Modellering av AZE
(Allowable Zone of Effect)

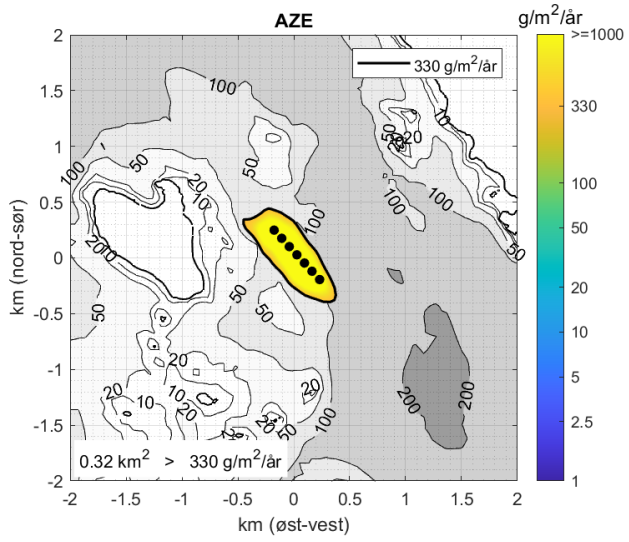
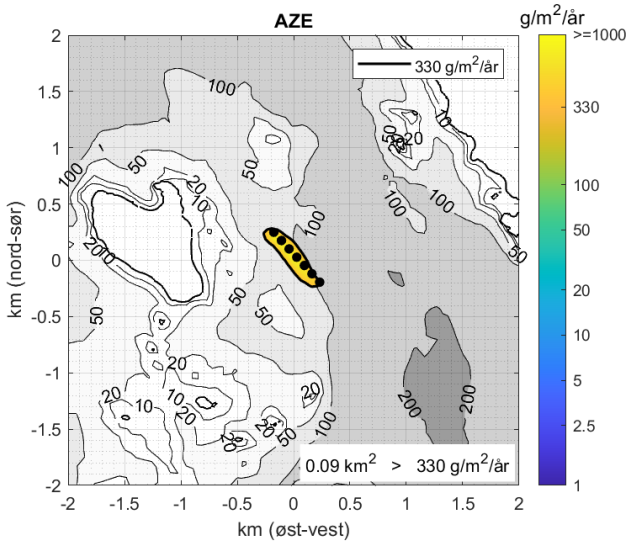
Kunde: Sterling White Halibut AS
Lokalitet: Heng Øst

ÅKERBLÅ
A DNV COMPANY

Rapport			
Rapportbeskrivelse og navn	Modellbasert bestemmelse av AZE for Heng Øst. SM-SWH-HengØst-110216816-6001-001.pdf		
Rapportversjon	Dato	Beskrivelse	
001	19.09.25	Første utgivelse	
Rapportdistribusjon	Innhold fra denne rapporten kan brukes så lenge rapporten oppgis som kilde, og at alt benyttet materiale blir kreditert Åkerblå AS.		
Lokalitet			
Lokalitetsnavn	Heng Øst	Lokalitetsnummer	Ny
Kommune	Strand	Fylke	Rogaland

Oppdragsgiver		
Kunde	Sterling White Halibut AS; Hundsnesvegen 205, 4130 HJELMELAND, NORGE	
Kontaktperson	Gøran Varmbo	goran@evox.no
Oppdragsansvarlig		
Selskap	Åkerblå AS; Nordfrøyveien 413, 7260 SISTRANDA, NORGE Organisasjon nr. 916 763 816	
Rapportansvarlig	Aleksander Libæk	Aleksander.Libaek@dnv.com
Kontrollert av	Jie Liu	Jie.Liu3@dnv.com

Sammendrag

Partikulært utslipp	
Uten nedbrytning	**Med nedbrytning**
	

AZE	Uten nedbrytning	Med nedbrytning
Areal	0.32 km^2	0.09 km^2
Hoved spredningsretning	NV – SØ	NV – SØ
Lengde	1020 m (NV – SØ)	650 m (NV – SØ)
Bredde	380 m (NØ – SV)	180 m (NØ – SV)

Innholdsfortegnelse

Sammendrag **3**

1. Innledning **5**

2. Områdebeskrivelse **6**

3. Metode **8**

3.1 Strøm- og spredningsmodellering med Delft3D-FLOW 8

3.1.1 Bunndata og modellstørrelse 8

3.1.2 Inngangsdata for strømmodellering 10

3.1.3 Inngangsdata for spredningsmodellering 10

3.1.4 Biologisk nedbryting i D-WAQ 12

4. Resultat – partikulært utslipp fra Heng Øst **13**

4.1 AZE – Allowable Zone of Effect 13

4.2 Akkumulert utslipp 15

4.2.1 Tidsutvikling akkumulert utslipp 15

4.2.2 Totalt akkumulert utslipp 16

5. Oppsummering **17**

6. Vedlegg - Månedlig sedimentering **18**

7. Vedlegg – Resultater fra strømmodellering **24**

7.1 Strømresultater 24

7.2 Simulert strøm i området rundt Heng Øst 27

7.3 Modellert strøm sammenlignet med målinger 28

8. Vedlegg - Havnivå **31**

9. Vedlegg - Ferskvannstilsig **32**

10. Vedlegg - Usikkerhetsvurdering **33**

10.1 Inngangsdata for strømmodell 33

10.2 Strømmodell 33

11. Referanser **34**

1. Innledning

Åkerblå AS har på oppdrag fra Sterling White Halibut AS utført modellering for å bestemme Allowable Zone of Effect (AZE) ved oppdrettslokalitet Heng Øst.

Formålet med rapporten er å beskrive utbredelse av området som er påvirket av utslipp fra oppdrettsanlegget. En produksjonsperiode på 35 måneder, i tillegg til 2 måneder brakklegging, er modellert fra 01.12.2021 til og med 31.12.2024. På grunnlag av dette er utbredelsen av AZE bestemt ved akkumulering i løpet av ett år.

Aquaculture Stewardship Council (ASC) Salmon Standard (2019) stiller krav til undersøkelse av bentisk fauna, reduksjonspotensiale (E_h) og kobbernivå (Cu) i sedimentene ved oppdrettslokaliteter. Standarden krever at tillatt sone for påvirkning (AZE) modelleres og at stasjoner for bunnundersøkelse plasseres i henhold til denne. Resultatene fra undersøkelse av fauna, E_h og Cu vurderes ut fra stasjonenes plassering i forhold til AZE. I ASC-standarden er AZE definert som området hvor bidraget fra organisk materiale fra oppdrettsanlegget til sedimentlaget er 330 g/m^2/år eller større, noe som tilsvarer Infaunal Trophic Index (ITI) = 25. Resultatene fra modelleringen for lokaliteten er presentert med både denne grenseverdien, og nivåer av avfallssedimentering som er lavere og høyere. Dette for å få en full beskrivelse av miljøpåvirkningen både innenfor AZE og i overgangssonen rundt.

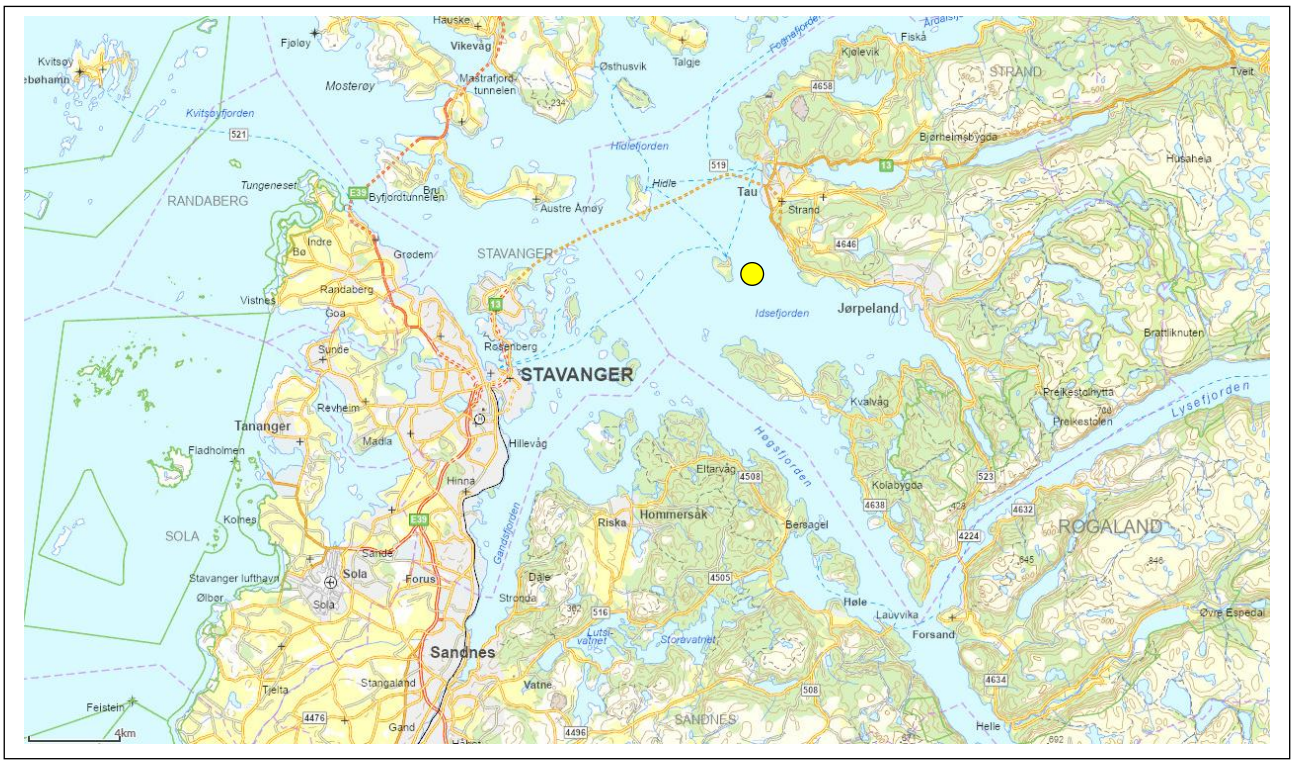
Når man vurderer bentiske effekter, anbefales det å ta prøver under burene og i avstand fra burene, både innenfor og utenfor AZE. AZE er vanskelig å identifisere som et konstant areal, noe som gjør det svært nyttig med en lokalitetsspesifikk modellering av utslippet og sedimenteringen under anlegget. Analysen for å bestemme områdespesifikk AZE og deponeringsmønstre vil bidra til at prøvetaking finner sted i de områdene som er mest hensiktsmessige for å beskytte bentisk helse rundt oppdrettsanleggene. De mulige negative påvirkningene på bentisk biodiversitet er i ASC-standarden adressert ved å inkludere en analyse på flere overvåkingsstasjoner, inkludert et referansepunkt, ved hjelp av en bunndyrsindeks (oversatt fra ASC, (2019)).

