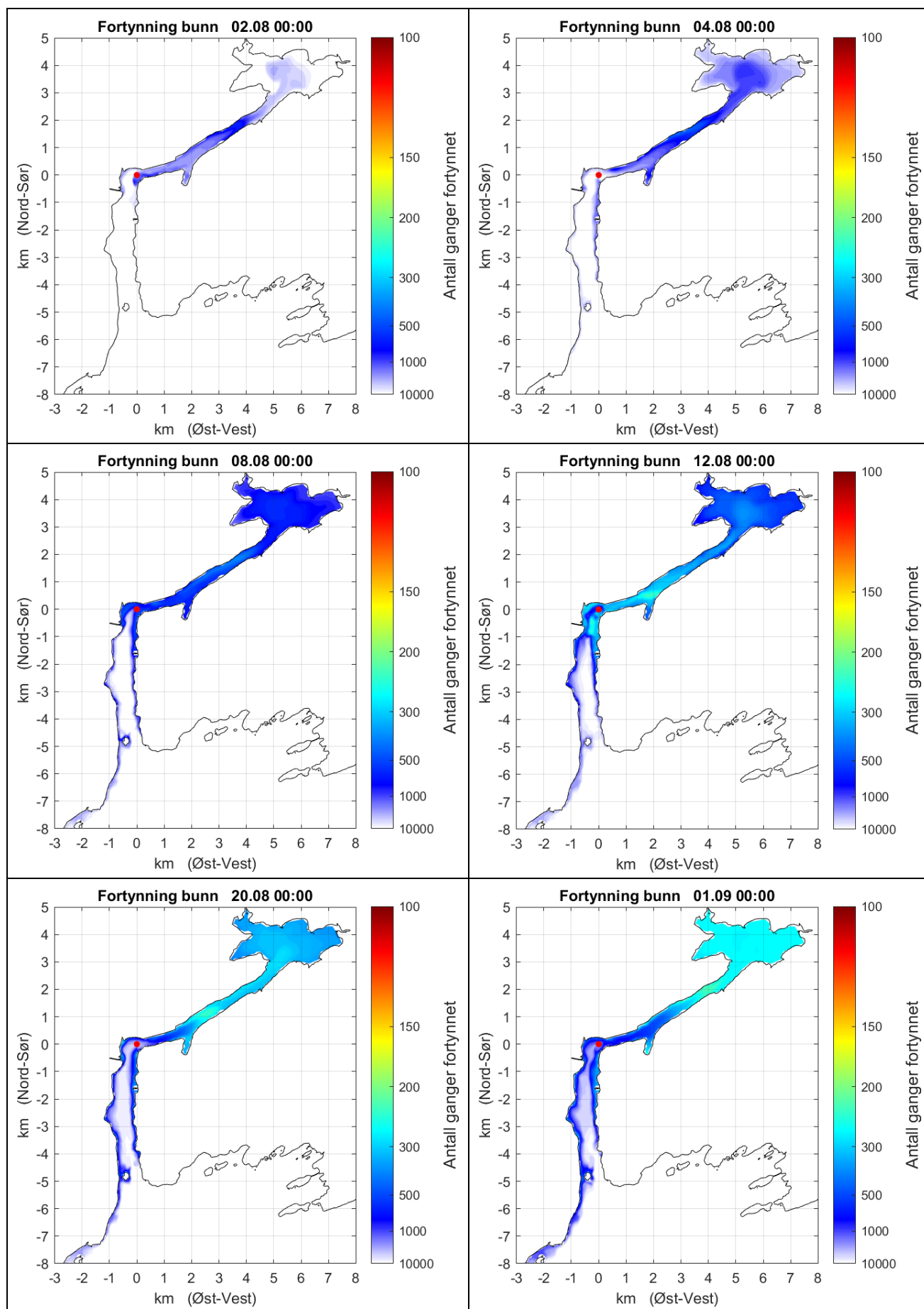
Figur 4.5 Fortynning registrert ved overflaten for utvalgte tidspunkt i februar. Utslipp fra posisjon U1 i Tabell 4.3.



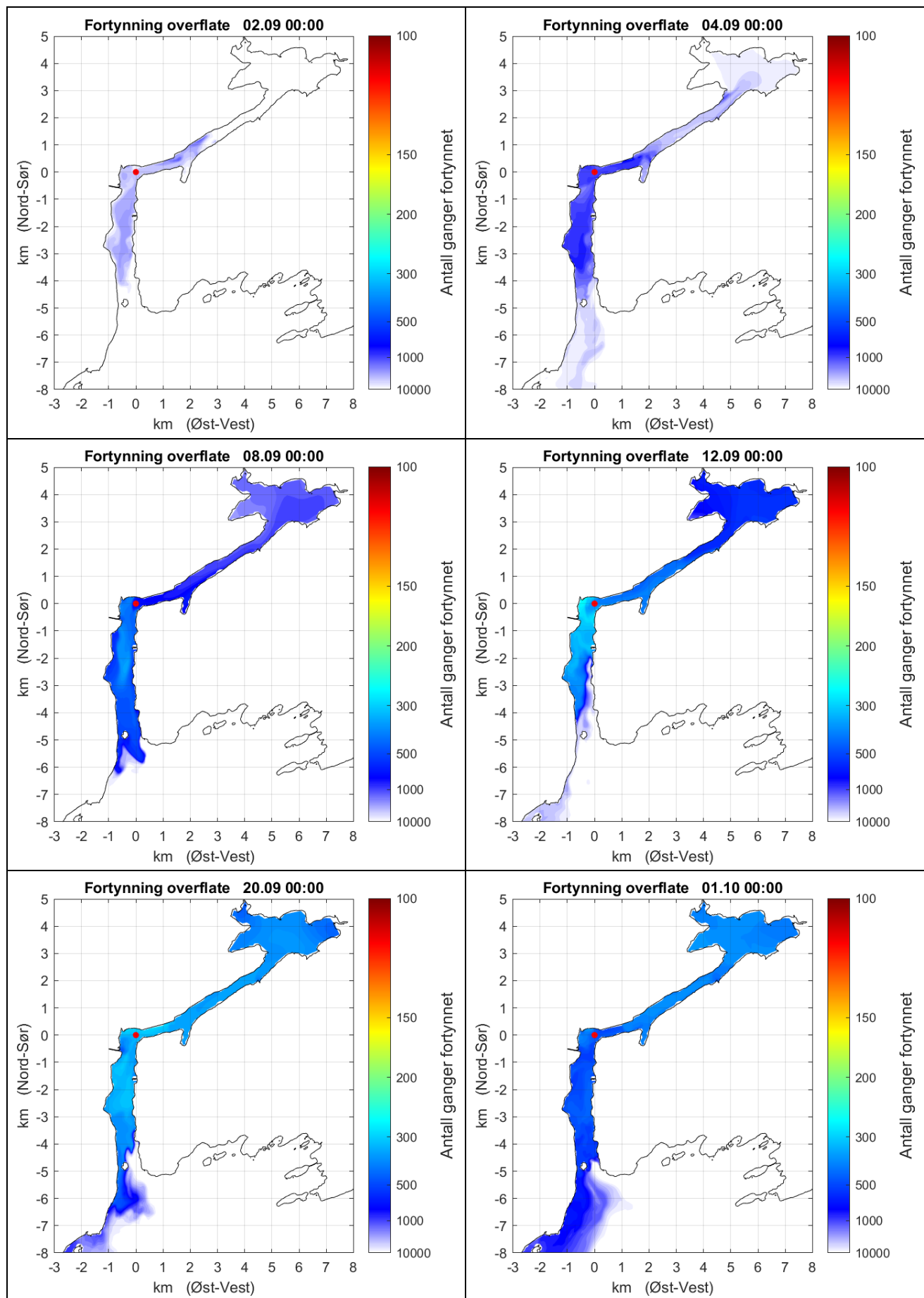
Figur 4.6 Fortynning registrert ved bunnen for utvalgte dager i februar. Utslipp fra posisjon U1 i Tabell 4.3.



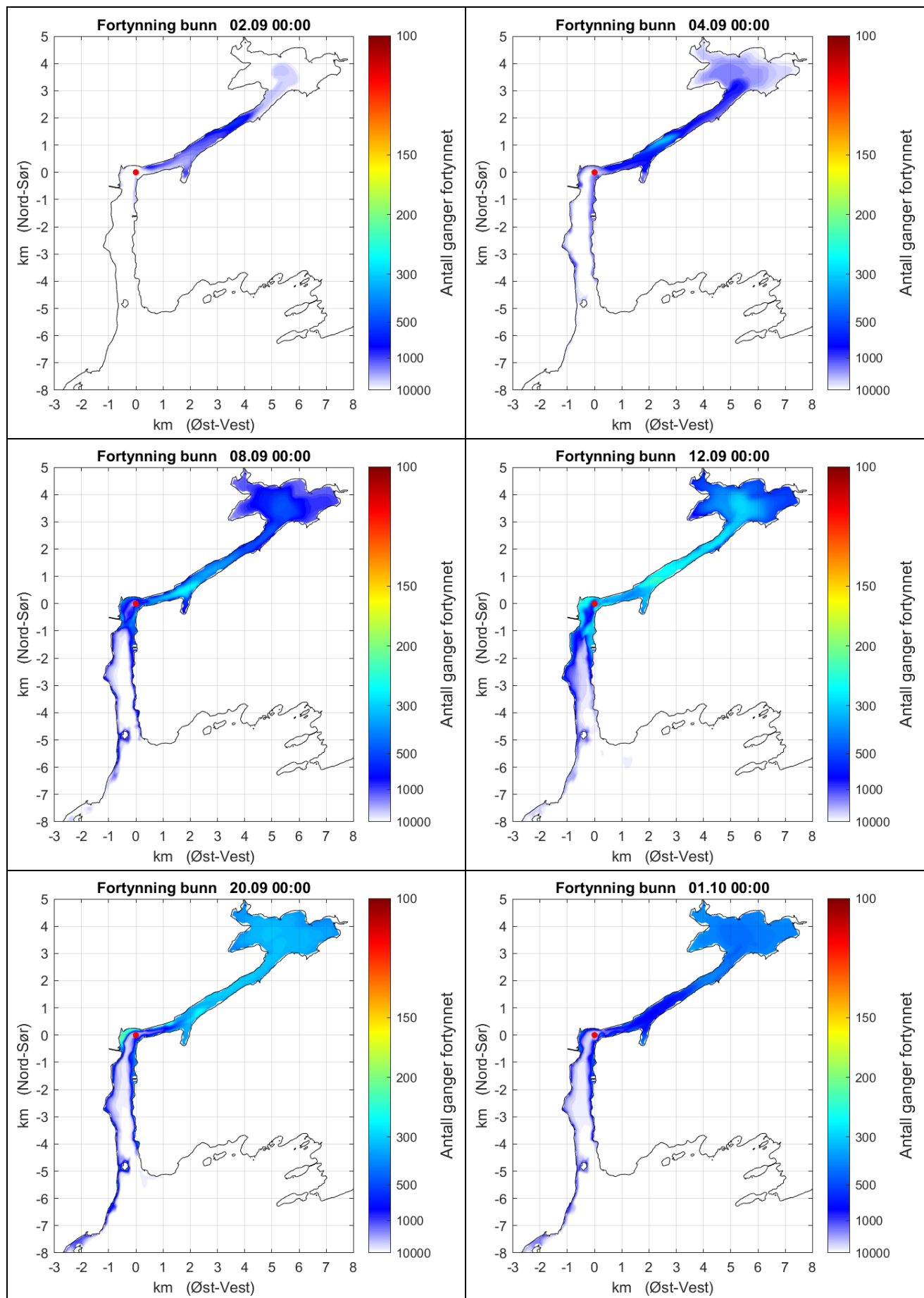
Figur 4.7 Fortynning registrert ved overflaten for utvalgte tidspunkt i august. Utslipp fra posisjon U1 i Tabell 4.3.



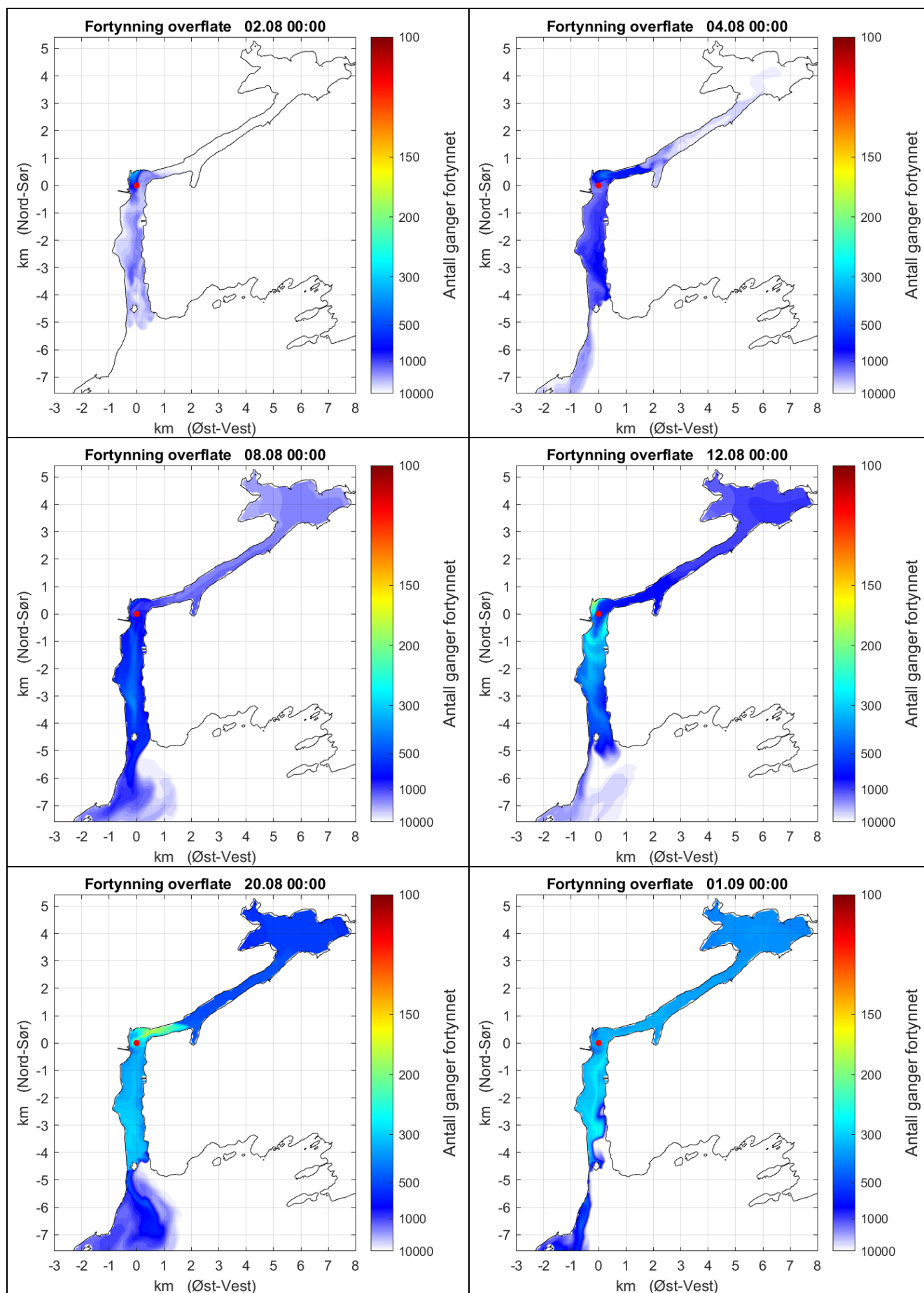
Figur 4.8 Fortynning registrert ved bunnen for utvalgte dager i august. Utslipp fra posisjon U1 i Tabell 4.3.