I denne rapporten presenteres to ulike resultat for beregningen av AZE; et konservativt estimat uten biologisk nedbrytning av organisk materiale, og et estimat der utslippsmaterialet gjennomgår en kontinuerlig nedbrytning.

Modelleringens kvalitet er avhengig av kvaliteten på tilgjengelige inngangsdata og modellens begrensninger. Resultatene bør derfor vurderes ut fra lokal kunnskap og erfaring.

2. Områdebeskrivelse

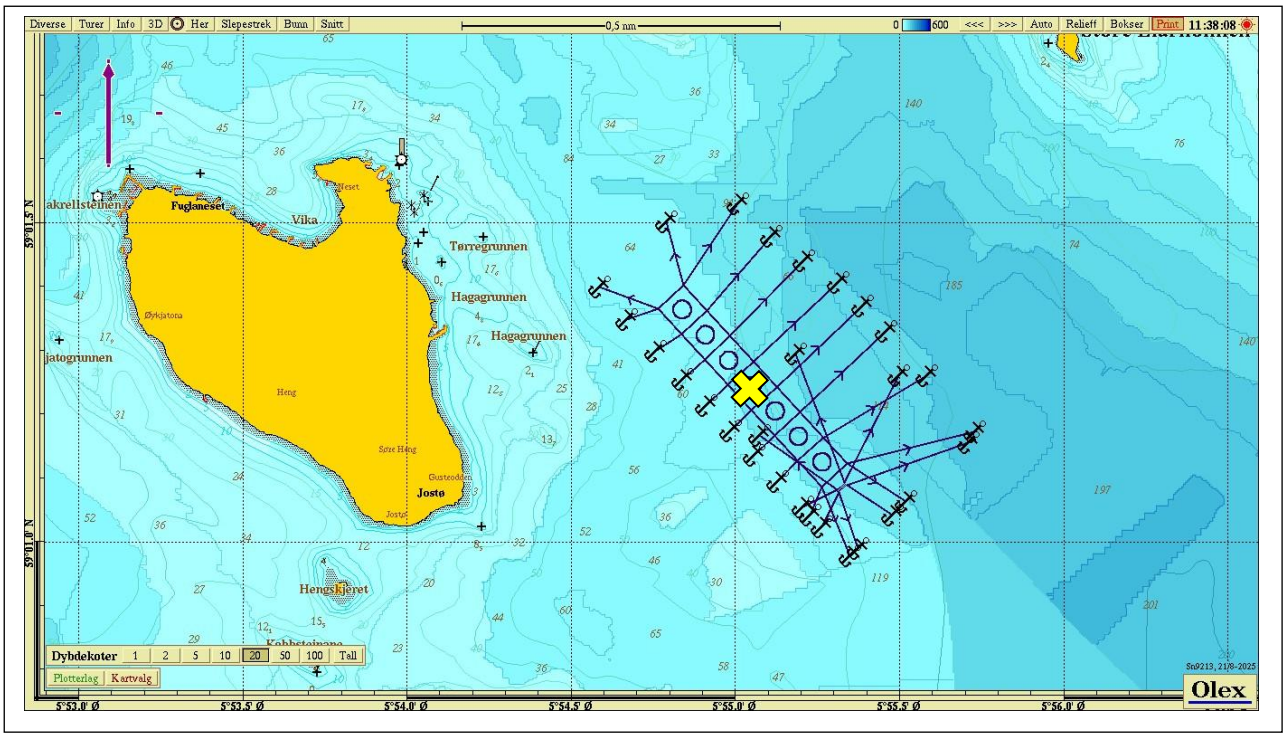
Lokaliteten Heng Øst ligger i Strand kommune, Rogaland fylke. Heng Øst ligger på østsiden av øya Heng i den nordvestlige utgangen av Idsefjorden (gul sirkel i Figur 2.1). I retning sør for anlegget ligger øye Idse, og i retning V/NV/N grenser Idsefjorden til Høgsfjorden, Hidlefjorden og Fognafjorden.



Figur 2.1: Oversiktskart over området rundt Heng Øst (markert med gul sirkel). Kartet er hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. Kartdatum: WGS84.

Figur 2.2 viser anleggets plassering og bunntopografien i området. Anlegget er orientert i retning NV – SØ i retning med bunntopografien. Anleggsrammen ligger over en bunn som skråner nedover mot NØ med dybder på mellom ca. 60 til 120 m under anleggsrammen.

Ved Heng Øst er det tidligere gjort strømmålinger av Kvitsøy Sjøtjeneseter (2025a, 2025b, 2025c) og Kvitsøy Sjøtjeneseter (2025d, 2025e). Det var målt strøm på 5 m, 10 m, 15 m, spredningsdyp (64 m) og bunndyp (90 m) i området av anlegget (gult kryss i Figur 2.2).



Figur 2.2: Oversiktskart over anlegget til Heng Øst og omkringliggende bunntopografi. Posisjon for strømmålinger er vist med gult kryss, se strømrapport fra Kvitsøy Sjøtjeneseter (2025a, 2025b, 2025c) og Kvitsøy Sjøtjeneseter (2025d, 2025e). Kartet er hentet fra Olex. Kartdatum: WGS84.

3. Metode

Spredningen av avfall fra et oppdrettsanlegg er avhengig av strømmønsteret og bunntopografien i området under og rundt lokaliteten. For å bestemme transporten og sedimenteringen av utslippet er det først laget en strøm- og spredningsmodell for lokaliteten ved hjelp av programvaren Delft3D-FLOW (Deltares 2018). Delft3D-FLOW er en tredimensjonal, hydrodynamisk modell som gir strømfelt over et stort område og i flere dybdenivå. I modellen løses Navier-Stokes-ligningene basert på Boussinesq-tilnærmelsen (Lesser, et al. 2004), sammen med ligninger som beskriver temperatur og saltholdighet. Sedimenteringen modelleres med den tilhørende D-Water Quality (D-WAQ) modulen. I denne modulen løses ligninger for reaksjon, diffusjon og adveksjon av sedimentene for alle tidssteg i hele domenet. Denne ligningen beregner sedimentering av organisk materiale fra anlegget basert på horisontale og vertikale hastigheter, i tillegg til å inkludere en gradvis nedbrytning av det biologiske materialet både på bunnen og mens det fremdeles er suspendert i vannmassene.

Den totale mengden biologisk avfall fra anlegget beregnes ut fra fôringsdata gitt av kunde. På denne måten kan man se sedimentering i sammenheng med strømmønster og fôrforbruk på bestemte tidspunkt gjennom produksjonssyklusen, og man kan se den totale påvirkningen etter at produksjonen er ferdig. Det at modellen omfavner et stort område og kan kjøres for lange tidsperioder, gjør at man får med variasjoner og unike forhold ved hver enkelt lokalitet.

I ASC-standarden er det et krav at AZE blir definert basert på et lokalitetsspesifikt og robust modellsystem. Delft3D-FLOW, i dette tilfellet i kombinasjon med D-Water Quality modulen, er et avansert modellsystem som beskriver lokal variasjon i strømfeltet i tre dimensjoner samt inkluderer den gradvise nedbrytningen av det biologiske utslippsmaterialet. Denne variasjonen, sammen med fôrforbruket, har svært mye å si for utbredelsen av AZE. Dersom det er strømmålinger i området brukes disse til å verifisere modellen. I tillegg brukes målinger av vannstand til å kalibrere modellen, og resultatene kvalitetssikres ved at de sjekkes opp mot randbetingelser. Resultatene fra både strøm- og spredningsmodelleringen kan brukes videre for optimalisering av lokaliteten.