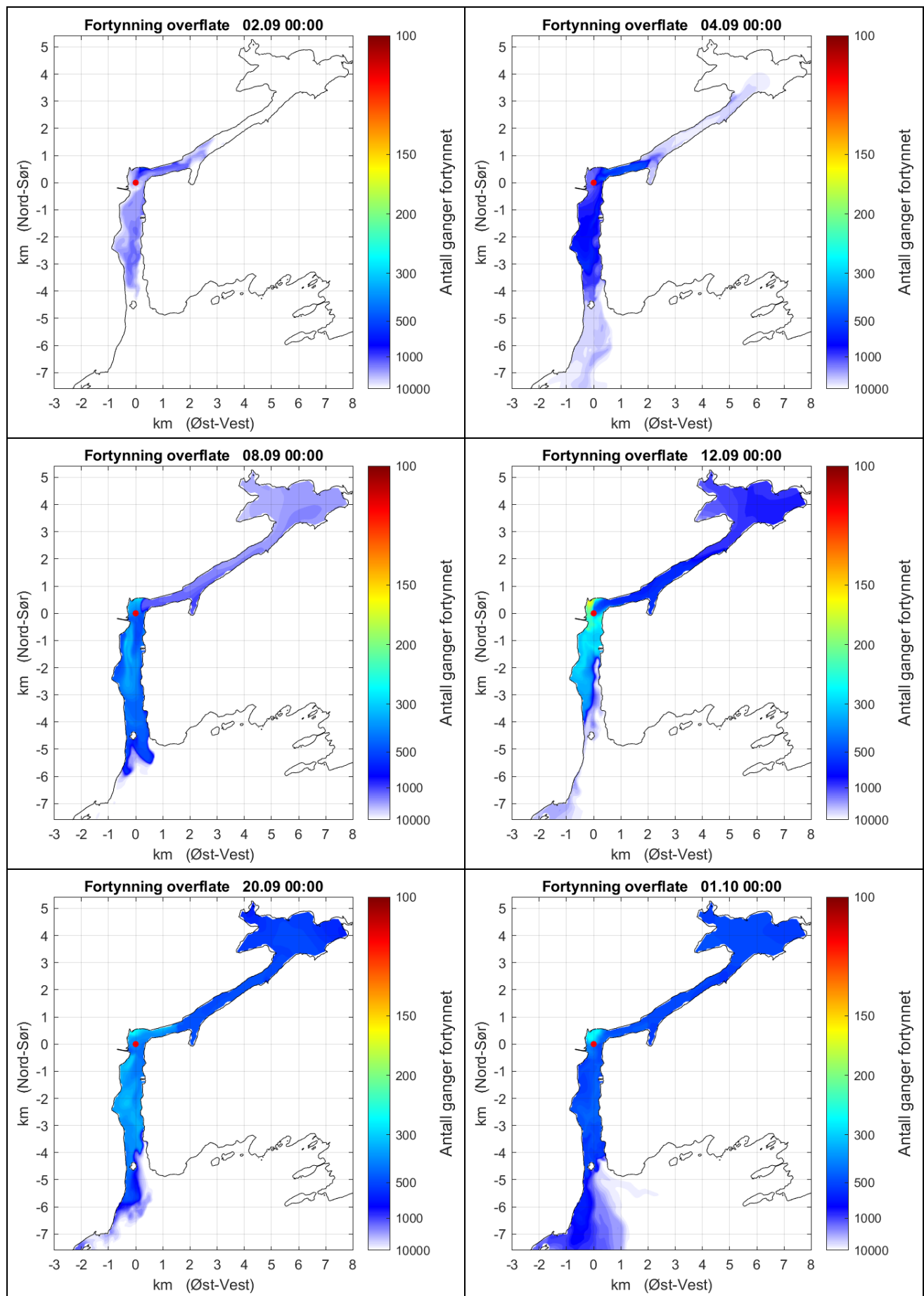
Figur 4.9 Fortynning registrert ved overflaten for utvalgte tidspunkt i september. Utslipp fra posisjon U1 i Tabell 4.3.



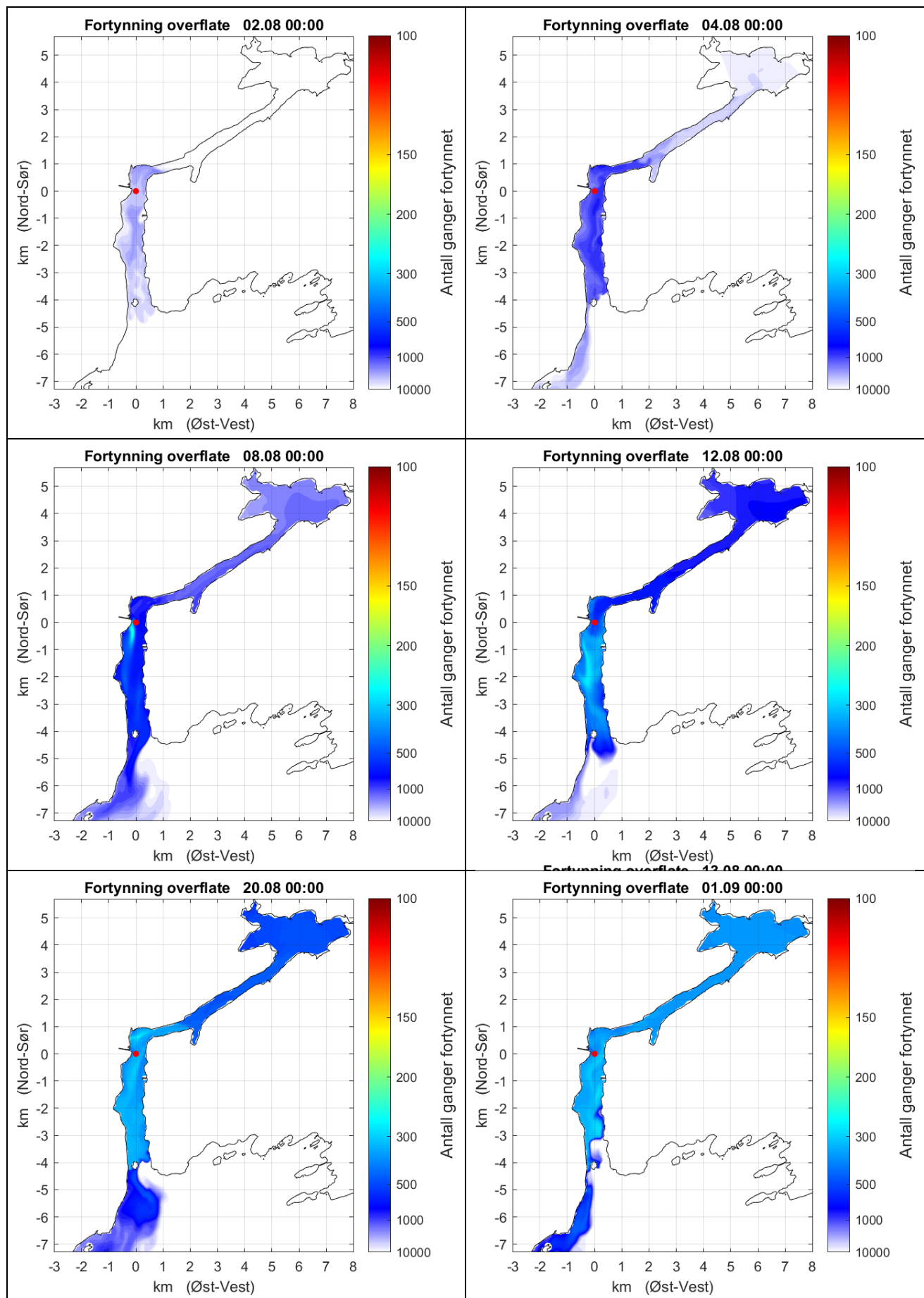
Figur 4.10 Fortynning registrert ved bunn for utvalgte dager i september. Utslipp fra posisjon U1 i Tabell 4.3.



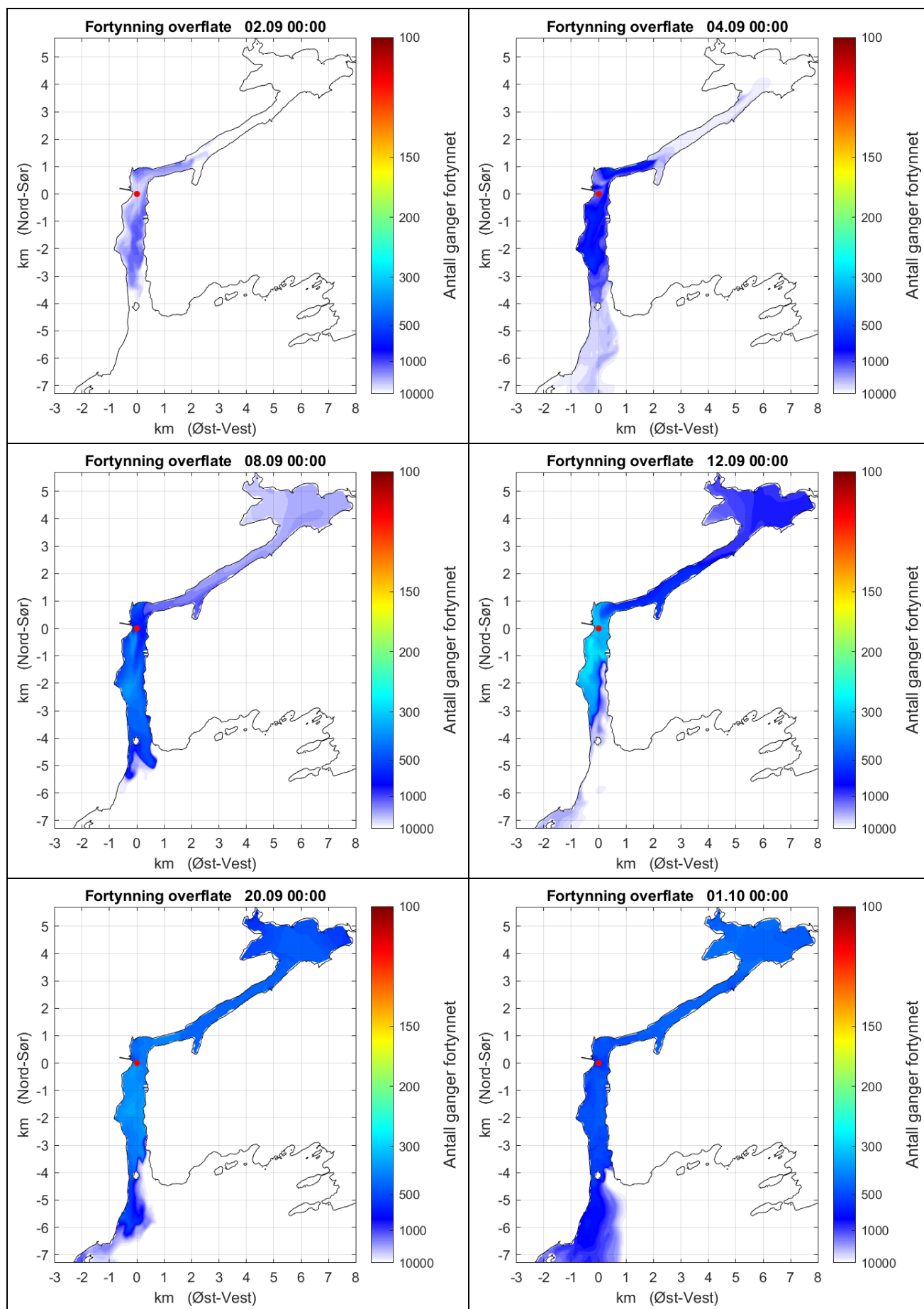
Figur 4.11 Fortynning registrert ved overflaten for utvalgte tidspunkt i august. Utslipp fra posisjon U2 i Tabell 4.3.



Figur 4.12 Fortynning registrert ved overflaten for utvalgte tidspunkt i september. Utslipp fra posisjon U2 i Tabell 4.3.



Figur 4.13 Fortynning registrert ved overflaten for utvalgte tidspunkt i august. Utslipp fra posisjon U3 i Tabell 4.3.



Figur 4.14 Fortynning registrert ved overflaten for utvalgte tidspunkt i september. Utslipp fra posisjon U3 i Tabell 4.3.

5. Konklusjon

Beregninger for innlagring og fortynning er gjort med temperatur- og salinitetsprofiler fra hydrografiske målinger som er tatt 26.02.2020 og 18.05.2020. Beregninger av primærspredning er gjort for ulike strømverdier fra simuleringene, signifikante minimalverdier og maksimalverdier, samt gjennomsnittsverdier ved måleposisjon. Utslippet er ved 25 m dyp.

5.1.1 Innlagringsdyp

Innlagring av utslippsskyen skjer mellom 14 og 18 m dyp avhengig av strøm og salinitetsprofil. Den hydrografiske profilen fra 26.02.2020 gav innlagring høyest oppe. De høyeste strømverdiene resulterte i dypest innlagring.

Salinitetsprofilene som er benyttet viser sterk sjikting i utslippsposisjonen og utslippsskyen når ikke opp til overflaten under primærspredning. I tilfeller med mindre sjikting vil innlagring skje høyere oppe i vannsøylen samtidig som primærfortynningen vil bli større.

5.1.2 Primærfortynning

Salinitetsprofilen fra 18.05.2020 gir lavest fortynning. Ved innlagring er utslippet fortynnet mer enn 53 ganger ved signifikant minimalstrøm. Fortynningen øker med strømverdiene og ved gjennomsnittlig strøm er fortynningen 114 ganger mens ved signifikant maksimalstrøm er fortynningen 184 ganger. Salinitetsprofilen fra 26.02.2020 gav fortynning på hhv 63, 121 og 279 ganger.

Innblanding av saltvann opptil 6.2 ppt har liten innvirkning på innlagringsdyp og reduserer ikke den minimale fortynningen vesentlig (se side 38 Vedlegg – Konsekvenser av salt i utslippsvann).

5.1.3 Sekundærfortynning

Sekundærfortynning er beregnet med utgangspunkt i lavest fortynningsgrad fra primærfortynning (53 ganger).

Spredningsmodelleringen viser at utslippet fra alle tre posisjonene som er valgt, når overflaten i løpet av det første døgnet. Det er da fortynnet mer enn 1 000 ganger. Utslipp som når overflaten transporteres raskt ut Beitstadsundet.