3.1 Strøm- og spredningsmodellering med Delft3D-FLOW

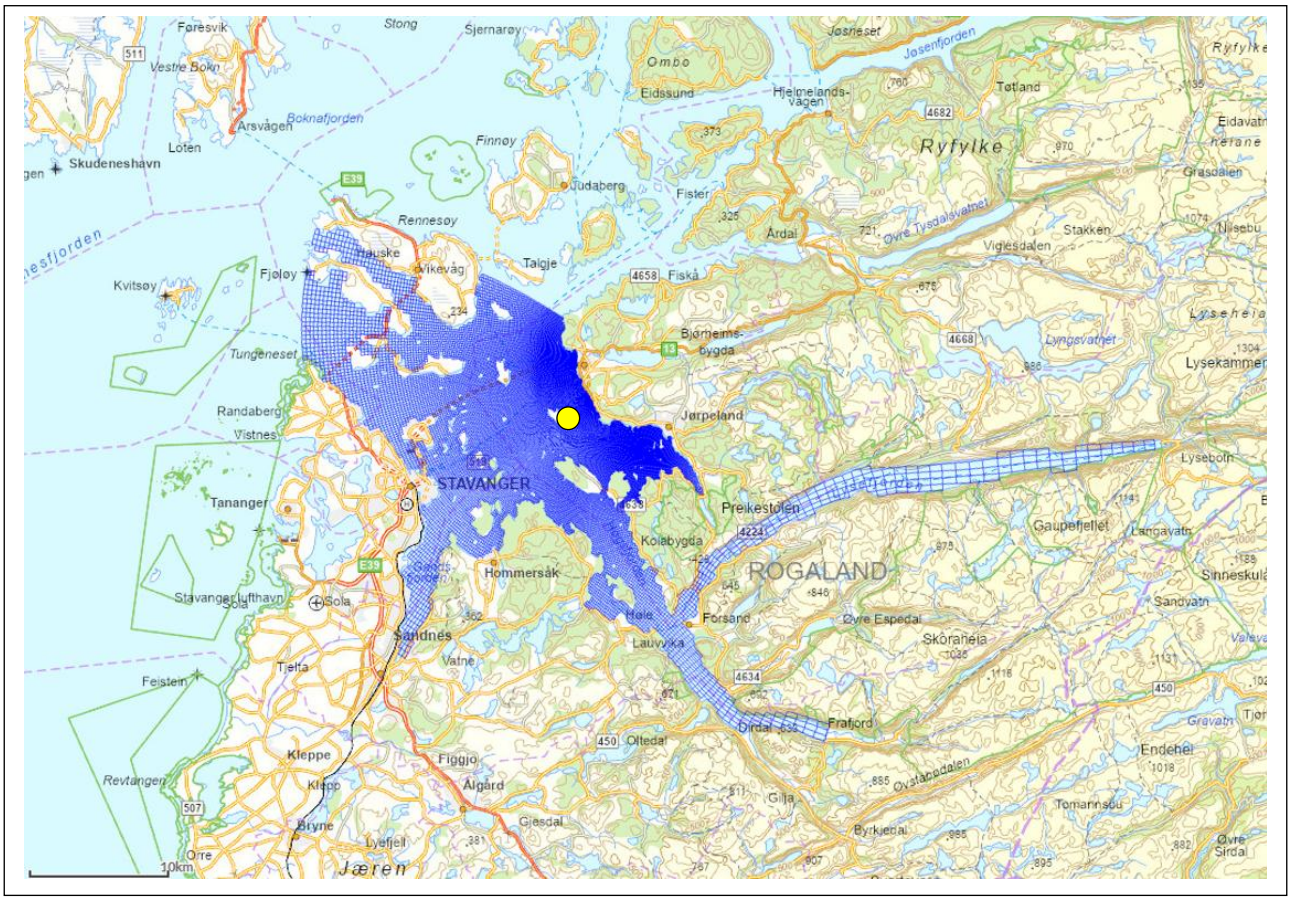
Delft3D-FLOW benytter inngangsdata fra atmosfæren, havet og ferskvannstilsig til å beregne strømmen i tre dimensjoner (Delft3D-FLOW 2018). Den vertikale bevegelsen antas å være liten i forhold til den horisontale slik at vertikal akselerasjon kan neglisjeres. Bevegelsen styres av trykkgradienter beregnet fra variasjon i havnivå, temperatur og saltholdighet. Effektene fra jordrotasjon er inkludert ved hjelp av Corioliskraften. Turbulensen i strømmen er i modellen tatt hensyn til ved bruk av en såkalt k-epsilonmodell. Tidssteget i modellen er satt til 1 minutt, og turbulensparameterne er tilpasset området for å få en realistisk beskrivelse av strømmen.

3.1.1 Bunndata og modellstørrelse

Den tredimensjonale strømmodellen er laget for området rundt lokaliteten og strekker seg omkring 43 km mot Ø, 30 km mot SØ, 21 km mot S/SV, 20 km mot V og 12 km mot N. Modellen har et horisontalt rutenett med oppløsning på 40 m × 40 m rundt lokaliteten og avtagende oppløsning utover til maksimalt 200 m × 150 m ved randsonene i N, og 330 x 300 m ved randsonene i V. Den høye oppløsningen ved lokaliteten er nødvendig, ettersom anlegget ligger nært land med flere øyer og skjær i nærheten, noe som gir en kompleks bunntopografi i området. Gitternettet er vist i Figur 3.1 hvor lokaliteten er markert med en gul sirkel.

For å beskrive variasjon i dybden er det valgt en sigmamodell med 15 dybdelag. Dybdelagene følger terrenget og varierer i tykkelse proporsjonalt med dypet (Tabell 3.1). Bunndata brukt i modellen er hentet fra Kartverket, og tilpasset oppløsningen i modellen ved hjelp av interpolasjon. I

grenseområdet er bunntopografien tilpasset dybdenivået i modellen NorKyst800, for å få en god overgang til grensebetingelsene i randsonene.



Figur 3.1: Gitternett benyttet for å modellere spredning fra Heng Øst. 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 100 m.

Vannlag	Tykkelse (%)	Tykkelse ved 100 m dyp (m)	Dybde (m)
1	2	2	0 - 2
2	3	3	2 - 5
3	4	4	5 - 9
4	5	5	9 - 14
5	6	6	14 - 20
6	8	8	20 - 28
7	8	8	28 - 36
8	8	8	36 - 44
9	8	8	44 - 52
10	8	8	52 - 60
11	8	8	60 - 68
12	8	8	68 - 76
13	8	8	76 - 84
14	8	8	84 - 92
15	8	8	92 - 100

3.1.2 Inngangsdata for strømmodellering

Den hydrodynamiske modellen er drevet av randbetingelser, det vil si tidevann, vind og varmeutveksling med atmosfæren, samt ferskvannstilførsel. Inngangsdata for havet hentes fra havmodellen NorKyst800 (Meteorologisk Institutt 2020, Albretsen, et al. 2011). Dette er timesdata med oppløsning på 800 × 800 m, som omfatter havnivå, strømhastighet, temperatur og saltholdighet. Dataene interpoleres for å tilpasses gitternettet med høyere oppløsning i Delft3D-FLOW.

Atmosfæriske data er hentet fra Meteorologisk institutt, MEPS (Met.no 2025). Dette er data for vind, temperatur, lufttrykk, luftfuktighet og skydekke, og er gitt med intervall på 3 timer og med oppløsning på 2.5 × 2.5 km. Også disse dataene interpoleres for å tilpasses gitternettet i strømmodellen.
Informasjon om ferskvannstilsig fra elvene i området er hentet fra Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE Atlas 2025) med daglig vannføring i hver elv (metode utarbeidet av Jon Albretsen ved Havforskningsinstituttet). Vannet blir sluppet ut i en gittercelle i modellen, og er med på å styre lagdelingen i vannsøylen. Oversikt over bidrag fra elver som er inkludert i modellen er vist i Vedlegg 9.

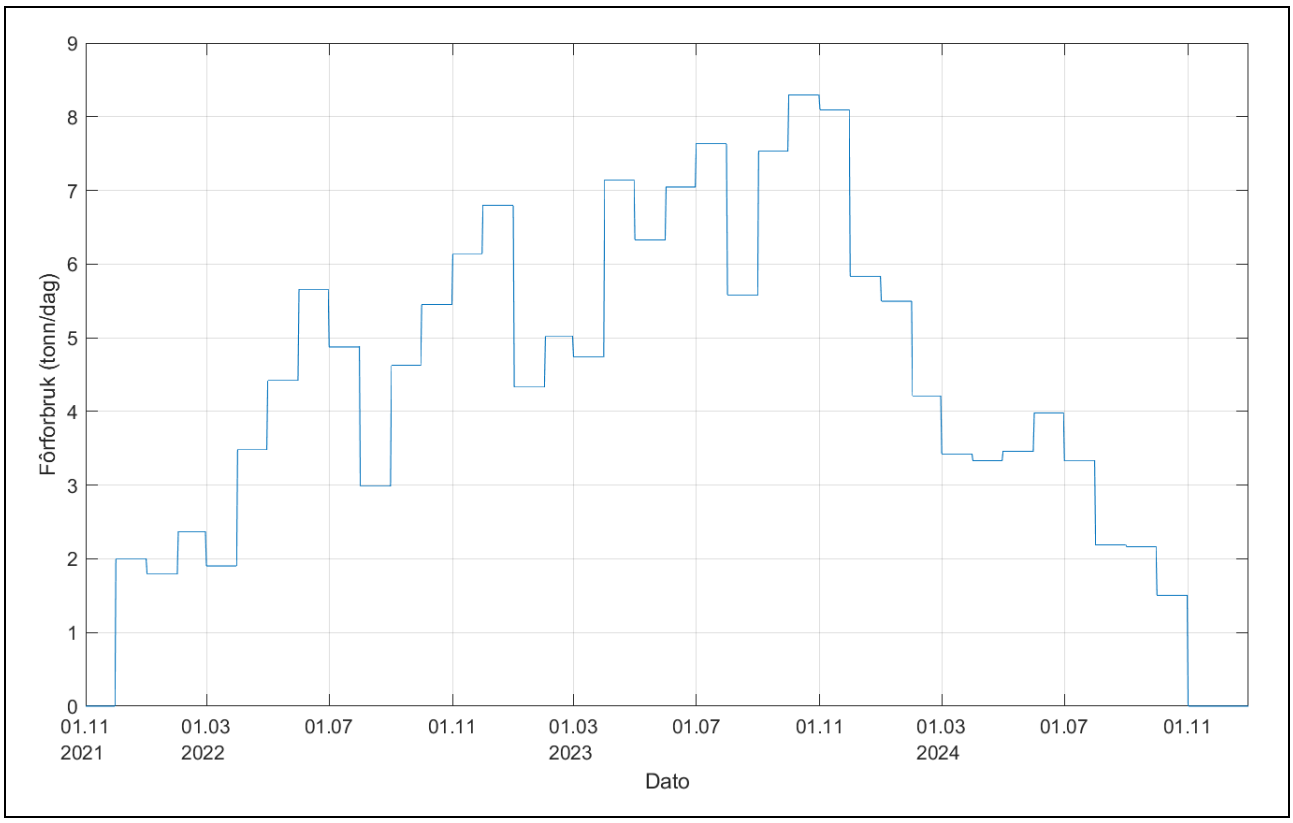
For å unngå ustabilitet i starten av modellkjøringen er modellen først kjørt med en oppstartsperiode på en måned (november 2021). Resultatene fra denne kjøringen er deretter brukt som inngangsverdi for den endelige modellkjøringen. Etter oppstartsperioden er strømmodellen kjørt for desember 2021 til og med desember 2024.

3.1.3 Inngangsdata for spredningsmodellering

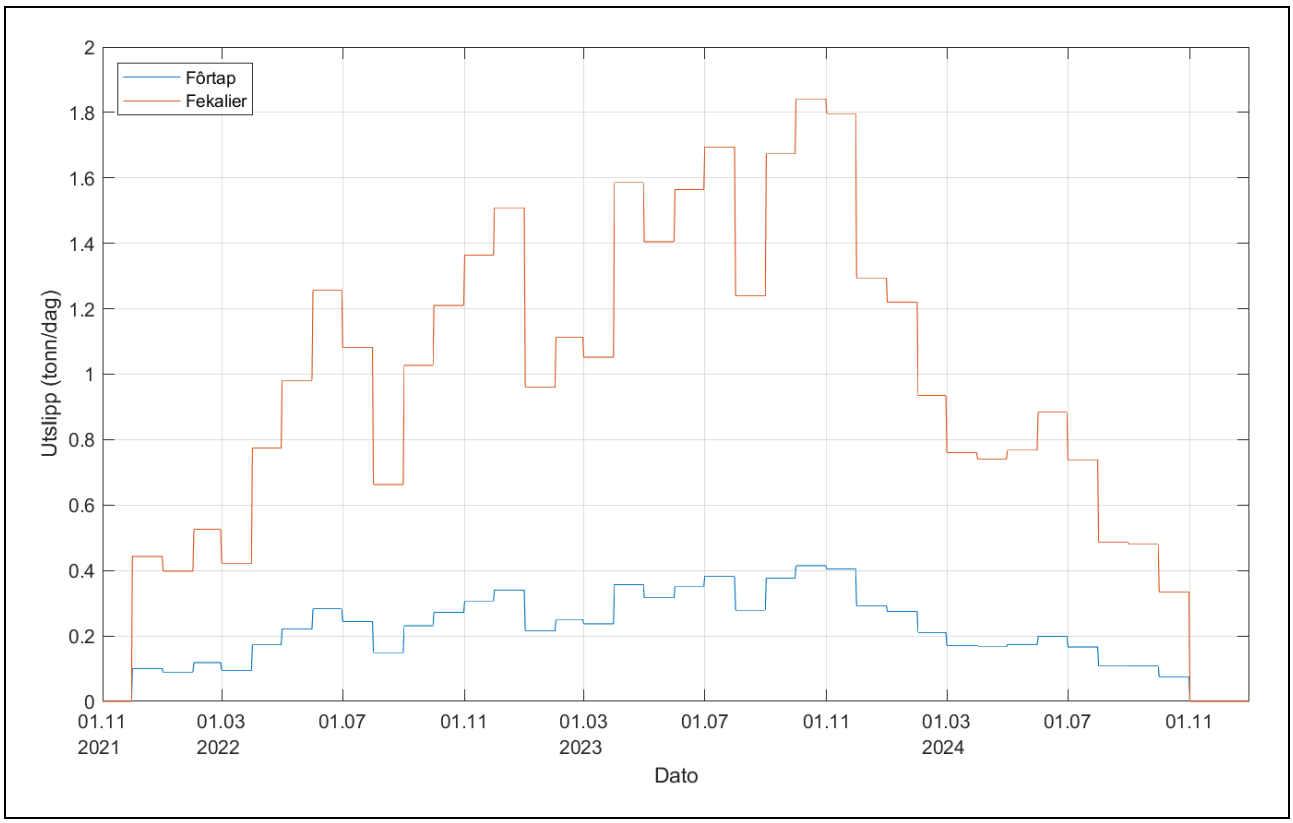
Det modellerte utslippet er basert på ukentlig fôringsprognoser fra Sterling White Halibut AS, fra et utsett på 7 merder som startet i desember 2021. En produksjonsperiode på 35 måneder med 2 måneder brakklegging er modellert. Fôringen er simulert fra 01.12.2021 til 1.11.2024. Figur 3.2 viser det totale daglige fôrforbruket ved lokaliteten. Dette er benyttet som grunnlag for å bestemme utslippet ved lokaliteten. Siden dypet under merdene varierer, er utslippsdypet satt til det vannlaget i modellen som representerer dypet på 20 m best (Tabell 3.1). Spredningen av utslipp er modellert gjennom hele produksjonssyklusen, i tillegg til en brakkleggingsperiode uten utslipp etter produksjonsstopp.

For hvert tonn fôr som tilføres anlegget slippes det ut 0.272 tonn partikulært organisk materiale. Dette inkluderer et fôrtap på 5 % (Cromey, et al. 2002, Bannister, et al. 2016). Utslipp i tonn pr dag i form av fôrspill og fekalier er vist i Figur 3.3.

Utslippsmaterialet er klassifisert med forskjellige fallhastigheter for fekalier definert av Bannister m. fl., (2016). Dette er vist i Tabell 3.2. Fekaliene er her klassifisert ved tre forskjellige fallhastigheter hvor den siste kategorien, som utgjør 12% med lavest fallhastighet, svarer til et vektet gjennomsnitt av de 4 intervallene med de laveste hastighetene (Bannister, et al. 2016). For fôrutslippet benyttes en fallhastighet fra Cromey et al., (2002).



Figur 3.2: Daglig fôrforbruk benyttet for spredningsmodellering ved lokaliteten.



Figur 3.3: Utslipp benyttet for spredningsmodellering ved lokaliteten.

Tabell 3.2: Klassifisering av utslippsmateriale ved fallhastigheter.

Fraksjon	Fallhastighet (cm/s)
78% av fekalier	7.50
10% av fekalier	3.75
12% av fekalier	0.80
100% av fôrspill	10.0

3.1.4 Biologisk nedbryting i D-WAQ

I det utslippsmaterialet slippes ut i modellen starter den biologiske nedbrytingen. Det vil si at det biologiske materialet blir brutt ned mens de fremdeles er i vannsøylen og etter at de har sedimentert på bunnen. Hvor raskt det biologiske materialet faktisk brytes ned i naturen avhenger blant annet av hva det er laget av, temperatur, hvilke organismer som er tilgjengelige og mengden oksygen. I modellen styres denne prosessen av koeffisienter som bestemmer hastigheten på nedbrytningen. Utslippet fra lokaliteten blir regnet som lett nedbrytbart og modelleres eksponentielt. Ved å benytte en slik funksjon vil nedbrytingen gradvis gå saktere når materialet blir eldre. I modellen er det alltid nok tilgjengelig oksygen til nedbrytning.

4. Resultat – partikulært utslipp fra Heng Øst

Spredningen av utslipp fra lokaliteten er modellert for en hel produksjonsperiode. I løpet av perioden akkumuleres utslippet på bunnen under anlegget og avsetningen over grenseverdien for AZE (330 g/m^2/år) øker med tiden. Resultatene i dette kapittelet viser utviklingen i både tid og rom for akkumulering av utslipp ved lokaliteten, med fokus på AZE (> 330 g/m^2/år, ASC (2019)). Resultatene blir vist for modellering både med og uten biologisk nedbrytning.

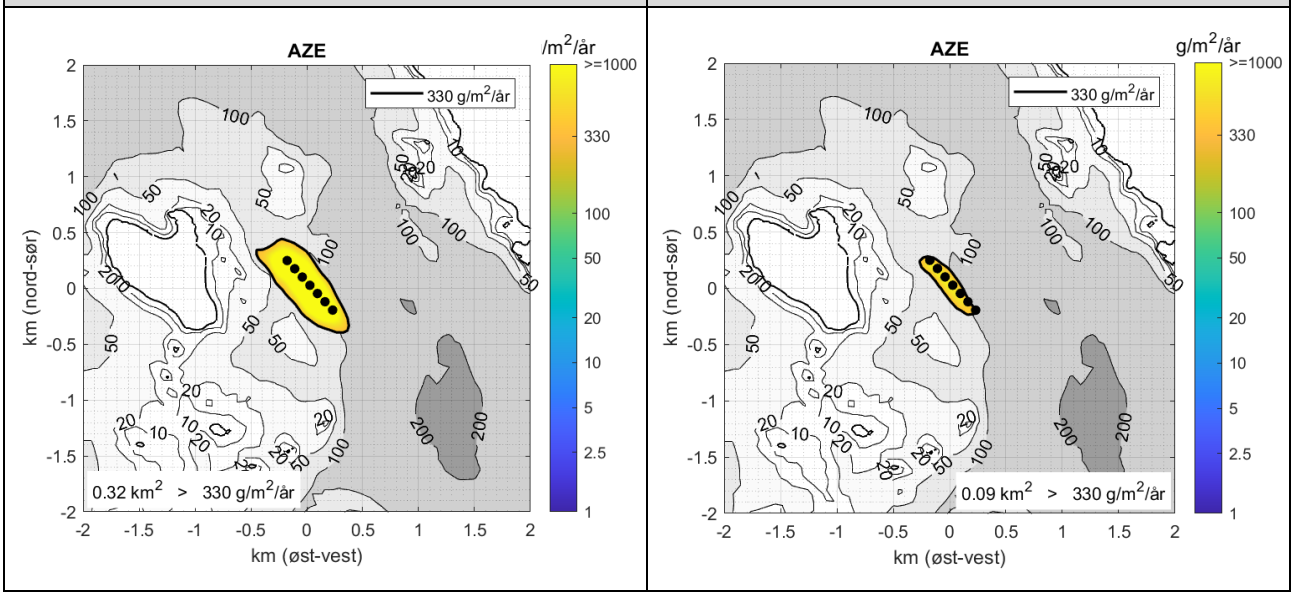
4.1 AZE – Allowable Zone of Effect

Utbredelsen av AZE for modellering uten (venstre) og med (høyre) biologisk nedbrytning er vist i Figur 4.1. I simuleringen uten biologisk nedbrytning er AZE 1020 m lang (NV – SØ) og omkring 380 m bred (NØ – SV). Dette resulterer i en utbredelse av AZE på 0.32 km^2.

Når biologisk nedbrytning av utslippsmaterialet inkluderes reduseres utstrekningen til ca. 650 m i retning langs anlegget (NV – SØ), og 180 m bred på tvers av anlegget (NØ – SV). I dette tilfellet er størrelsen på AZE 0.09 km^2.