Utslipet nærmere bunnen transporteres østover innover til Hjellbotn samtidig som det fortynnes. Det blandes gradvis med vann lengre opp i vannsøylen samtidig som det fortynnes. Når det kommer nær overflaten transporteres det utover igjen ut Beitstadsundet og fortynnes raskt.

Utslipp som når overflaten innerst i Hjellbotn er fortynnet mer enn 250 ganger.

Ved å plassere utslippsrøret på grunnere vann vil utslippet kunne innlagres høyere oppe i vannsøylen. (se side 33 Vedlegg – Konsekvenser ved utslipp på grunnere dyp). Fortynningen ved overflaten innerst i Hjellbotn blir da mer enn 500 ganger.

6. Vedlegg – Konsekvenser ved utslipp på grunnere dyp

Strømmen ut av Beitstadsundet foregår i de øverste vannlagene. Ved å plassere utslippspunktet på grunnere vann vil utslippet kunne innlagres høyere oppe i vannsøylen og dermed raskere transporteres ut av Beitstadsundet. For å vise effektene av innlagring høyere oppe i vannsøylen, er det foretatt modellering av spredning av utslippsvann som er innlagret i vannsøylen på 6 m og 10 m ved samme posisjon som det tidligere. Tabell 4 viser inngangsdata for modelleringene.

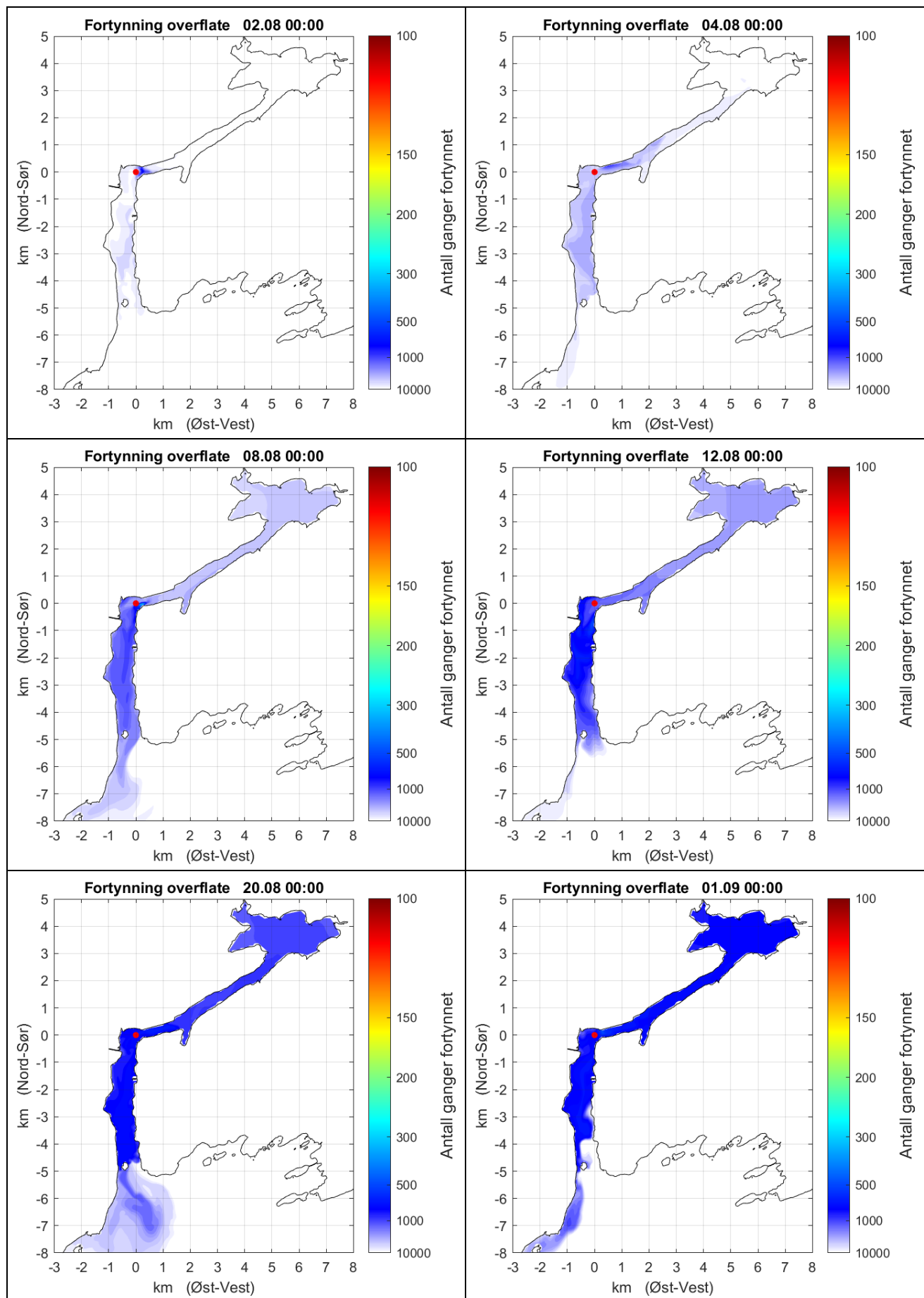
Tabell 4 Inngangsdata for sekundærspredning for utvalgte perioder

Tidsrom	Posisjon		Dybde	Fortynning	Innlagring (m)
01.08 - 01.09	U1	64° 4.350'N, 11° 14.015' Ø	25 m	53	5 - 7
01.09 - 01.10	U1	64° 4.350'N, 11° 14.015' Ø	25 m	53	5 - 7
01.08 - 01.09	U1	64° 4.350'N, 11° 14.015' Ø	25 m	53	9 - 11
01.09 - 01.10	U1	64° 4.350'N, 11° 14.015' Ø	25 m	53	9 - 11

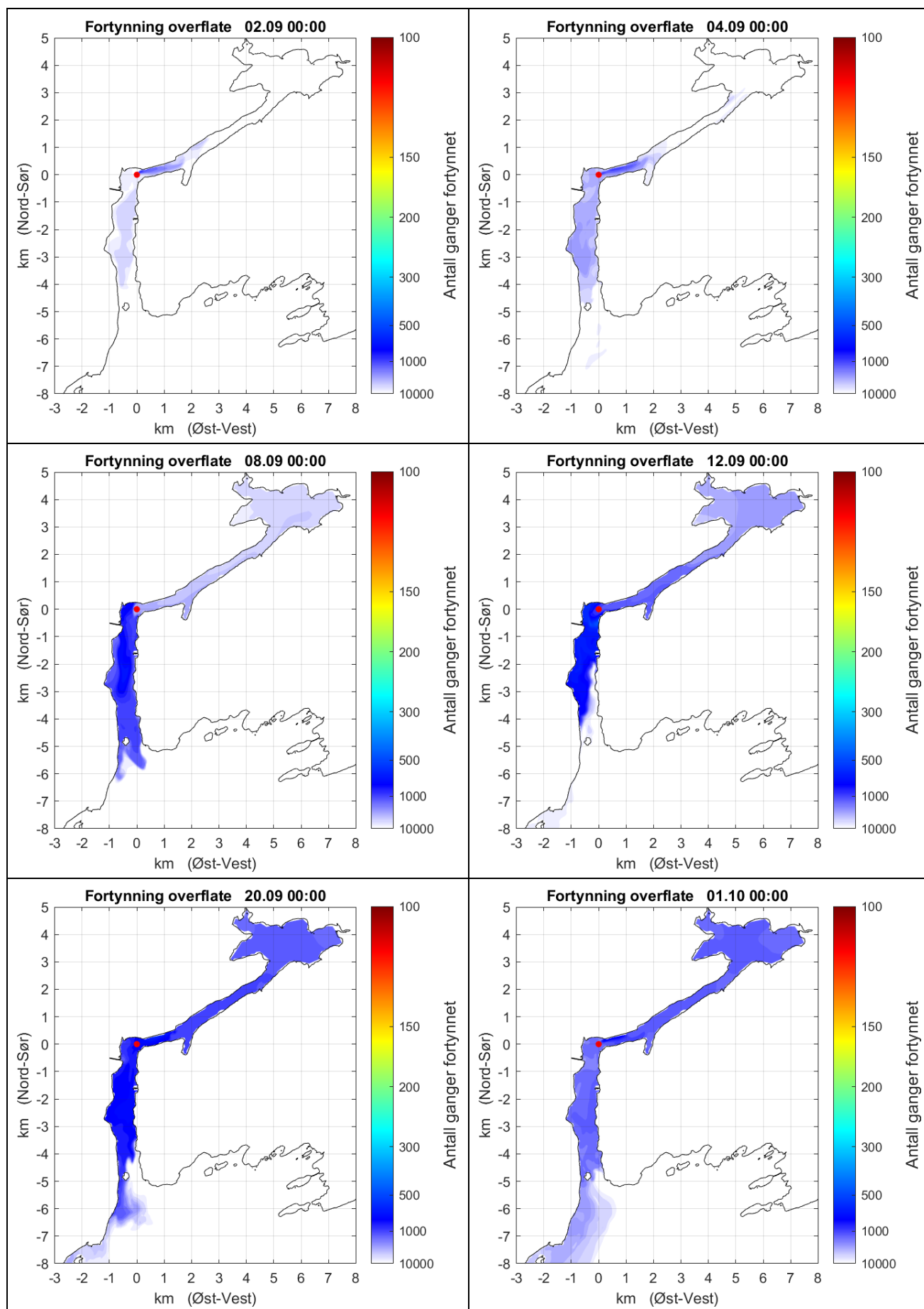
Figur 4.4 og Figur 4.5 viser fortynning ved overflaten, etter innlagring på 6 m, for hhv. august og september. Utslipet når overflaten i løpet av et døgn (fortynning på 10 000 ganger). I det utslippet når overflaten transporteres det raskt ut fjorden. Fortynningen like ved utslippspunktet kan i kortere perioder være lavere enn 300 ganger (etter 8 dager i august). Lengre inne i fjorden ved Tjuin, er fortynningen mer enn 500 ganger. Etter 4 dager i august er fortynningen ved overflaten i Hjellbotn fortsatt mer enn 10 000 ganger. Etter 20 dager i august er utslippsvannet i Hjellbotn fortynnet 1000 ganger. Ved utgangen av august er fortynningen fortsatt mer enn 500 ganger.

Simuleringene i september viser generelt noe høyere fortynninger enn i august. Ved utgangen av september er utslippsvannet fortynnet mer enn 1000 ganger inne i Hjellbotn.

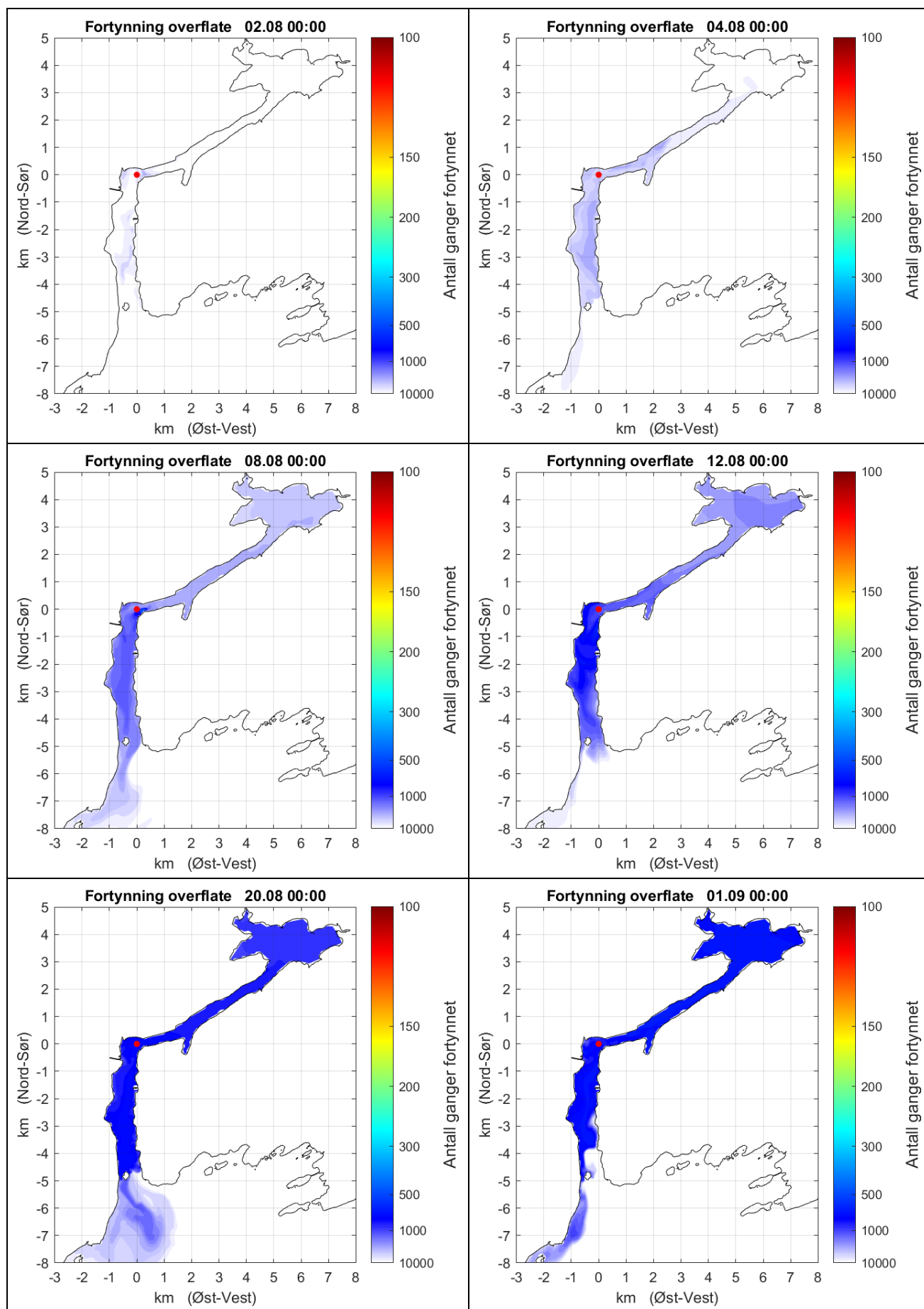
Fortynning ved overflaten etter innlagring ved 10 m dyp er vist i Figur 6.3 for august og Figur 6.4 for september. Disse resultatene skiller seg i liten grad fra de fra innlagring ved 6 m. Utslipet bruker noe lengre tid på å nå overflaten og det er mindre variasjon i fortynning i umiddelbar nærhet av utslippspunktet. Fortynningen innerst i Hjellbotn er noe lavere enn ved innlagring ved 6 m, men den er fortsatt mer enn 500 ganger ved utgangen av august, og på ca. 1000 ganger ved utgangen av september.