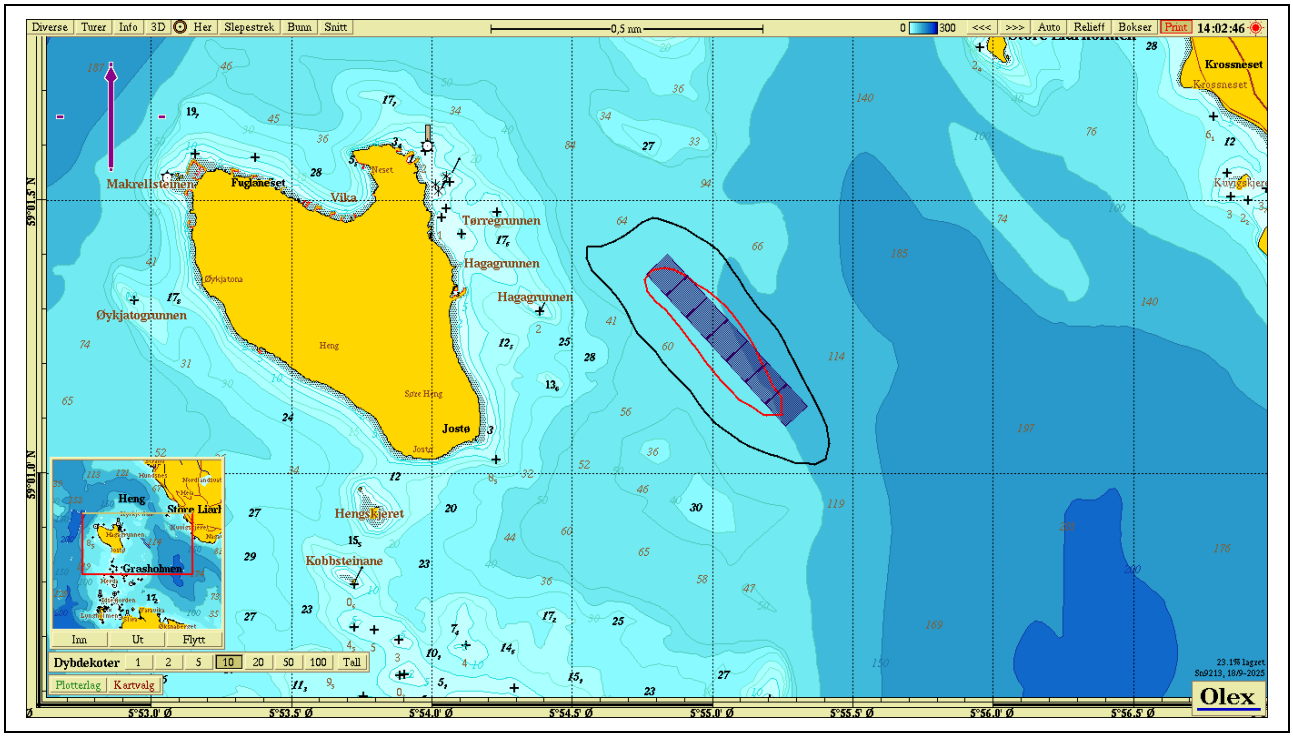
Utstrekningen av påvirkningsområdet samsvarer med strømforholdene ved lokaliteten (se Vedlegg 7), med strøm hovedsakelig i retning mot NV og SØ. Spredningsmodellen er basert på fôringsdata fra kunde, og resultatene viser størst spredning ved store utslippsmengder.

AZE	
Uten biologisk nedbrytning	Med biologisk nedbrytning



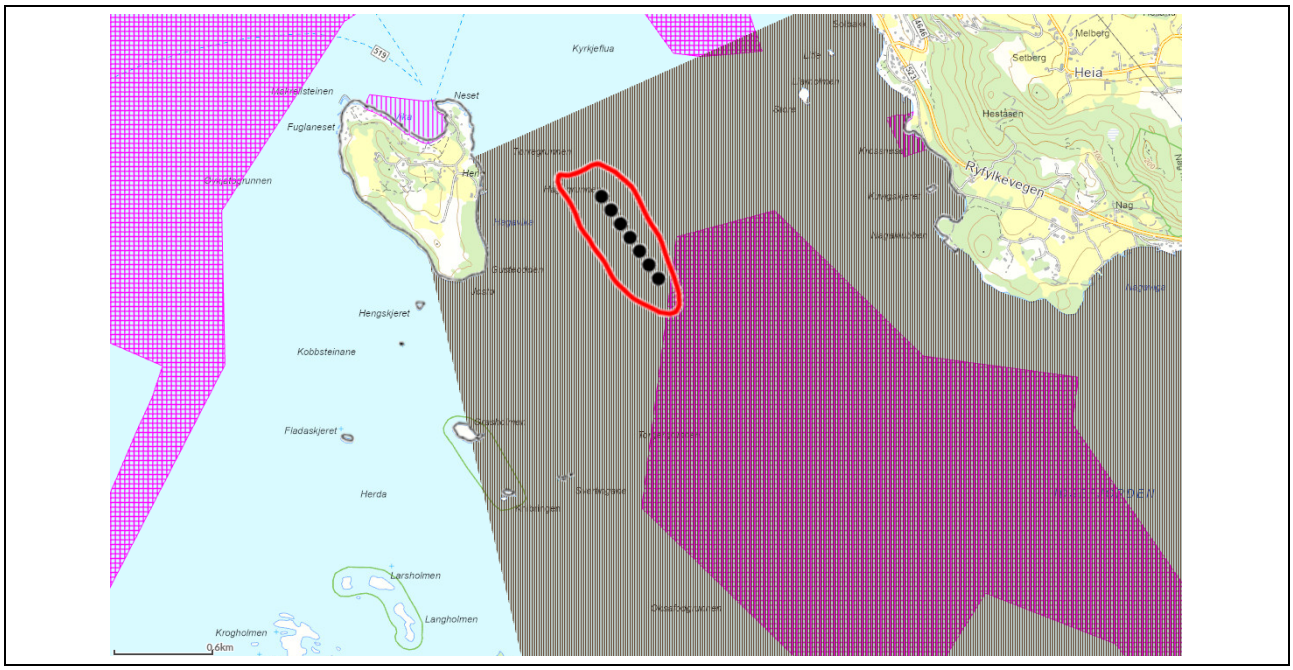
Figur 4.1. AZE uten biologisk nedbrytning (venstre) og AZE med biologisk nedbrytning (høyre) av utslippsmaterialet ved lokaliteten. De sorte prikkene viser plassering av merdene i anlegget.

Figur 4.2 viser Olex-kart med inntegnet AZE uten biologisk nedbrytning i rødt, og AZE beregnet med biologisk nedbrytning av utslippsmaterialet i svart. Dette viser utbredelsen av sonen relativt til anlegget.



Figur 4.2: Olex-kart med inntegnet AZE beregnet uten biologisk nedbrytning markert med svart kontur og AZE beregnet med biologisk nedbrytning med rød kontur (grenseverdi 330 g/m^2/år). Den tynne kompasspila øverst i venstre hjørne indikerer kartets orientering. Dybden er vist med blå konturer. Kartdatum: WGS84.

AZE for lokaliteten er innenfor sone markert som gytefelt for torsk, fiskeplasser for aktiv redskap og rekefelt (Figur 4.3).



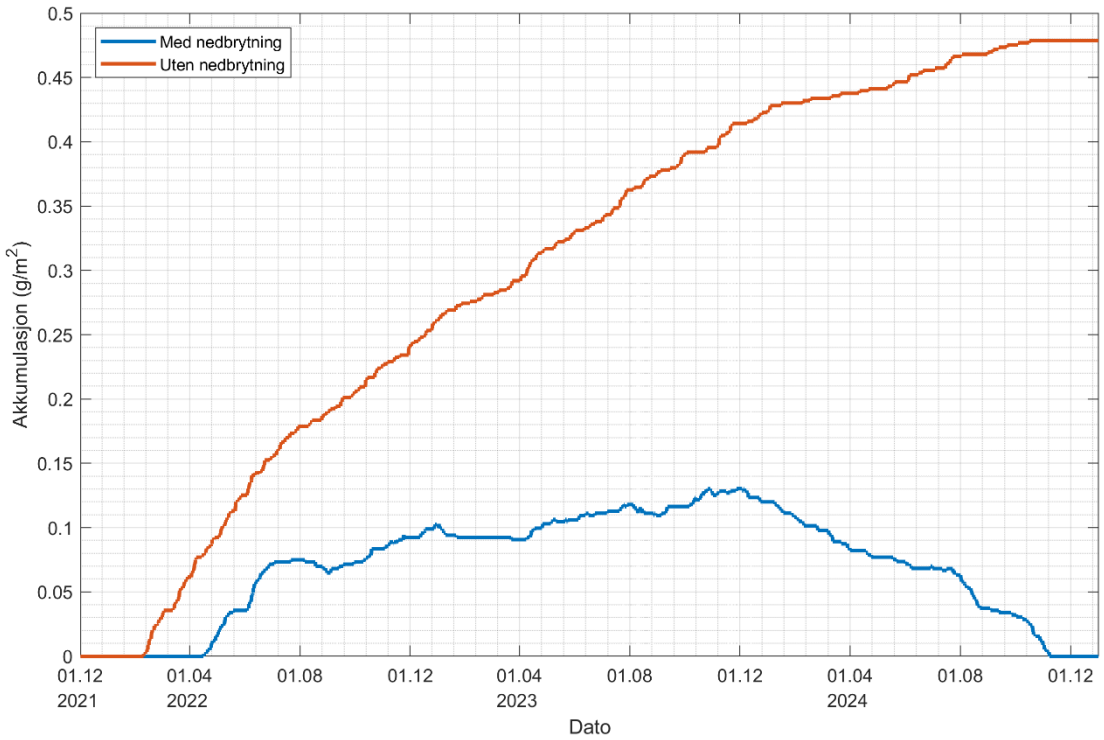
Figur 4.3: Den røde konturen markerer største utbredelse av AZE fra modelleringen uten biologisk nedbrytning (330 g/m2/år). Grå vertikale linjer viser gytefelt for torsk, rosa vertikale linjer viser fiskeplasser av aktiv redskap, og rosa horisontale linjer viser rekefelt. Kartet er hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. Kartdatum: WGS84.

4.2 Akkumulert utslipp

4.2.1 Tidsutvikling akkumulert utslipp

Utviklingen av arealet med en tetthet av utslippsmateriale på over 330 g/m^2 er vist i Figur 4.4. I modellering uten biologisk nedbrytning (oransje linje i Figur 4.4) overstiger sedimenteringen grenseverdien 330 g/m^2 den 9. februar 2022. I løpet av produksjonsperioden bygger arealet seg opp til 0.48 km^2. Arealet øker raskt i begynnelsen og er deretter lineært økende fram til januar 2024. Derfra øker arealet svakt mot slutten av produksjonsperioden. Den simulerte brakkleggingen er vist med konstant areal mot slutten av modelleringsperioden.