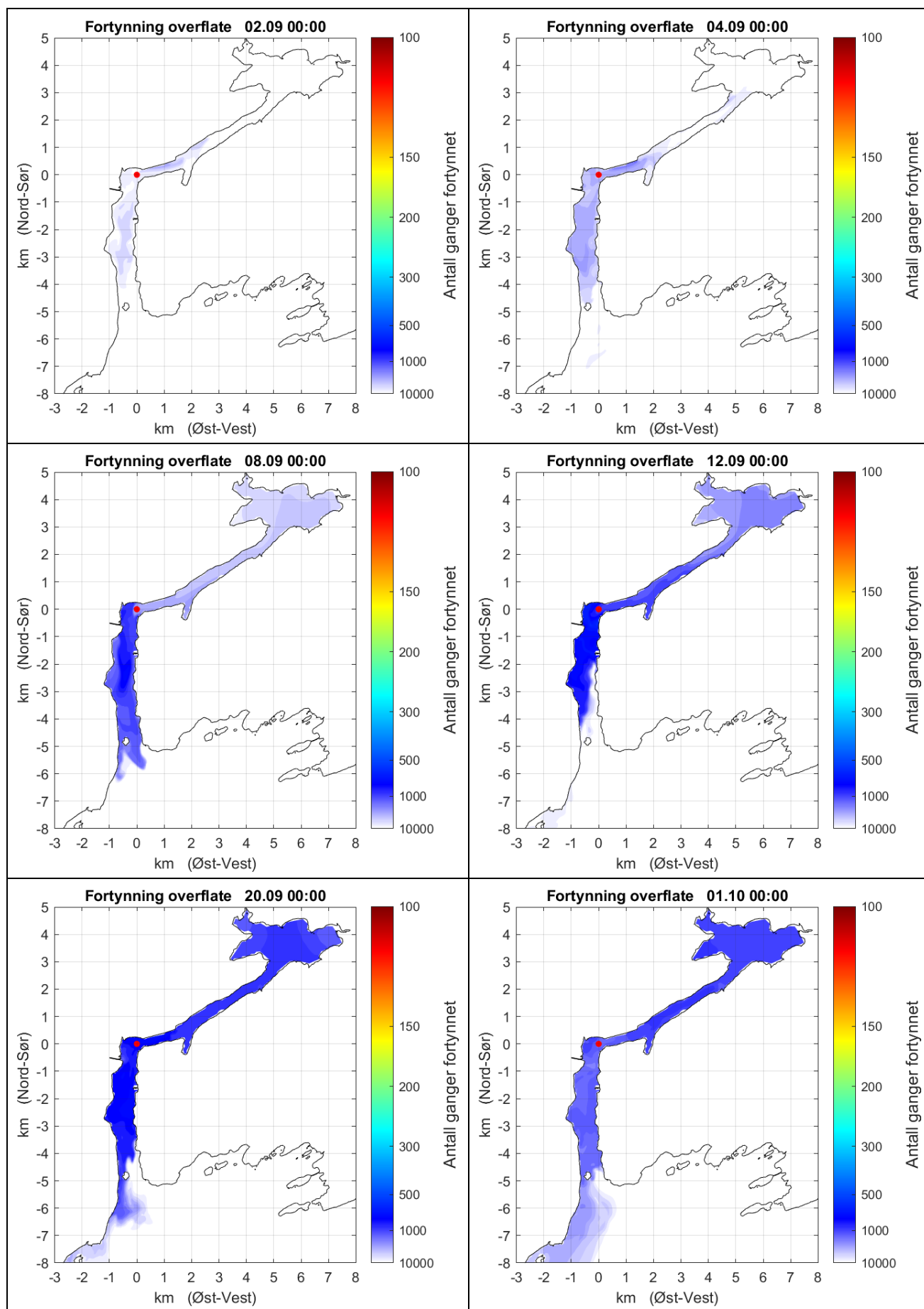
Figur 6.1 Fortynning registrert ved overflaten for utvalgte dager i august. Utslipp fra posisjon U1 vist med rød prikk med innlagring ved 6 m.



Figur 6.2 Fortynning registrert ved overflaten for utvalgte tidspunkt i september. Utslipp fra posisjon U1 (rød prikk) med innlagring ved 6 m.



Figur 6.3 Fortynning registrert ved overflaten for utvalgte dager i august. Utslipp fra posisjon U1 (rød prikk) med innlagring ved 10 m.



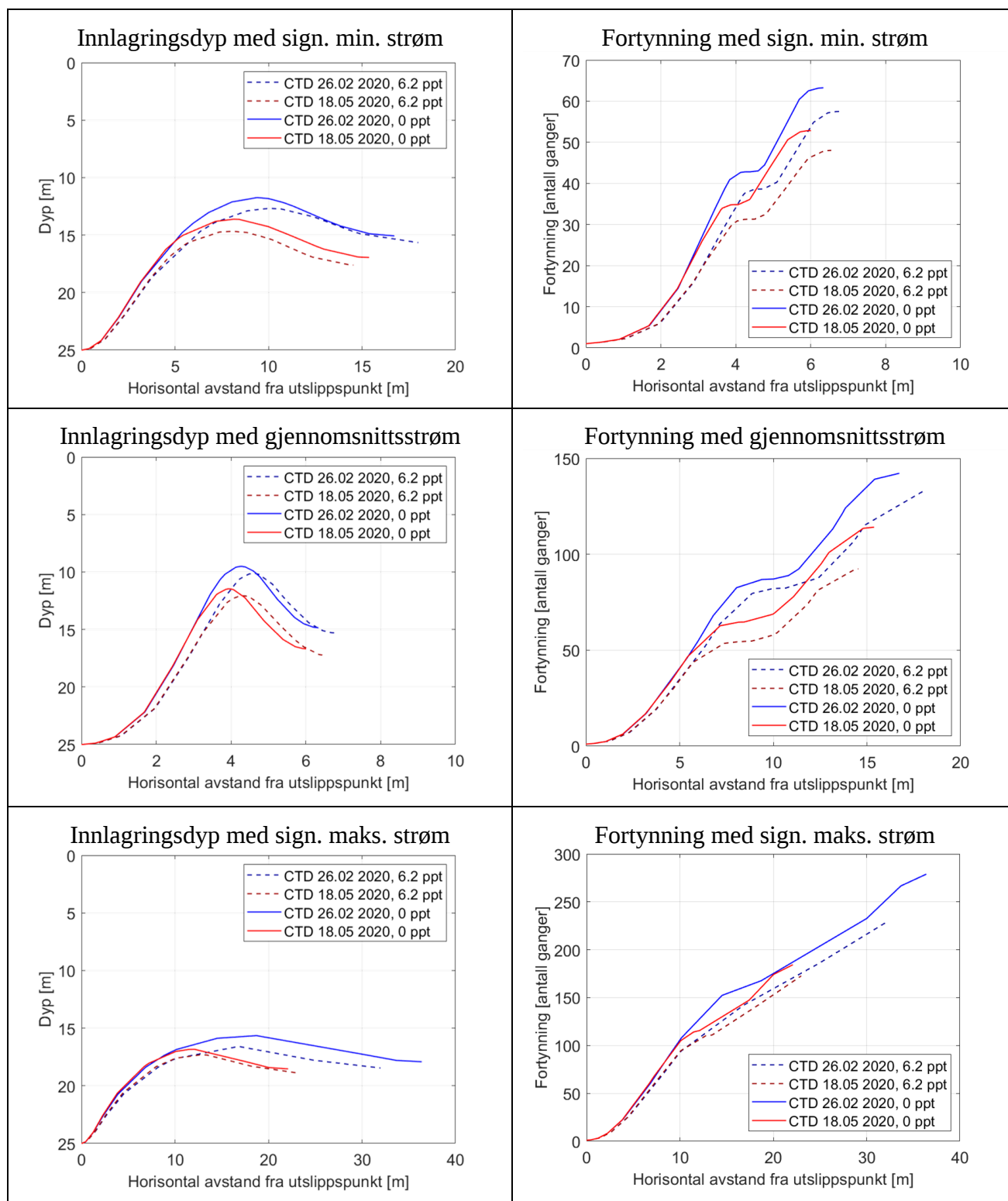
Figur 6.4 Fortynning registrert ved overflaten for utvalgte tidspunkt i september. Utslipp fra posisjon U1 (rød prikk) med innlagring ved 10 m.

7. Vedlegg – Konsekvenser av salt i utslippsvann

Innblanding av saltvann i utslippsvannet er forventet å påvirke primærfortynning og innlagringsdyp. For å undersøke effektene av dette er det foretatt modellering av primærspredning med utslippsvann med 6.2 ppt salinitet. I Tabell 7.1 og Figur 7.1 er resultatene sammenlignet med primærspredning av utslippsvann med 0 ppt. De viser at utslippsvann med salinitet opptil 6.2 ppt har liten innvirkning på resultatene. Innlagringsdypet øker med opptil 0.6 m. Laveste fortynning avtar fra 53 ganger til 48 ganger.

Tabell 7.1 Sammendrag av primærspredning ved Tjuin med og uten innblanding av saltvann.

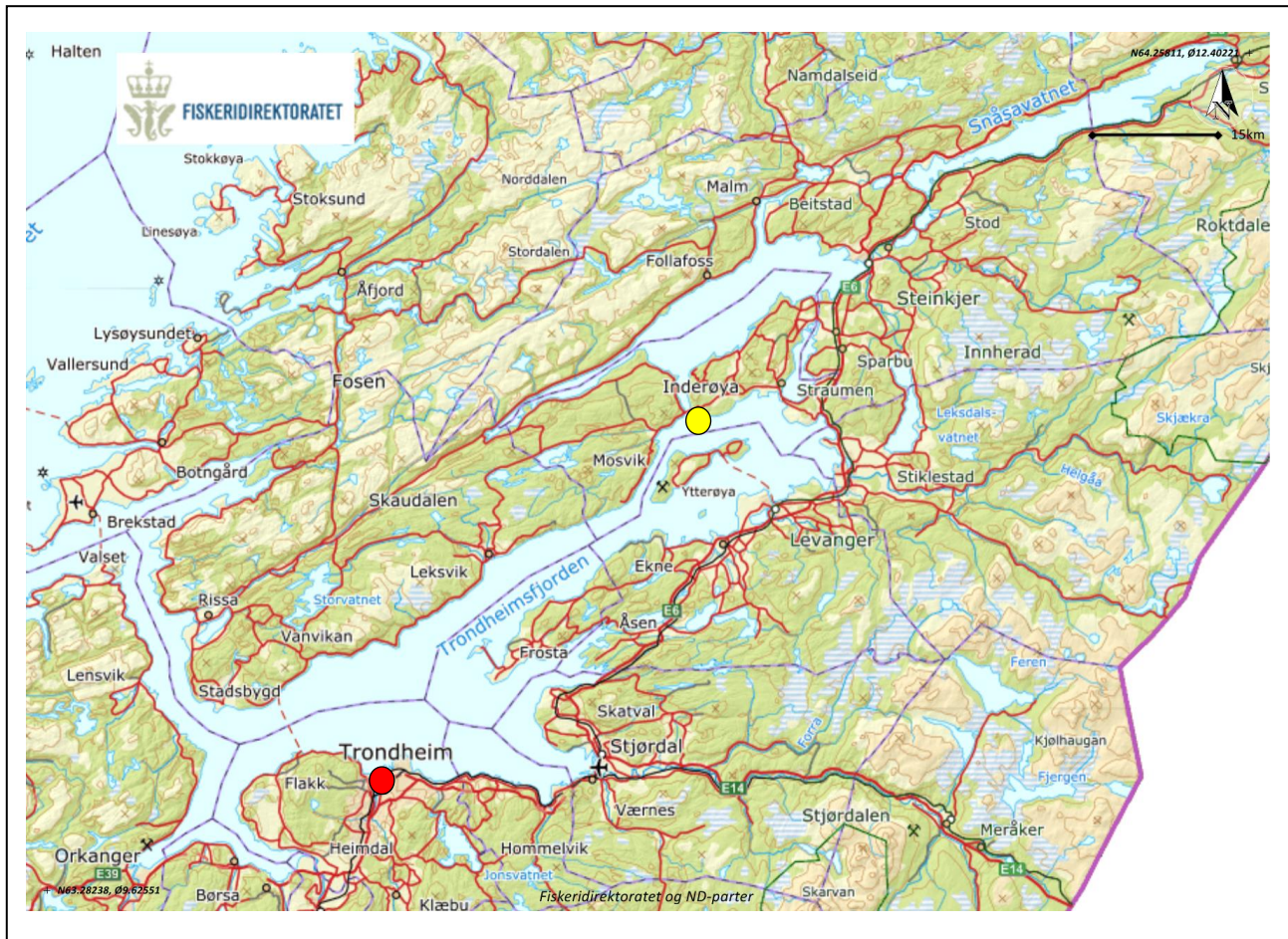
Strømverdier	Salinitet utslippsvann	Innlagringsdyp 26.02.2020	Fortynning 26.02.2020	Innlagringsdyp 18.05.2020	Fortynning 18.05.2020
Sign. min.	0 ppt	14.9 m	63 ganger	16.7 m	53 ganger
	6.2 ppt	15.3 m	58 ganger	17.3 m	48 ganger
Gjennomsnitt	0 ppt	15.1 m	142 ganger	17.0 m	114 ganger
	6.2 ppt	15.7 m	133 ganger	17.6 m	92 ganger
Sign. maks.	0 ppt	17.9 m	279 ganger	18.7 m	184 ganger
	6.2 ppt	18.5 m	228 ganger	18.9 m	172 ganger



Figur 7.1 Beregnet innlagringsdyp for utslipp er vist i venstre kolonne. Høyre kolonne viser tilhørende fortynning. De blå linjene er resultater for salinitetsprofil registrert 26.02.2020 og de røde linjene viser resultatene fra profil registrert 18.05.2020. De heltrukne linjene er resultater med 0 ppt salinitet i utslippsvannet. Stiplede linjer er resultater med 6.2 ppt salinitet i utslippsvannet. Øverst er resultatene oppnådd med signifikante minimalverdier for strøm. I midten er resultatene med gjennomsnittsverdier for strøm. De to nederste figurene er resultater med signifikante maksimalverdier for strøm