I modelleringen med biologisk nedbrytning (blå linje i Figur 4.4) overstiger sedimenteringen grenseverdien 330 g/m^2 den 16. april 2022. Størrelsen av arealet øker i samsvar med økende fôringsmengden. Maksimalt areal (i underkant av 0.13 km^2) inntreffer etter en periode med maksimal fôring i september til november 2023 (Figur 3.2). Redusert fôring og deretter brakklegging, sammen med biologisk nedbrytning, gjør at arealet med sedimentering over grenseverdien på 330 g/m^2 avtar til 0 km^2 den 7. november 2024.



Figur 4.4: Arealet av akkumulert utslipp på mer enn 330 g/m^2 gjennom modelleringsperioden, med og uten nedbrytning.

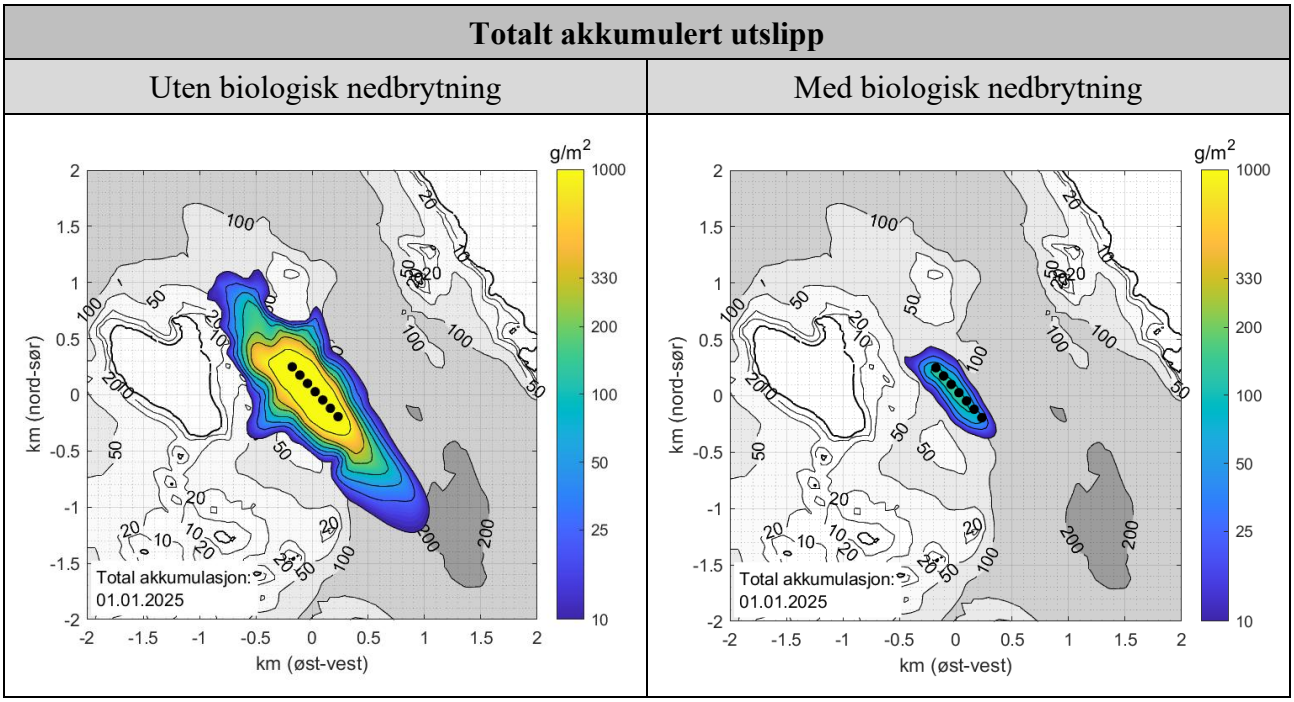
4.2.2 Totalt akkumulert utslipp

Det totale akkumulerte utslippet ved slutten av modelleringsperioden (inkludert brakklegging) er vist i Figur 4.5. Området med sedimentering over grenseverdien 330 g/m^2 er gitt med mørk gul, mens overgangssonen er vist med grønn- og blåfarger.

Spredningen ut fra anlegget i simuleringen uten biologisk nedbryting skjer i alle retninger, med størst spredning mot NV og SØ for anlegget. Lengden på påvirkningsområdet (> 10 g/m^2) er rundt 2870 m i retningen NV – SØ og rundt 1080 m i retningen NØ – SV i simuleringen uten biologisk nedbrytning.

Når biologisk nedbrytning inkluderes i simuleringen reduseres påvirkningsområdet. Utstrekningen etter brakkleggingsperioden er da 990 m i retningen NV – SØ og omkring 480 m i retningen NØ – SV.

I begge tilfellene følger spredningsmønsteret strømforholdene i området (Vedlegg 7).



Figur 4.5: Totalt akkumulert utslipp ved lokaliteten i løpet av simuleringsperioden. Figuren til venstre viser simulering uten biologisk nedbrytning av utslippsmaterialet, og figuren til høyre viser simulering med biologisk nedbrytning av utslippsmaterialet. De sorte prikkene viser plassering av merdene i anlegget. Merk her at tidsperioden for akkumulering er hele utslippsperioden (inkludert brakklegging).

5. Oppsummering

Simuleringen viser at det er størst sedimentering av utslippsmateriale rett under anlegget og at det videre ut fra anlegget hovedsakelig er spredning mot NV og SØ.

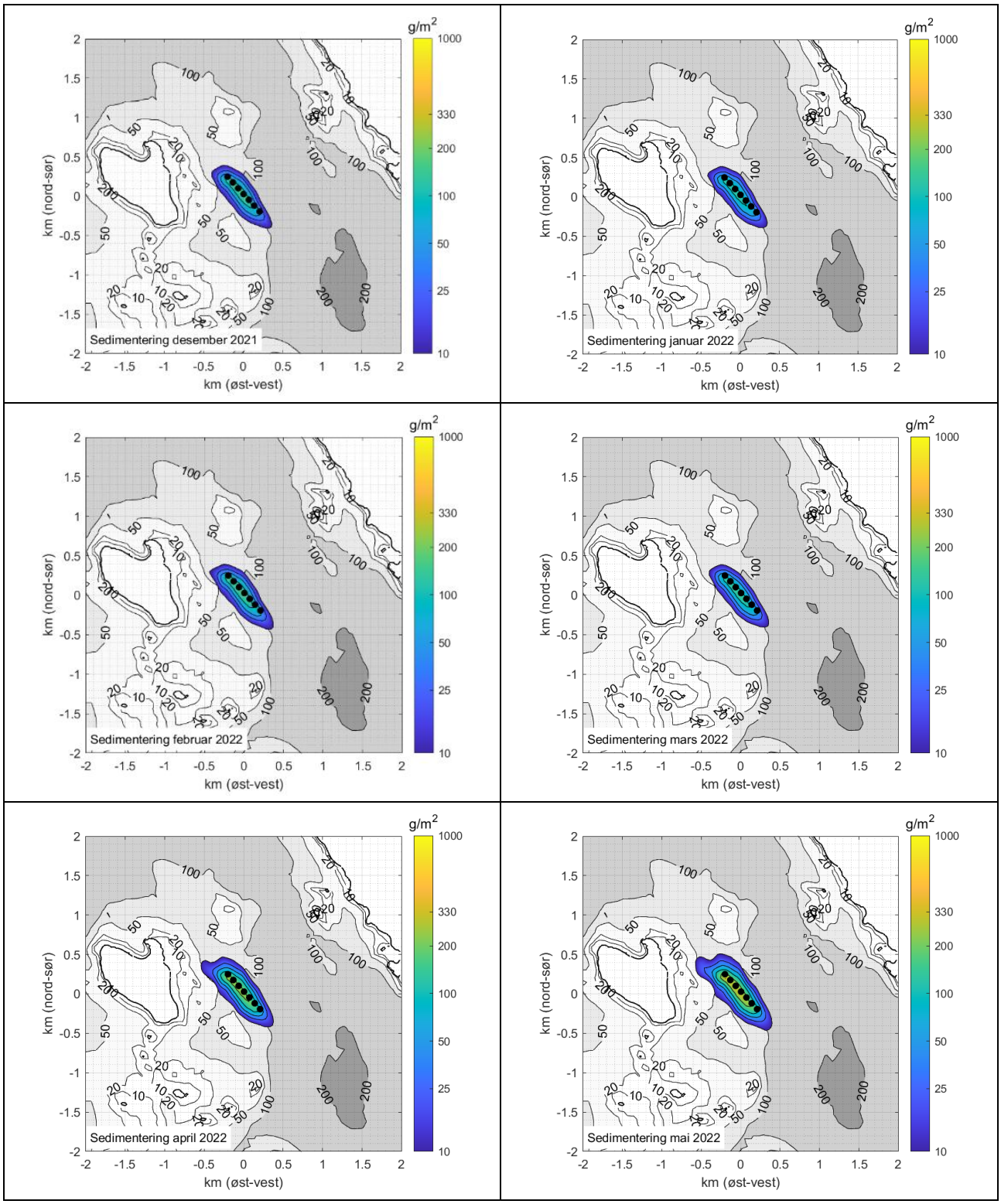
AZE er omkring 1020 m lang i retning langs anlegget (NV – SØ) og omkring 380 m bred på tvers av anlegget (NØ – SV) i modelleringen uten biologisk nedbrytning. Arealet av AZE er da 0.32 km^2. I simuleringen med biologisk nedbrytning av utslippsmaterialet reduseres utstrekningen av AZE til omkring 650 m lang og 180 m bred. I dette tilfellet er størrelsen på AZE 0.09 km^2.

Lengden på påvirkningsområdet (> 10 g/m^2) er rundt 2870 m i retning NV – SØ og rundt 1080 m i retningen NØ – SV i simuleringen uten biologisk nedbrytning. Når biologisk nedbrytning inkluderes i simuleringen reduseres påvirkningsområdet. Utstrekningen etter brakkleggingsperioden er da rundt 990 m i retning NV – SØ og omkring 480 m i retning NØ – SV.