8. Vedlegg - Havnivå

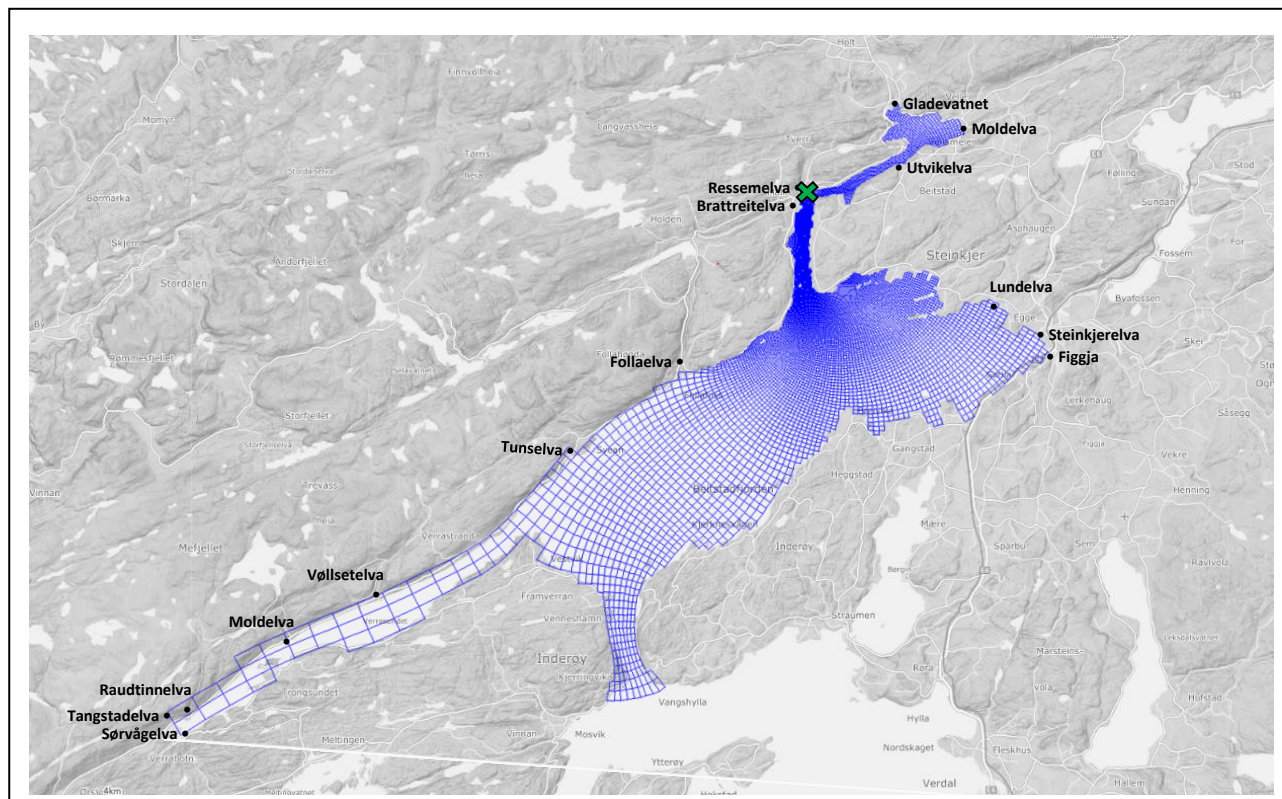
I modellen benyttes havnivå hentet fra Statens kartverk for Vangshylla på sørsiden av Inderøya. Posisjonen er vist med gul prikk i Figur 8.1. Havnivået er bestemt ut fra målingene gjort i Trondheim som befinner seg 55 km sørvest for Vangshylla. Kartverket gjør beregninger for å rette opp for eventuell forskjell i fase og amplitude mellom målepunkt i Trondheim og Vangshylla. Tidevannet har ingen tidsforskjell mellom Trondheim og Vangshylla, men amplituden er korrigert med en høydefaktor på 1.04.



Figur 8.1 Oversiktskart fra Tjuin og sørover. Punkt for vannstandsmåling i Trondheim vist med rød prikk og havnivå ved Vangshylla som er benyttet i modellen er vist med gul prikk. Kartet er hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy, med datum WGS84.

9. Vedlegg – Ferskvannstilsig

Vassdrag som tilfører ferskvann til det modellerte området, er vist i Figur 9.1.



Figur 9.1 Oversikt over vassdrag som bidrar med ferskvann i modellen.

Det er stor forskjell i vannføring på de forskjellige elvene, og maksimal vannføring i elvene som er inkludert i modellen er vist i Tabell 9.1. Steinkjerelva har størst vannføring, etterfulgt av Follaelva. Begge ligger relativt nært utslippspunktet og vil ha en dominerende innvirkning på lagdelingen og strømforholdene. Det er i alt 5 elver i og innenfor Beitstadsundet med mindre vannføring, men som følge av sentral plassering også er forventet å påvirke sjiktingen i vannsøylen og strømforholdene ved utslippspunktet i betydelig grad.

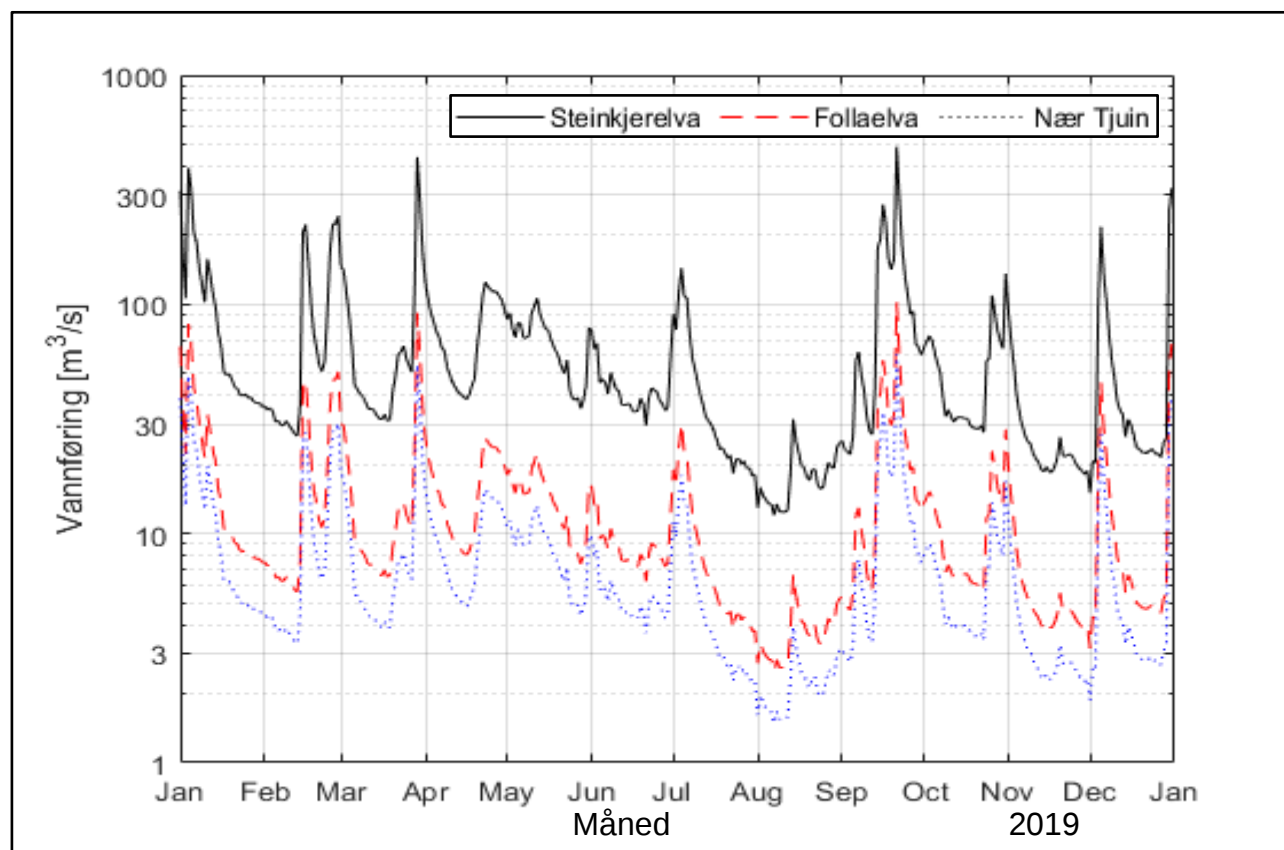
I Figur 9.2 er vannføringen i 2019 vist for Steinkjerelva og Follaelva, sammen med det samlede bidraget fra de fem elvene innenfor Beitstadsundet (nær Tjuin).

De tre høyeste toppene for vannføring i 2019 opptrer 4. januar, 29. mars og 21. september, der den sistnevnte har høyeste verdier og er mest langvarig. Lav vannføring opptrer i en lengre periode fra midten av juli og vedvarer gjennom hele august med den laveste verdien 7. august. Det er også kortere perioder med lav vannføring i november og desember, der laveste verdi opptrer 1. desember. Mai og juni er de månedene som har minst variasjon i vannføring. I denne perioden er det ingen tydelige strømtopper.

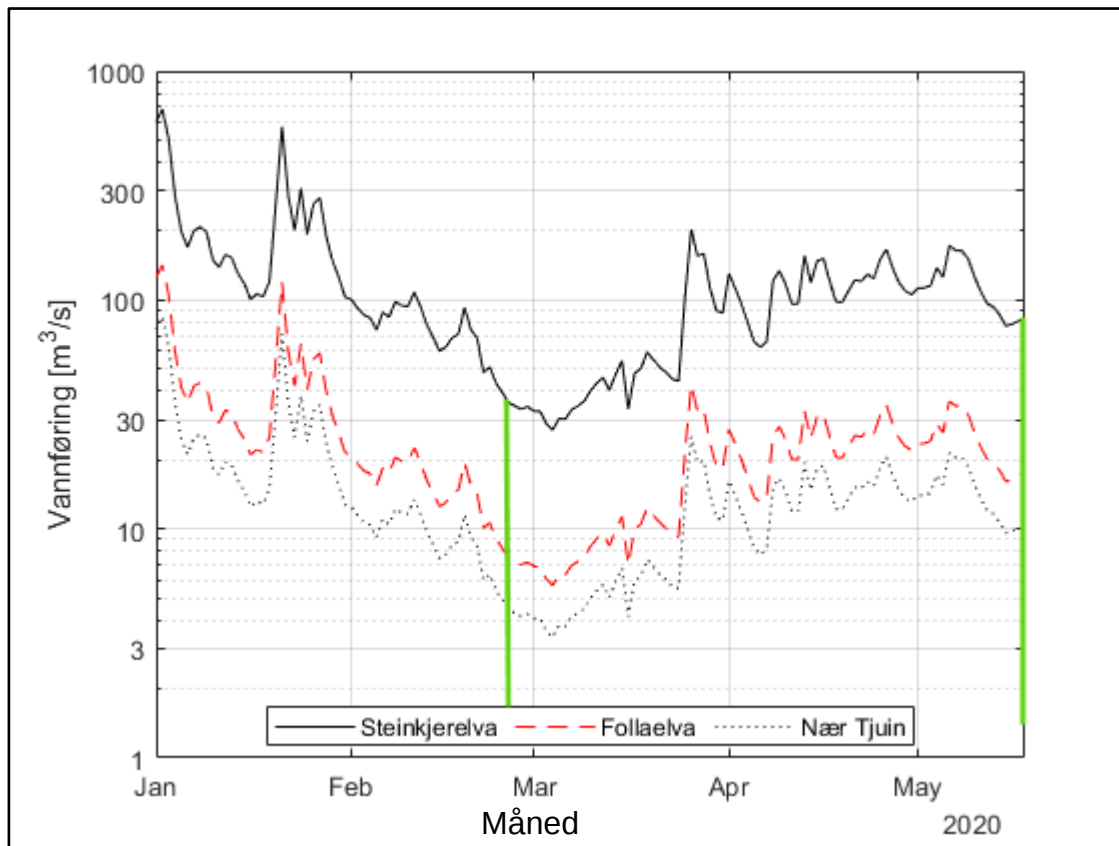
Det er foretatt målinger av salinitet i forbindelse med utsett og opptak av strømmålere i 2020. I den forbindelse er det relevant å sammenligne ferskvannstilsig i 2019 med tilgjengelig data i 2020 fram til opptak 18. mai. Dette er vist i Figur 9.3. Tidspunkt for de to CTD-målingene er vist med grønne linjer. Det er omtrent dobbelt så stor vannføring ved opptakstidspunkt sammenlignet med tidspunkt for utsett.

Tabell 9.1 Maksimal vannføring til elvene som er inkludert i modellen. Elvene vist med fet skrift har stor vannføring og har utløp nært utslippspunktet. De som er vist i blått har utløpsposisjon innenfor Beitstadsundet.

	Største vannføring	Posisjon (N)	Posisjon (Ø)
Figgja	64	64° 0.247'	11° 29.990'
Lundelva	3	64° 1.602'	11° 26.564'
Steinkjerelva	488	64° 0.964'	11° 29.842'
Utvikelva	8	64° 5.367'	11° 19.644'
Gladsevatnet	11	64° 7.190'	11° 19.126'
Moldelva Ø	22	64° 6.576'	11° 23.601'
Ressemelva	6	64° 4.473'	11° 13.338'
Brattreitelva	13	64° 4.028'	11° 13.215'
Follaelva	102	63° 59.040'	11° 6.436'
Tunselva	10	63° 56.625'	10° 59.552'
Vølsetelva	38	63° 52.184'	10° 47.854'
Moldelva V	21	63° 50.951'	10° 42.663'
Tangstadelva	12	63° 48.131'	10° 35.113'
Rauttinnelva	13	63° 48.476'	10° 36.338'
Sørvågelva	4	63° 47.800'	10° 35.412'



Figur 9.2 Vannføring i løpet av 2019 fra de to største elvene i området, samt samlet vannføring fra de 5 elvene nord for utslippspunktet som er plassert nært Tjuin (stiplet linje – markert Tjuin).



Figur 9.3 Vannføring i 2020 fram til 18. mai fra de to største elvene i området, og samlet vannføring fra de 5 elvene nord for utslippspunktet som er plassert nær Tjuin (stiplet linje – markert Tjuin). Grønne linjer angir tidspunkt for måling av salinitet i forbindelse med utsett og opptak av strømmålere som var hhv. 26.02.2020 og 18.05.2020.

10. Vedlegg – Resultater fra simulering

10.1 Vurdering av salinitet ved utslippspunkt

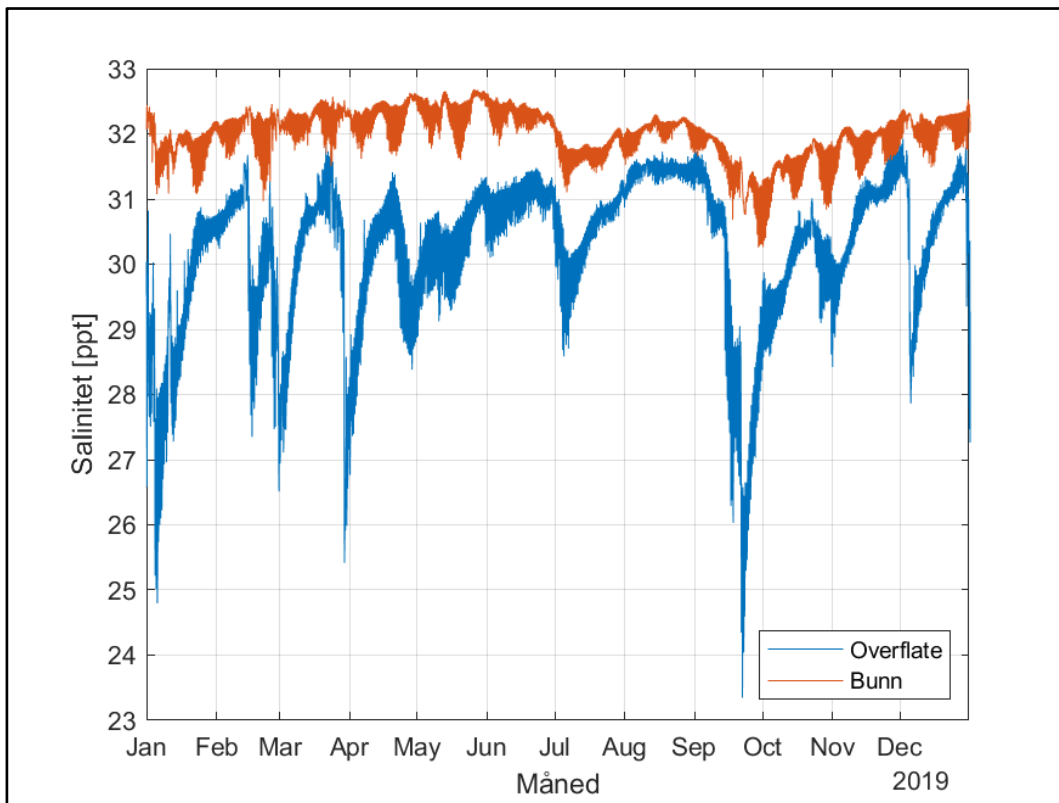
Saliniteten i vannlagene over utslippspunktet er en av de viktigste faktorene i sammenheng med innlagring av utslipp fra rør. Den er høyest ved bunnen og øker opp til overflaten. Saliniteten i de øvre vannlagene er påvirket av ferskvannstilsig i fjorden og i perioder med mye smeltevann eller nedbør vil saliniteten nær overflaten kunne bli relativt lav.

Saliniteten påvirkes videre av strømforholdene og variasjoner over korte tidsrom som følge av tidevann. Det er foretatt simuleringer for hele 2019 for å kunne fange opp dette sammen med sesongvariasjoner. Figur 10.1 viser saliniteten med tid i posisjon  i Figur 2.2 ved overflaten og ved bunnen i vannsøylen. Lavest salinitet ved overflaten opptrer i begynnelsen av januar og i slutten av september 2019. Dette opptrer i forbindelse med toppene i ferskvannstilsig 4. januar og 21 september. Saliniteten øker imidlertid raskt etter ferskvann tilsiget avtar igjen og forskjellen i salinitet er som regel mindre enn 4 ppt fra overflate til bunn. Figur 10.2 viser representative salinitetsprofiler fra simuleringene. Salinitetsprofiler fra overflaten ned til bunnen er registrert for hvert 10. minutt i simuleringene

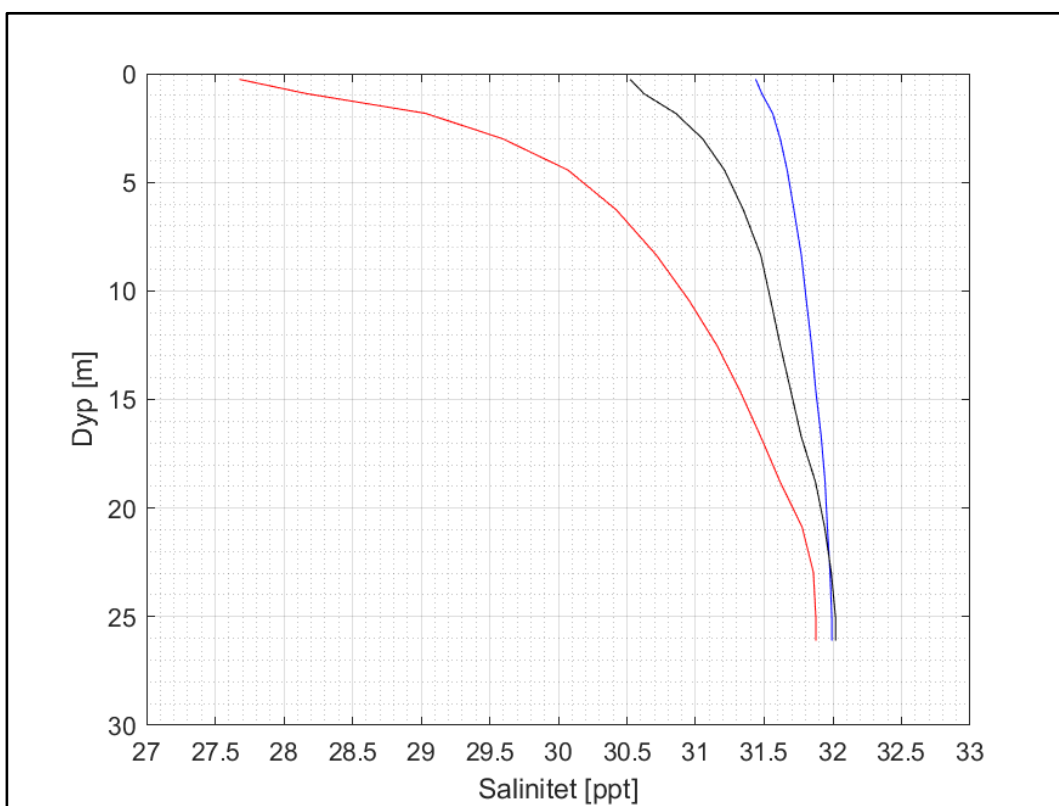
og sortert etter hvor stor endring det er fra overflate til bunn. Fra denne sorteringen er det identifisert en 15. prosentil som representerer resultater med liten endring i salinitet. Videre er det hentet en 50. prosentil (median) og en 85. prosentil som representative profiler av salinitet i simuleringene.

Det vesentligste av endringen opptrer i de øverste 5 meterne i vannsøylen. Simuleringene viser også perioder med sjikting helt ned til 20 m dyp (15. prosentil).

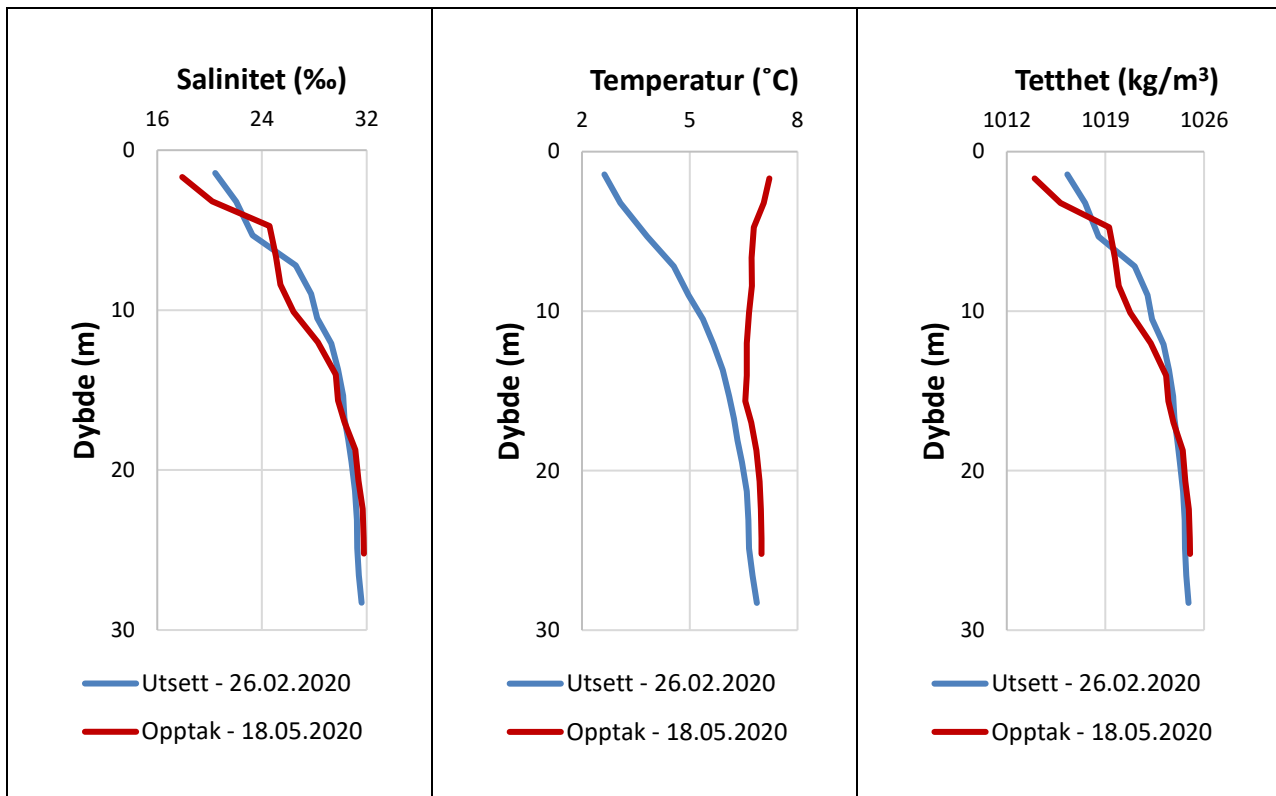
I strømmodellen benyttes en såkalt sigmamodell med et fast antall på 15 dybdelag av varierende tykkelse. Det er kjent at denne modellen kan underestimere sjiktingen i vannsøylen. Resultater fra hydrografimålinger (Åkerblå AS, 2020) 26.2.2020 og 18.05.2020 viser at saliniteten kan være vesentlig lavere hhv. 20.4 ppt og 17.9 ppt nær overflaten (se Figur 10.3). Simuleringene viser et lignende kvalitativt forløp med sterkest sjikting i de øverste 5 m av vannsøylen, men underestimerer den totale forskjellen mellom saliniteten ved bunnen og overflaten. For å ta hensyn til dette, er målte verdier for salinitet benyttet i beregning av primærspredning.



Figur 10.1 Variasjon i salinitet (ppt) ved posisjon ✖ i Figur 2.2 for hele den simulerte perioden. Saliniteten ved overflate og bunn er vist.



Figur 10.2 Karakteristiske salinitetsprofiler hentet fra simulering. Den svarte linjen representerer medianen (50. percentil) for salinitet i den simulerte perioden, den røde (blå) linjen er representerer 15. (85.) percentil for saliniteten salinitetsprofil. Se tekst for mer utfyllende forklaring.



Figur 10.3 Vertikalprofiler av salinitet, temperatur og tetthet, hentet fra CTD målinger utført i forbindelse med utsett og opptak av strømmålinger ved posisjon ✖ i Figur 2.2.

10.2 Strømresultater for simulert periode

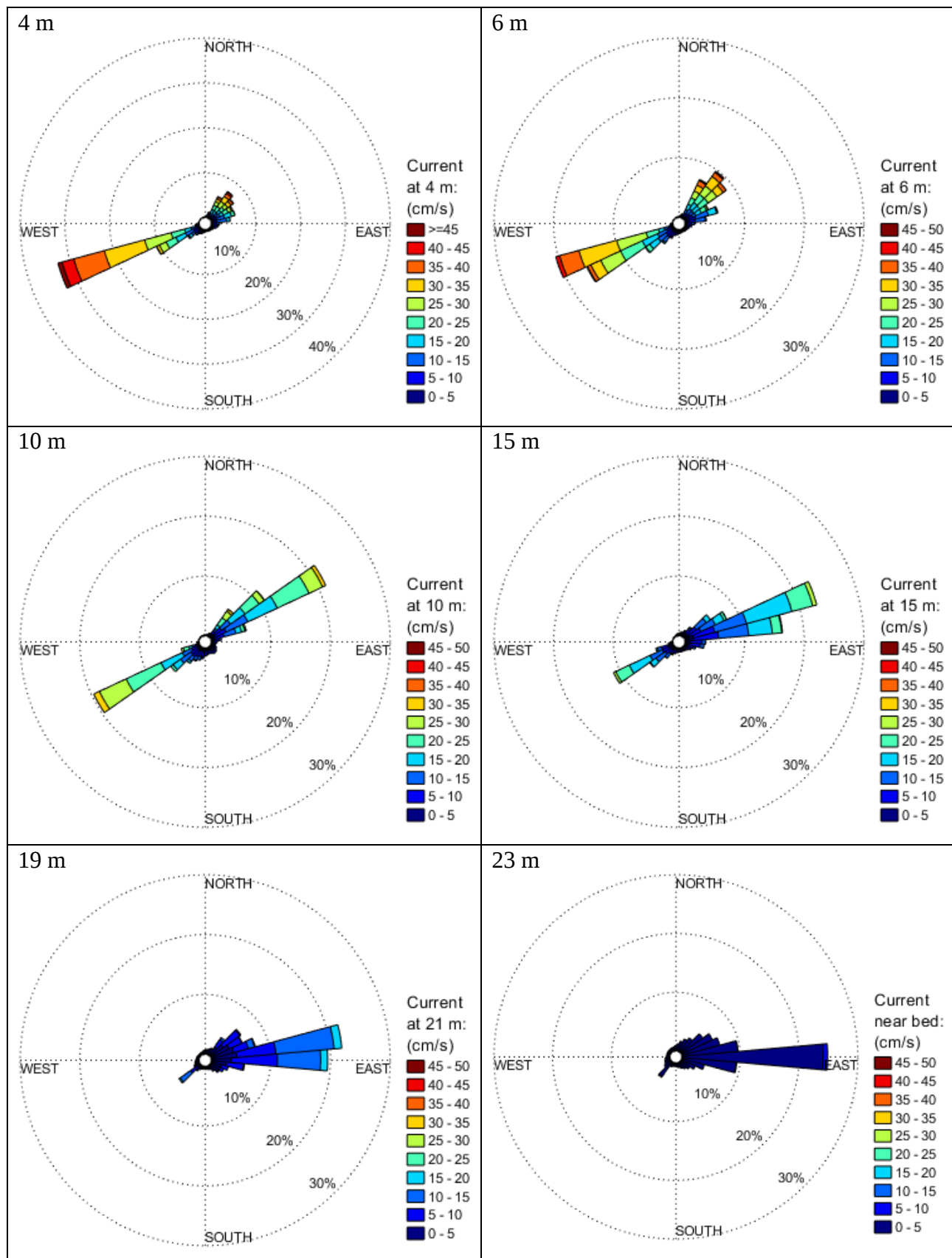
Tabell 10.1 viser modellert strømdata gjennom hele simuleringsperioden i gittercellen nærmest målepunkt for strøm sørvest for Tjuin, markert med  i Figur 2.2.

I Figur 10.4 er strømroser av den modellerte strømmen sørvest for Tjuin vist for seks ulike dyp. Figuren viser at strømmen i området veksler mellom vest-sørvest og øst-nordøst. Nærmest overflaten (4 m og 6 m) er den dominerende strømretningen vest-sørvestlig. Strømmen mot øst-nordøst er svak nærmest overflaten og blir gradvis sterkere nedover. Ved 10 m er strømmene mot vest-sørvest og øst-nordøst omtrent like sterke. Lengre nede blir strømmen øst-nordøstover dominerende. Dypest nede dreier strømretningen mot øst.

Tidsserier av strømmen for modelleringsperioden er vist i Figur 10.5. Strømmen i de øverste vannlagene varierer i styrke mellom springflo til nippflo. Denne variasjonen er framtreddende i alle vannlagene. De sterkeste strømmene nær overflaten sammenfaller med perioder med mye ferskvann i fjorden (begynnelsen av januar og slutten september).