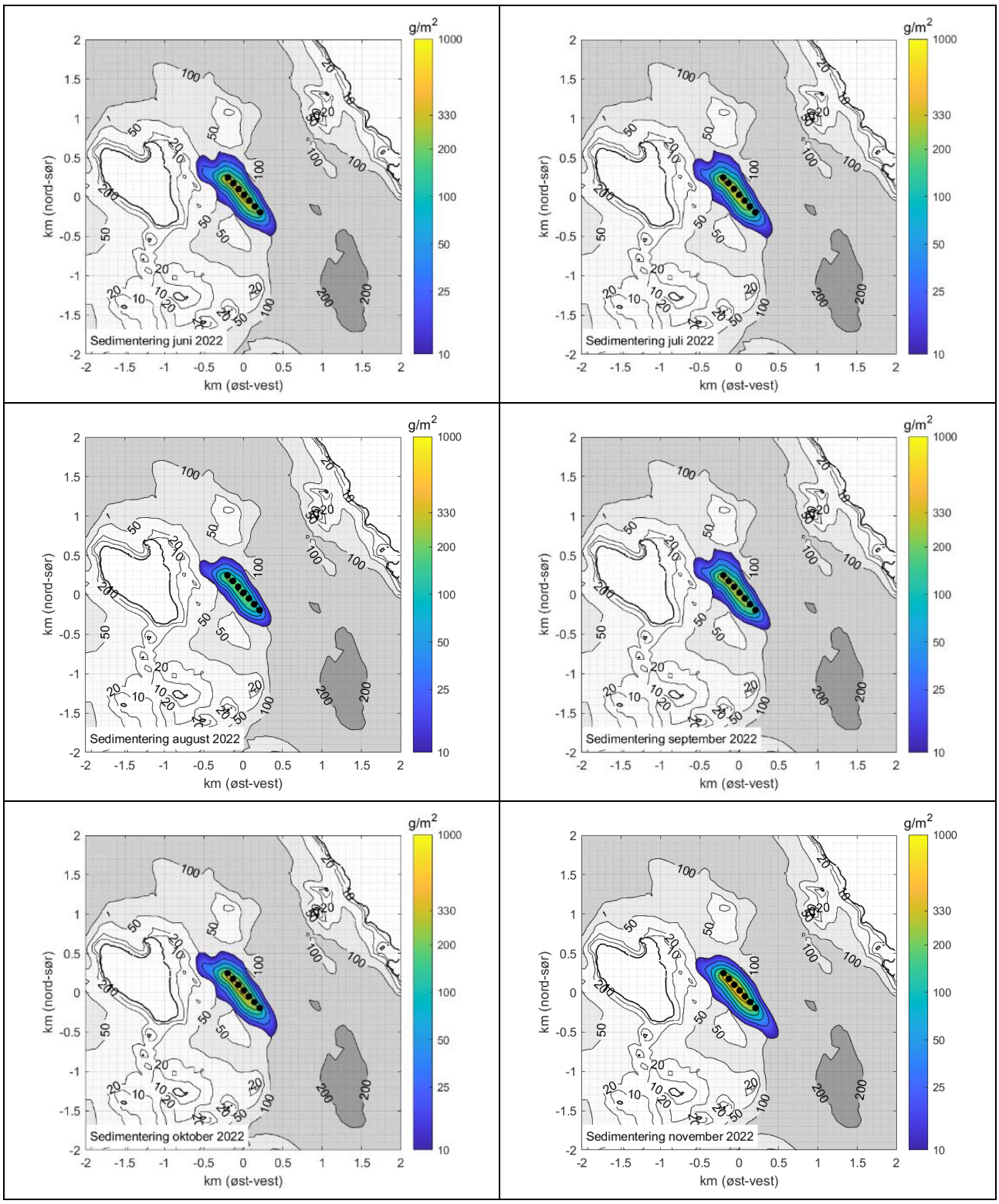
Påvirkningsområdet og beregnet AZE ved lokaliteten kommer i kontakt med soner markert som fiskeområder av aktive redskap, rekefelt og gytefelt for torsk i Fiskeridirektoratets kartverktøy for kystnære fiskeridata.

6. Vedlegg - Månedlig sedimentering

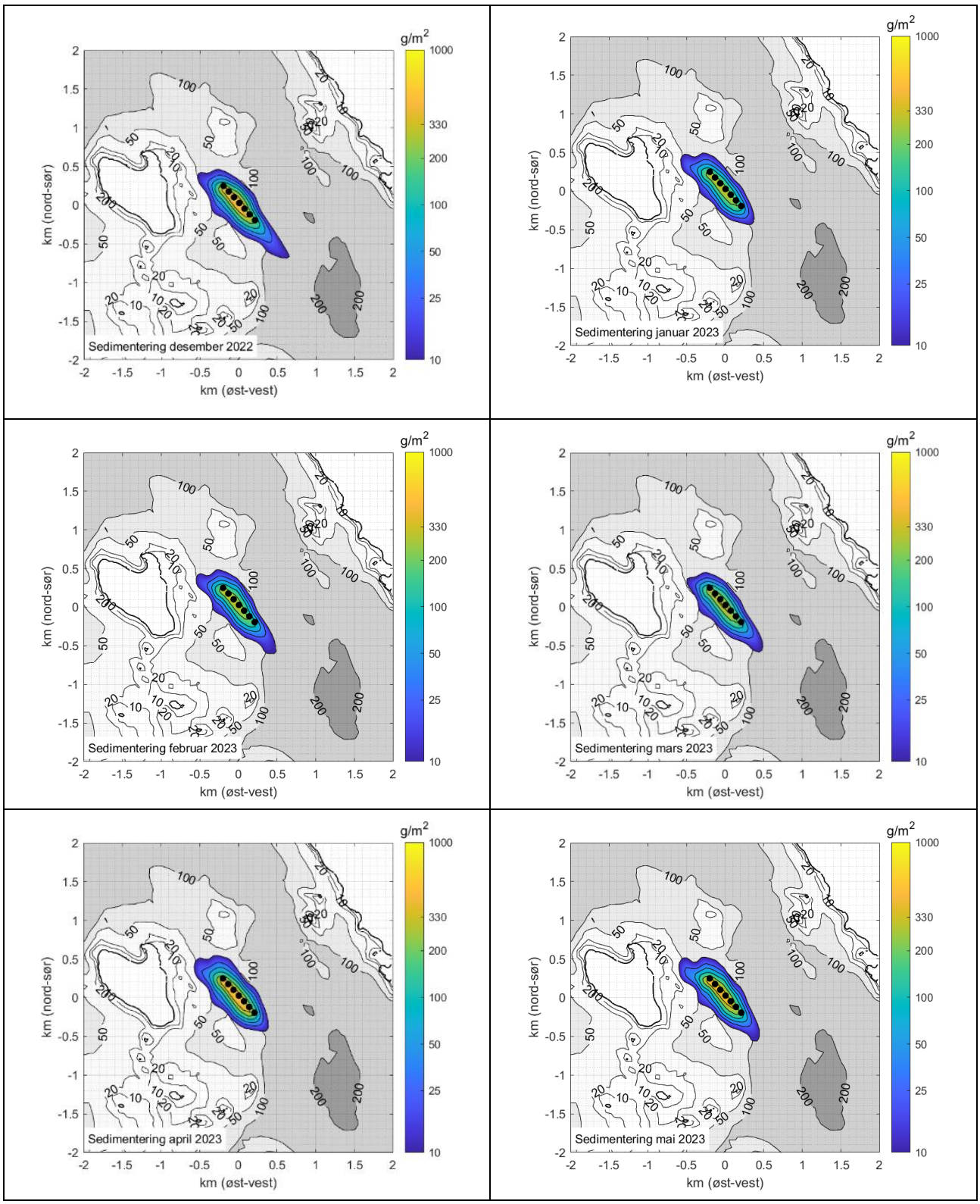
Sedimenteringen av utslippsmateriale ved lokaliteten avhenger både av utslippsmengde (Figur 3.3) og strømforhold (Vedlegg 7). Dette gir ulik utbredelse av utslippene fra måned til måned gjennom produksjonsperioden (Figur 6.1 - Figur 6.6). Merk at figurene under viser sedimentering uten biologisk nedbrytning av utslippsmaterialet.



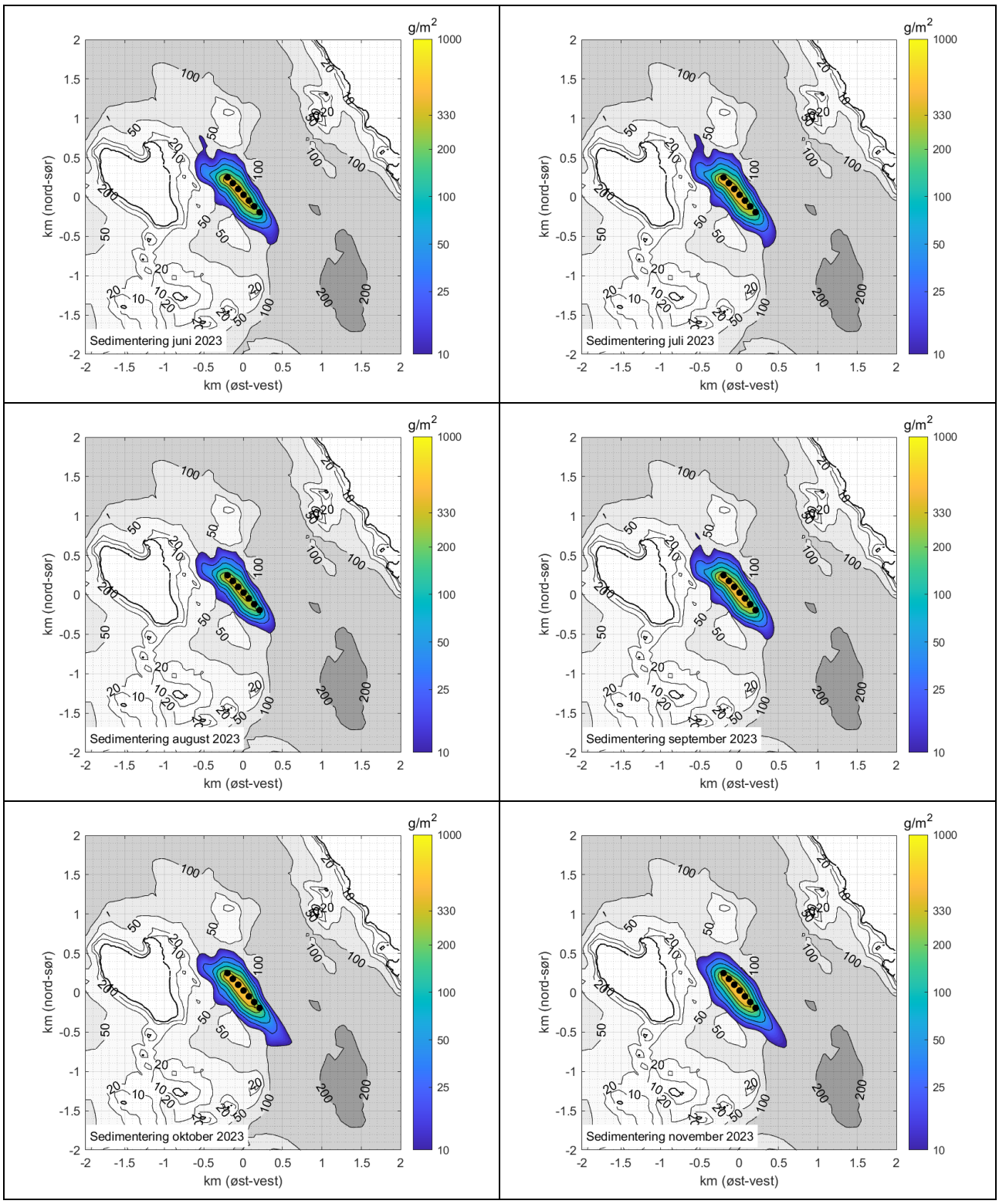
Figur 6.1. Månedlig sedimentering av utslippsmateriale uten biologisk nedbrytning ved lokaliteten. De sorte prikkene viser plassering av merdene i anlegget.