Tabell 10.1 Strømresultater fra simuleringer utenfor Beitstadsundet () , for perioden 01.01.19 - 01.01.20

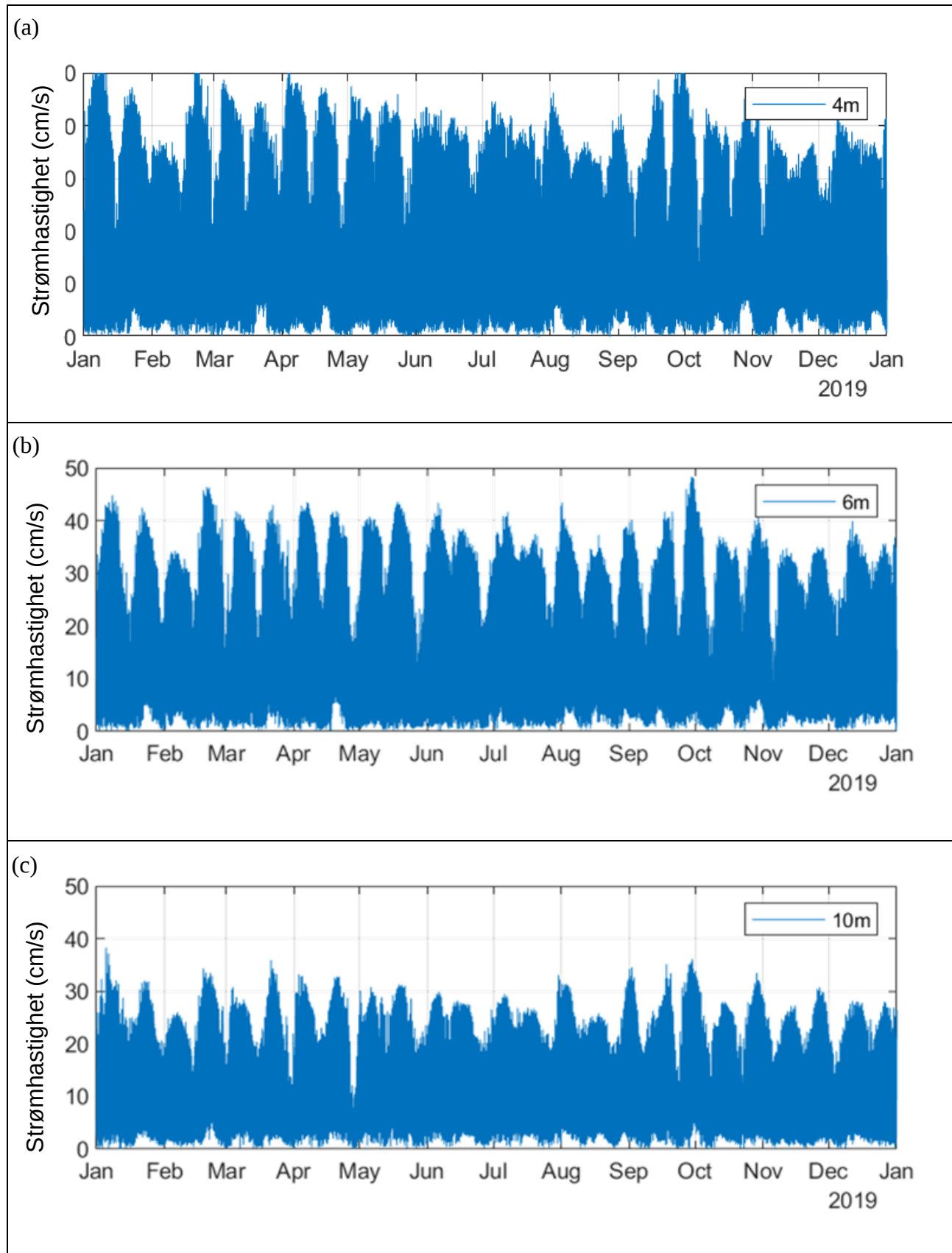
Dyp (m)	4	6	10	15	19	23
Gjennomsnitt (cm/s)	20.4	19.0	14.6	11.2	8.5	4.4
Sign. maks (cm/s)	34.5	31.8	24.4	18.5	14.3	8.4
Sign. min (cm/s)	6.8	6.4	5.0	4.3	3.2	1.4
Std.avvik (cm/s)	12.1	11.0	8.4	6.3	4.9	3.0
% < 1 cm/s	0.6	0.6	0.9	1.6	2.4	40.8
% > 30 cm/s	26.8	20.3	2.2	0.0	0.0	0.0

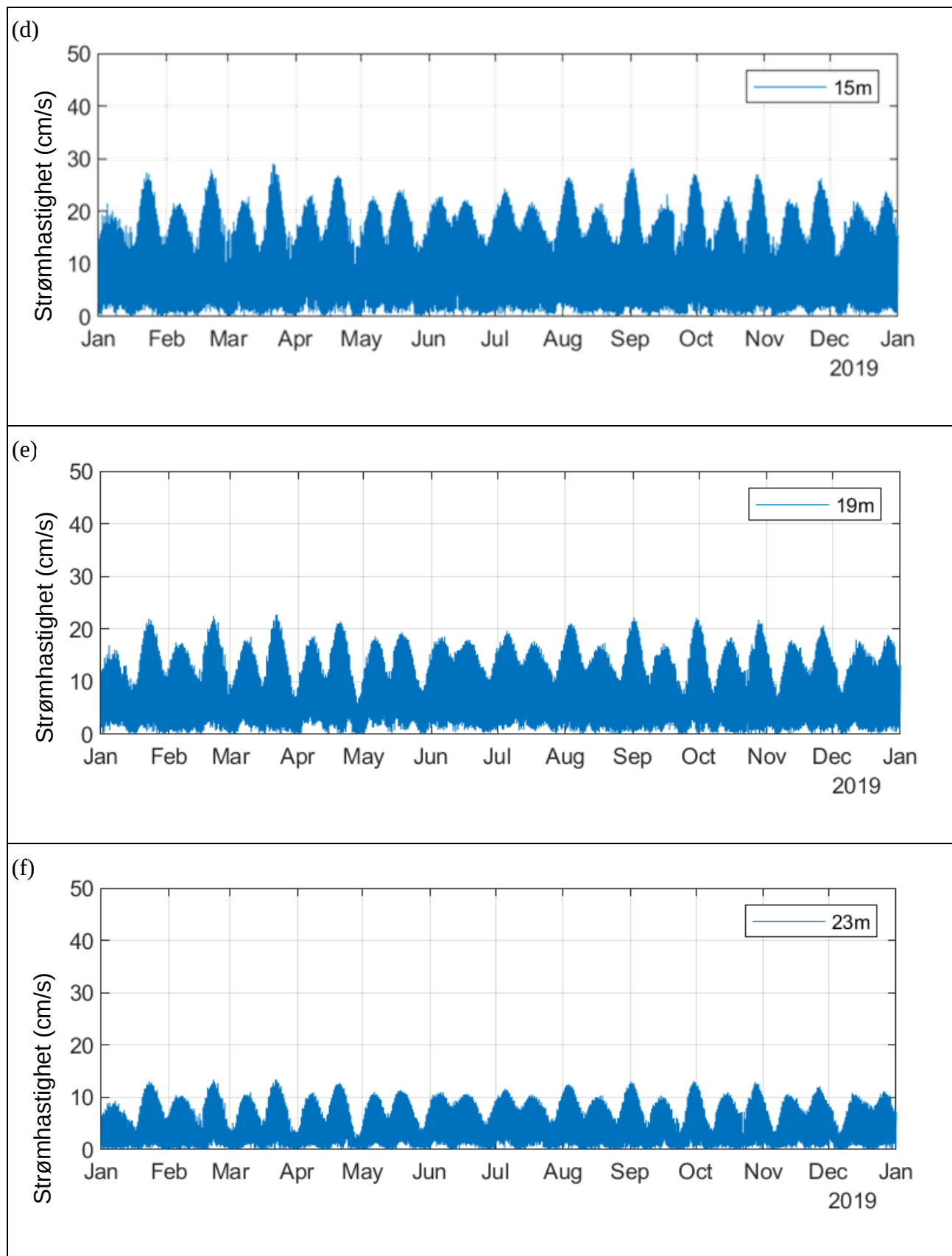


Figur 10.4 Strømroser av simulert strøm (punkt ✕)

Figur 2.2 Anleggets plassering i området. Kompasspila øverst i venstre hjørne indikerer kartets orientering. Anlegget er anvist med ✕. Det er foretatt strømmålinger i området i posisjoner anvist med ✕ og ✕. Dybde anvist med blå konturer. Kartet er hentet fra Olex. Kartdatum: WGS84.

) for perioden 01.01.19 – 01.01.20. Dyp står over hver figur, til venstre.





Figur 10.5 Tidsserier av modellert strøm på bestemte dyp, fra ✕ i Figur 2.2, gjennom hele modelleringsperioden.

10.3 Strømresultater sammenlignet med målinger

I Tabell 10.2 er simulert strøm sammenlignet med målinger fra sydligste måleposisjon, markert ✖ i

Figur 2.2 Anleggets plassering i området. Kompasspila øverst i venstre hjørne indikerer kartets orientering. Anlegget er anvist med ✖. Det er foretatt strømmålinger i området i posisjoner anvist med ✖ og ✖. Dybde anvist med blå konturer. Kartet er hentet fra Olex. Kartdatum: WGS84.

. Målingene ble tatt i løpet av perioden 26.04.2020 til 26.04.2020 (Åkerblå AS, 2020). Modellresultater viser tilsvarende periode fra foregående år (26.02.2019 - 26.04.2019).

Nær overflaten er målt strøm litt svakere enn den modellerte strømmen. Ved 6 m dyp er gjennomsnittlig strøm for målingene 7.4 cm/s, mens den modellerte strømmen ved 5 m dyp viser 11.3 cm/s. Lengre ned i vannsøylen er strømmen i modellen svakere. I målingene er det sterk strøm videre nedover i vannsøylen og ved 14 m er gjennomsnittsstrømmen 8.2 cm/s. Den simulerte strømmen er litt svakere enn målingene, med 5.8 cm/s. Det samme mønsteret reflekteres i verdiene for maksimalverdiene og minimalverdiene. Strømmene i modellen er noe svakere enn det målingene viser nederst i vannsøylen.

I Tabell 10.3 er simulert strøm sammenlignet med målinger fra nordligste posisjon, markert ✖ i Figur 2.2. Målingene ble tatt i løpet av perioden 26.04.2020 til 18.05.2020 (Åkerblå AS, 2020). Modellresultater viser tilsvarende periode fra foregående år (26.02.2019 - 18.05.2019).

I likhet med sørlig måleposisjon er målt strøm litt svakere enn den modellerte strømmen i de øverste vannlagene. Den målte strømmen er imidlertid vedvarende sterk for alle dyp, mens den simulerte strømmen er svakere i de nederste vannlagene.

Forskjellene mellom målinger og simulering er innenfor akseptabel usikkerhet ved modellering. Siden verdiene er fra ulike år så kan det ikke sammenlignes direkte, ettersom det kan ha vært lokale vær-situasjoner som har påvirket strømbildet i den aktuelle perioden. Forskjellene i strøm kan forklares dels ved varierende værforhold for disse periodene. Simuleringene beregner en representativ strøm innenfor et rutenett på 50m x 50 m. Det kan være betydelige variasjoner i strøm over korte avstander, spesielt nær bunnen. Også dypet varierer betydelig innenfor disse avstandene, noe som igjen vil påvirke strømbildet, spesielt nær bunnen.

I Figur 10.6 er strømrøser fra simuleringer sammenlignet med strømrøser fra målinger i sydligste posisjon (✖). Både målingene og simuleringene viser en variasjon langs en akse NNØ - SSV. Ved overflaten er den dominerende retningen mot sør. I målingene er det litt mer variasjon i strømretningen ved overflaten, som kan forklares med varierende værforhold. Lengre ned i vannsøylen blir det sterkere strøm mot nord. Dette er vist for 30 m dyp i simuleringene. I målingene opptrer dette nærmere bunnen (40 m). I målingene er strømmen nærmest bunnen sterkere mot nord enn i simuleringene. Strømmen sørover i de øverste vannlagene har sammenheng med ferskvannutslipp som transporteres ut fjorden i overflatesjiktet.

I Figur 10.7 er strømrøser fra simuleringer sammenlignet med strømrøser fra målinger i nordligste posisjon (✖). Både målingene og simuleringene viser variasjon langs en akse ØNØ – VSV. Ved overflaten er det dominerende strøm ut fjorden mot VSV. Målingene viser en fluktuasjon for alle dyp, mens for simuleringene er det det liten strøm ut fjorden for de dypeste vannlagene.

Årsak til avvik mellom målinger og modellresultater:

- Simuleringene har en oppløsning på 50 x 50 m og det kan være variasjoner i strømmen innenfor denne skalaen som strømodellen ikke fanger opp.

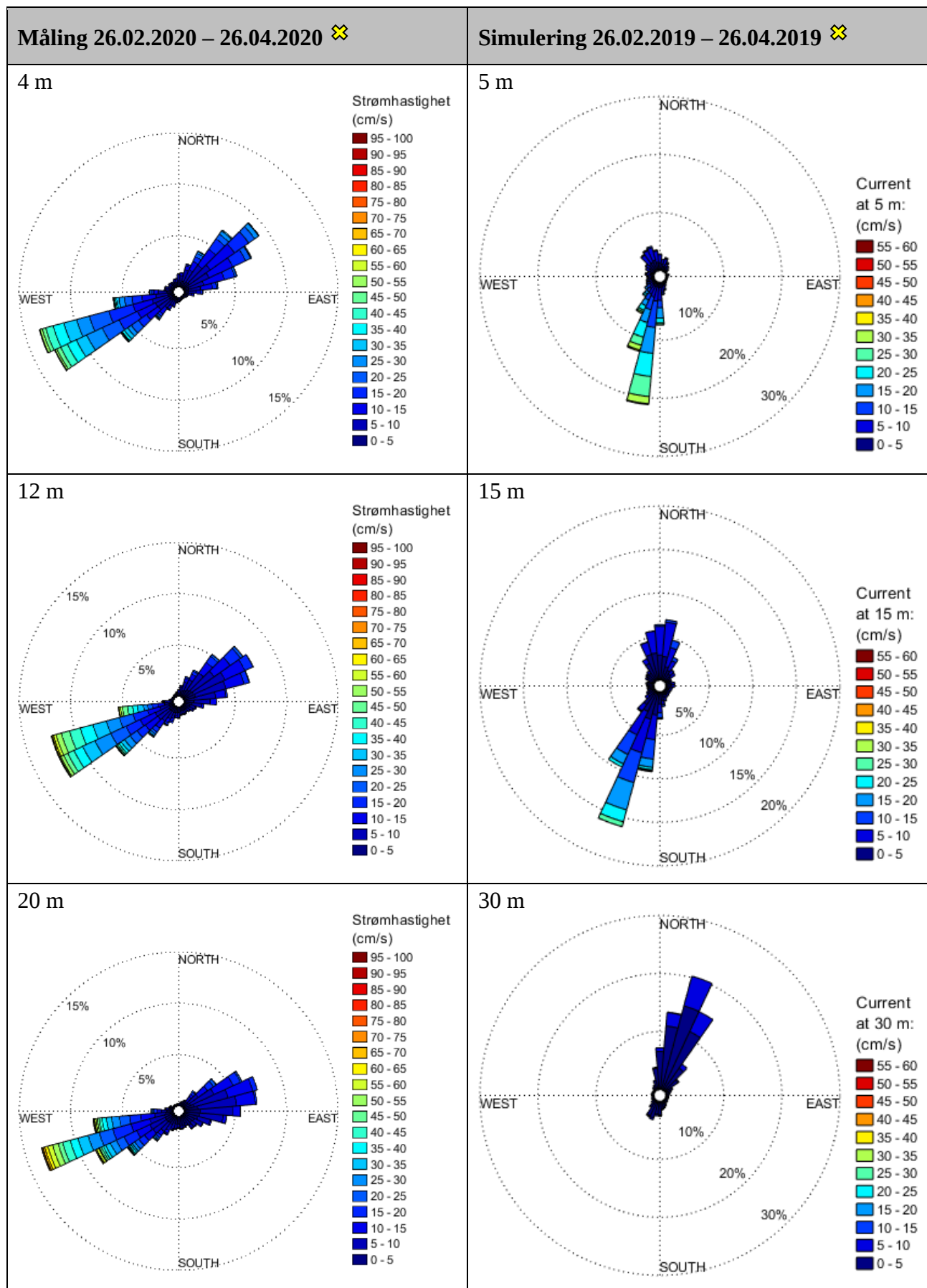
- Kompliserte bunnforhold: Størst avvik kan forventes å opptre i måleposisjoner som er nært land, hvor det er relativt komplisert batymetri. En komplisert bunntopografi vil i tillegg føre med seg variasjoner i strøm over ganske korte avstander, noe som gjør det enda viktigere å vurdere strømmen over et område og ikke bare i et punkt.
- Modellen har en vertikal oppløsning på 15 dybdevarierende lag med størst tetthet nær overflaten der den fanger opp en detaljert sjikting i vannlagene. Nær bunnen er det grovere oppløsning dette kan påvirke resultatene i områder med komplisert og varierende bunntopografi.
- Simuleringer og strømmålinger er fra forskjellige perioder, hhv 2019 og 2020. Det er forskjellig værforhold, som blant annet kan gir forskjellig tilførsel av ferskvann i fjorden.

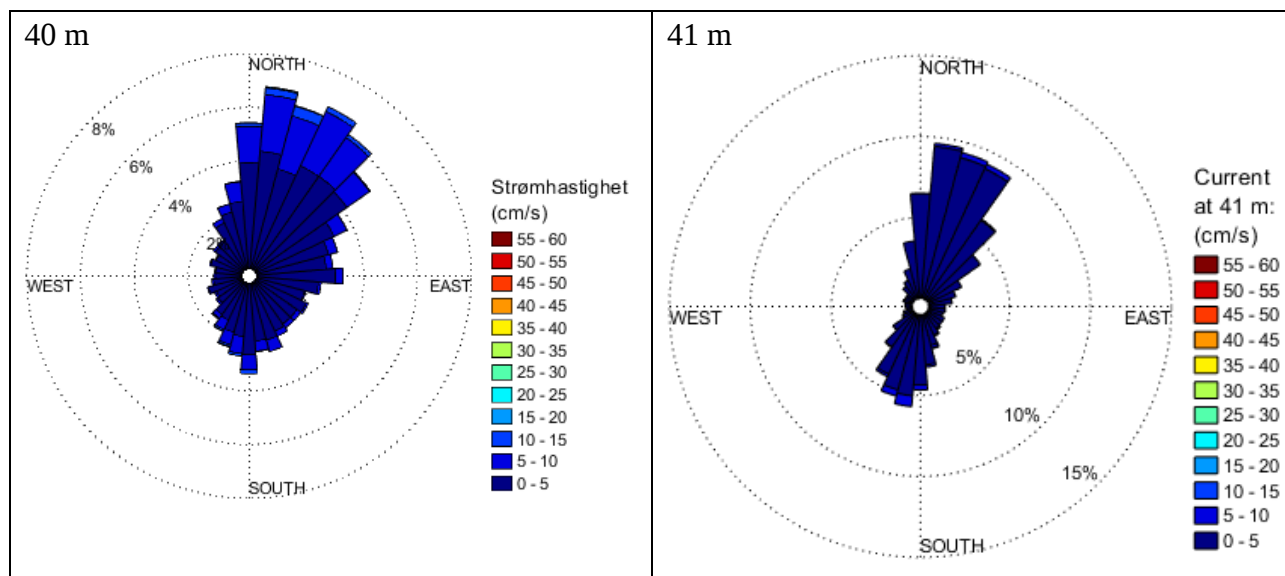
Tabell 10.2 Simulerte strømverdier fra utvalgte dyp ved målepunkt (✚ i Figur 2.2) sammenlignet med målinger.

		Gjennomsnitt (cm/s)	Sign. Max (cm/s)	Sign. Min (cm/s)	Standardavvik (cm/s)
4 m	Måling	7.4	12.9	2.9	5
5 m	Modell	11.3	21.5	3.5	8.3
14 m	Måling	8.2	15.2	3.0	6.3
15 m	Modell	6.8	12.6	2.3	5.2
30 m	Måling	5.3	10.5	1.6	5.1
	Modell	3.1	5.3	1.3	1.9
40 m	Måling	3.4	5.9	1.4	2.3
41 m	Modell	2.3	3.7	1.0	1.3

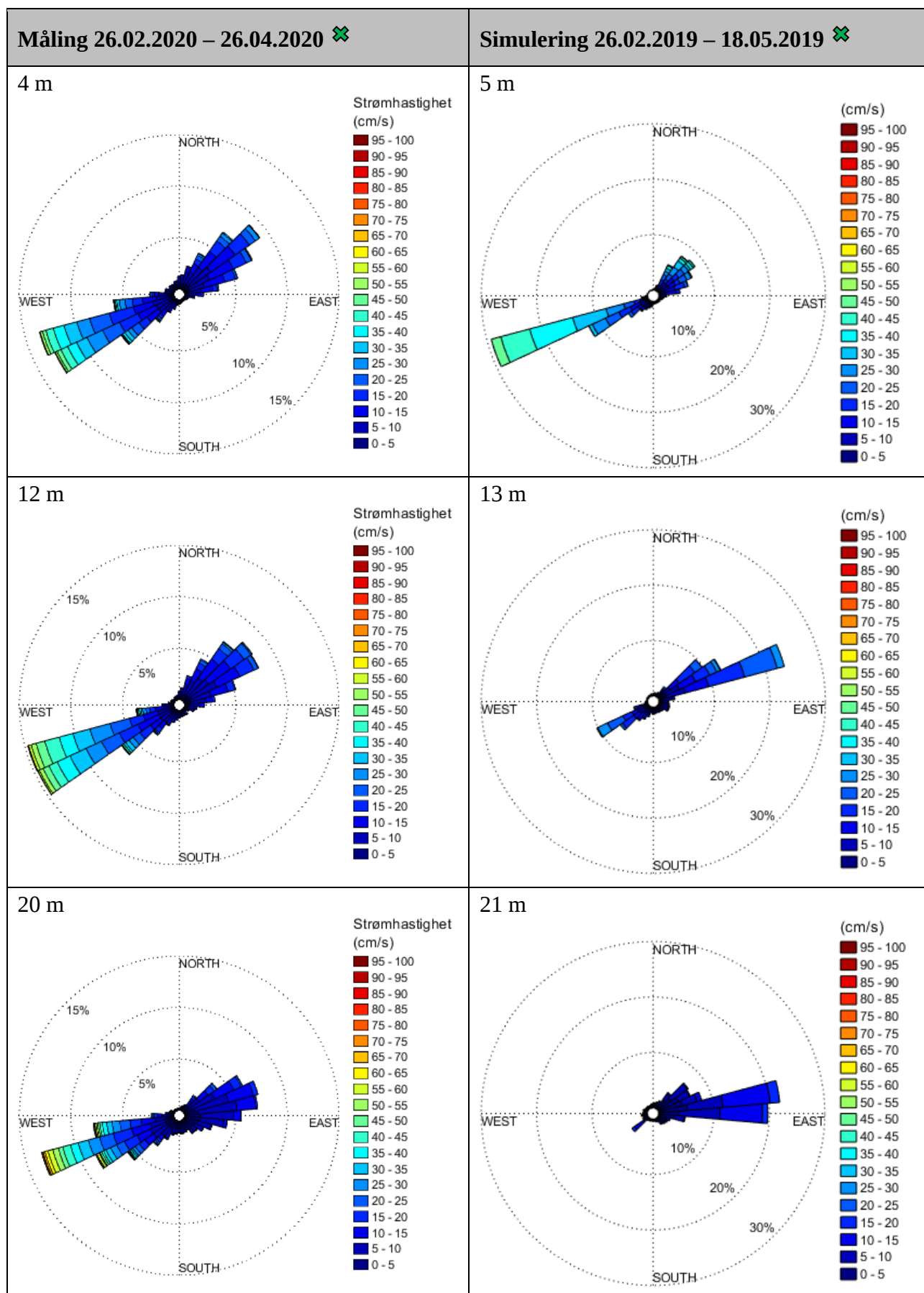
Tabell 10.3 Simulerte strømverdier fra utvalgte dyp fra målepunkt (✚ i Figur 2.2), sammenlignet med målinger.

		Gjennomsnitt (cm/s)	Sign. Max (cm/s)	Sign. Min (cm/s)	Standardavvik (cm/s)
4 m	Måling	14.3	26	5	10.3
5 m	Modell	20.6	35.9	6.6	12.8
12 m	Måling	14.5	28.9	4.3	12.6
19 m	Modell	12.0	20.7	4.0	7.4
16 m	Måling	13.2	27.2	3.6	12.7
	Modell	9.4	16.2	3.2	5.8
20 m	Måling	12.5	25.3	3.6	12.3
21 m	Modell	6.5	11.7	2.3	4.3





Figur 10.6 Strømroser av simulering fra perioden 26.02.2019 – 26.04 2019 (høyre kolonne) sammenlignet med strømroser fra målinger (venstre kolonne) fra perioden 26.02.2019 – 26.04 2019 i samme posisjon, markert med ✕ i Figur 2.2.



Figur 10.7 Strømroser av simulering fra perioden 26.02.2019 – 18.05.2019 (høyre kolonne) sammenlignet med strømroser fra målinger fra perioden 26.02.2020 – 18.05.2020 i samme posisjon, markert med ✕ i Figur 2.2.

11. Vedlegg - Usikkerhetsvurdering

Usikkerheter i resultater fra modellering kommer fra usikkerhet i inngangsdata til modellene og fra modellene selv. Modellresultatene blir sjekket opp mot målinger for verifisering og kalibrering, og vurdert hvorvidt de er egnet til videre bruk eller ikke.

11.1 Primærfortynning og innlagring

Primærfortynning og innlagring avhenger sterkt av saliniteten i resipienten. Saliniteten kan variere avhengig av ferskvannstilsig og nedbør. De to målingene som er tatt opp i området fanger opp noe av den variabiliteten og våre resultater viser at liten variasjon i innlagringsdybde og primærfortynning for de to salinitetsprofilene. Strømmen varierer som betydelig med tiden og med dybden. Det er gjort beregninger for ulike strømhastigheter for å fange opp denne variabiliteten. Strømhastigheter påvirker ikke innlagringsdypet i betydelig grad, men påvirker fortynningen noe. Høye strømverdier gir økt fortynning.

11.2 Inngangsdata for strømmodell

Usikkerhetsmomenter i inngangsdata kommer fra:

- Værdata
- Randbetingelser i havnivå, strøm, saltholdighet og temperatur
- Bunndata

Usikkerhetene er fanget opp ved å modellere strømforholdene i et stort område rundt utslippspunktet med en høyere oppløsning i nærheten av utslippspunkt. Initialverdier for både hav og atmosfære er interpolert fra et gitter med lavere oppløsning, noe som vil føre med seg usikkerhet.

11.3 Strømmodell

Det kan være variasjon innenfor rutenett som ikke er fanget opp av modellen. 3D-modellen har en oppløsning på omtrent 50 m x 50 m horisontalt i 15 dybdevarierende lag med størst variasjon ved overflaten. Havstrømmen kan være mer kompleks enn det som fanges opp i modellen. Modellen har størst oppløsning nær overflaten der den fanger opp en detaljert sjiktingen i vannlagene. Nær bunnen er det grovere oppløsning dette kan påvirke resultatene i områder med komplisert og varierende bunntopografi.

11.4 Sekundærfortynning

Beregning av sekundærfortynning er foretatt med utgangspunkt i minimal fortynning fra primærspredning. Beregningene gir i så måte et konservativt resultat. Fortynningen vil som regel være større ved innlagring og dermed også etter sekundærspredning.

12. Referanser

- 1 Albretsen, J., Sperrevik, A.K., Staalstrøm, A., Sandvik, A.D., Vikebø, F., Asplin, L. (2011). *NorKyst-800 Report No. 1 User Manual and technical descriptions*. Bergen: Fisker og Havet, Havforskningsinstituttet.
- 2 Delft3D-FLOW. (2018, 01 24). *Delft3D Open Source Community*. Hentet fra https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-FLOW_User_Manual.pdf
- 3 Deltares. (2018, 09 15). Hentet fra Deltares: <https://www.deltares.nl/en/software/delft3d-4-suite/>
- 4 Emery, R., & Thomson, W. J. (2001). *Data Analysis Methods in Physical Oceanography*. Elsevier Science.
- 5 Frick, W. E., Roberts, P., Davis, L., Keyes, J., Baumgartner, D., & George, K. (2003). *Dilution Models for Effluent Discharges 4th Edition (Visual Plumes)*. U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia.
- 6 Kartverket. (2020, mai 5). *Se havnivå*. Hentet fra Kartverket: <https://kartverket.no/sehavniva/>
- 7 Lesser, G. P., Roelvink, J. A., van Kester, J., & Stelling, G. S. (2004). Development and validation of a three-dimensional morphodynamic model. *Coastal Engineering*, 51, 833-915.
- 8 MetCoOp *Ensemble Prediction System*,. (2020, 02 20). Hentet fra: <http://thredds.met.no/thredds/metno.html>
- 9 NK800 (2020). *ROMS NorKyst800m coastal ocean fields*. (2020, 02 20). <http://thredds.met.no/thredds/fou-hi/norkyst800m.html>.
- 10 Norges vassdrags- og energidirektorat. (2020). NVE Atlas. Hentet fra <https://atlas.nve.no/>
- 11 Ranneklev, S. V., Molvær, J., & Tjomsland, T. (2013). Veileder for fastsetting av innblandingssoner. (M-46/2013), s. 28.
- 12 Åkerblå AS. (2020a). Bunnkartlegging Multistråle - Olex for Tjuin. s. 10.
- 13 Åkerblå AS. (2020). Strømrappporter for Tjuin:
Måling av strøm i vannsøyle og på bunndyp ved Tjuin Nord i februar - mai.
Åkerblå AS-rapport: SR-M-03820-TjuinN0620-ver01.pdf, 70 sider
Måling av strøm i vannsøyle og ved bunndyp ved Tjuin Sør i februar - april.
Åkerblå AS-rapport: SR-M-03920-TjuinS0620-ver01.pdf, 88 sider