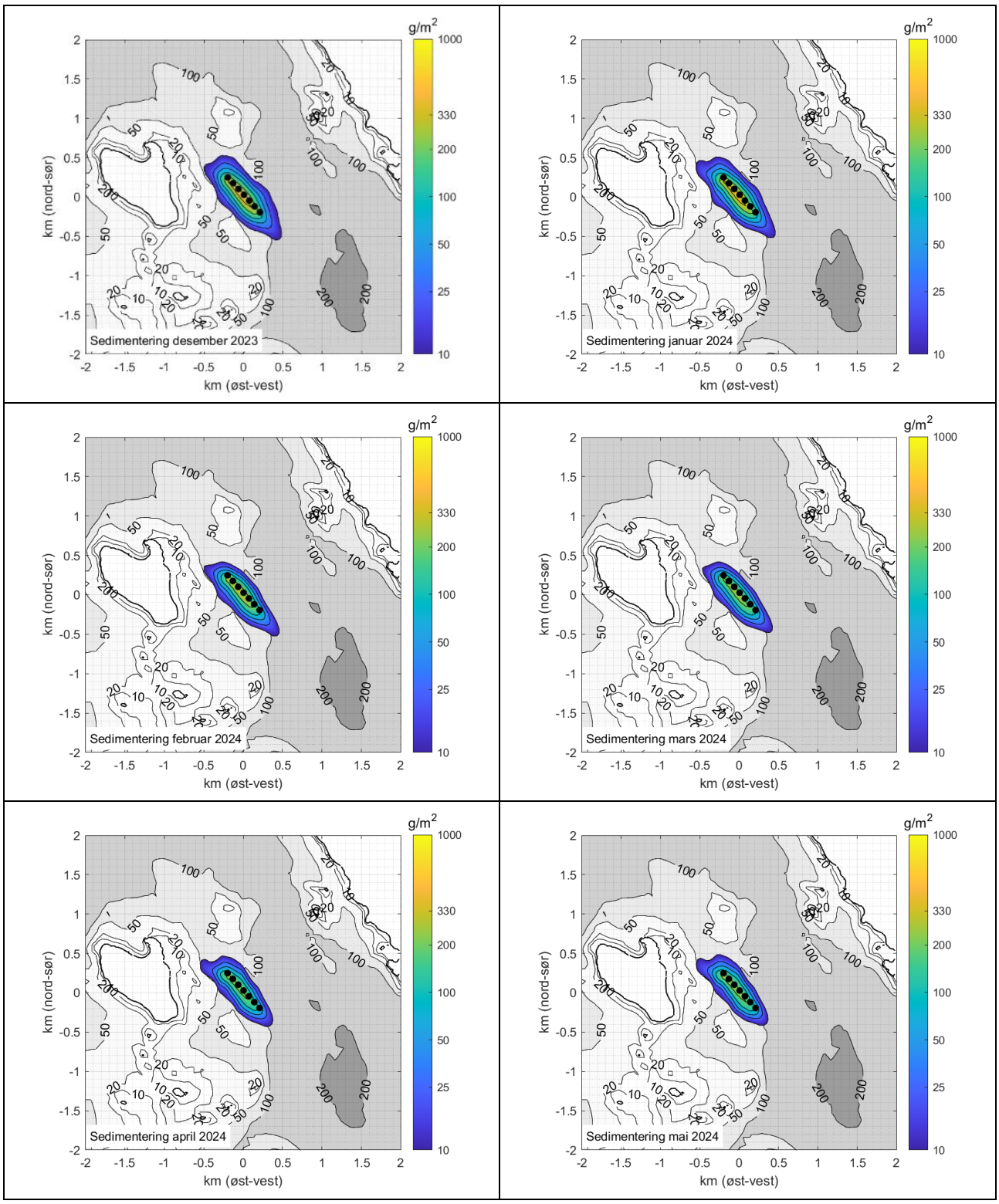
Figur 6.2. Fortsettelse: Månedlig sedimentering av utslippsmateriale uten biologisk nedbrytning ved lokaliteten. De sorte prikkene viser plassering av merdene i anlegget.



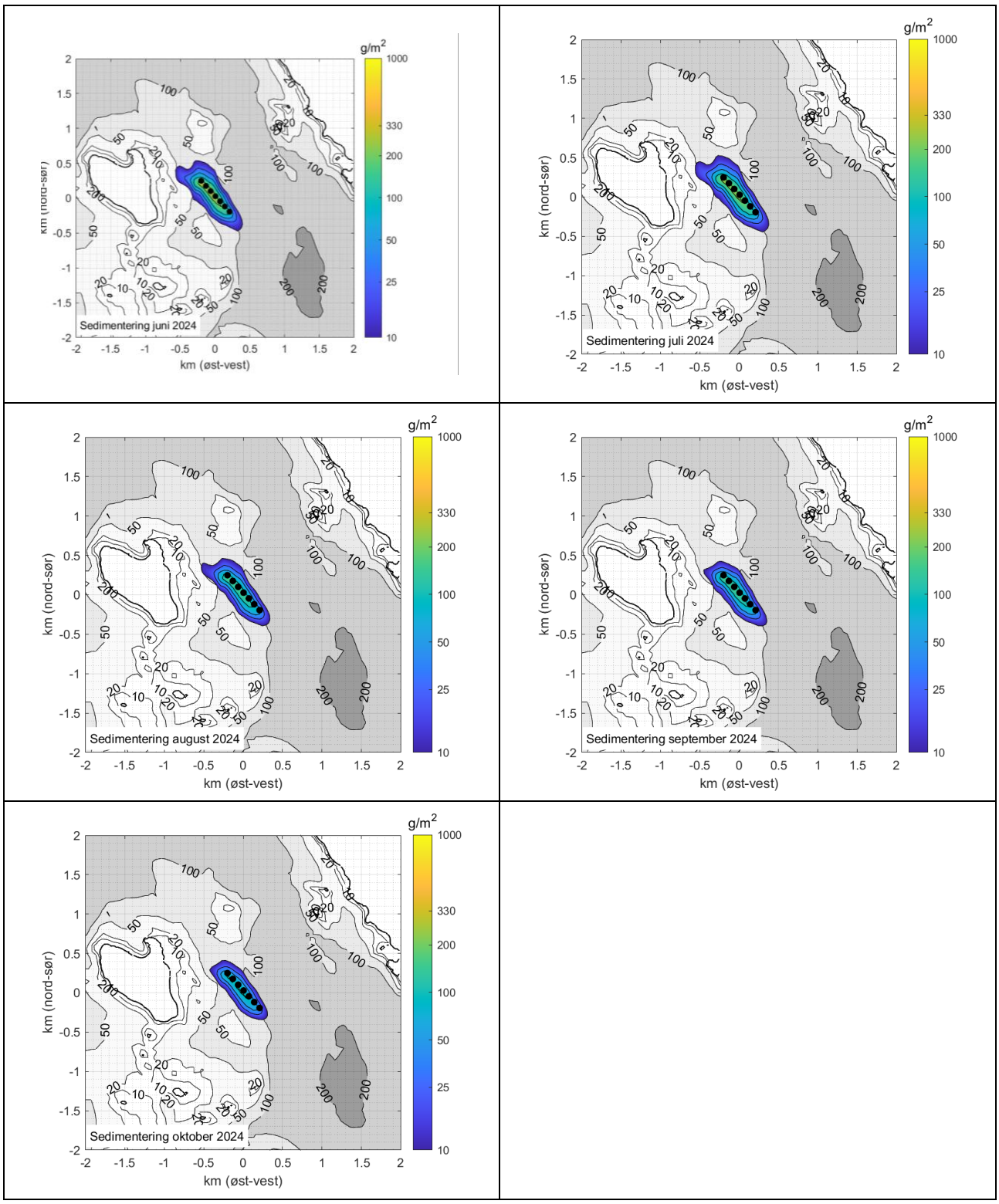
Figur 6.3. Fortsettelse: Månedlig sedimentering av utslippsmateriale uten biologisk nedbrytning ved lokaliteten. De sorte prikkene viser plassering av merdene i anlegget.



Figur 6.4. Fortsettelse: Månedlig sedimentering av utslippsmateriale uten biologisk nedbrytning ved lokaliteten. De sorte prikkene viser plassering av merdene i anlegget.



Figur 6.5. Fortsettelse: Månedlig sedimentering av utslippsmateriale uten biologisk nedbrytning ved lokaliteten. De sorte prikkene viser plassering av merdene i anlegget.



Figur 6.6. Fortsettelse: Månedlig sedimentering av utslippsmateriale uten biologisk nedbrytning ved lokaliteten. De sorte prikkene viser plassering av merdene i anlegget. Merk at november og desember 2024 ikke er med, da dette er en brakkleggingsperiode uten utslipp.

7. Vedlegg – Resultater fra strømmodellering

7.1 Strømresultater

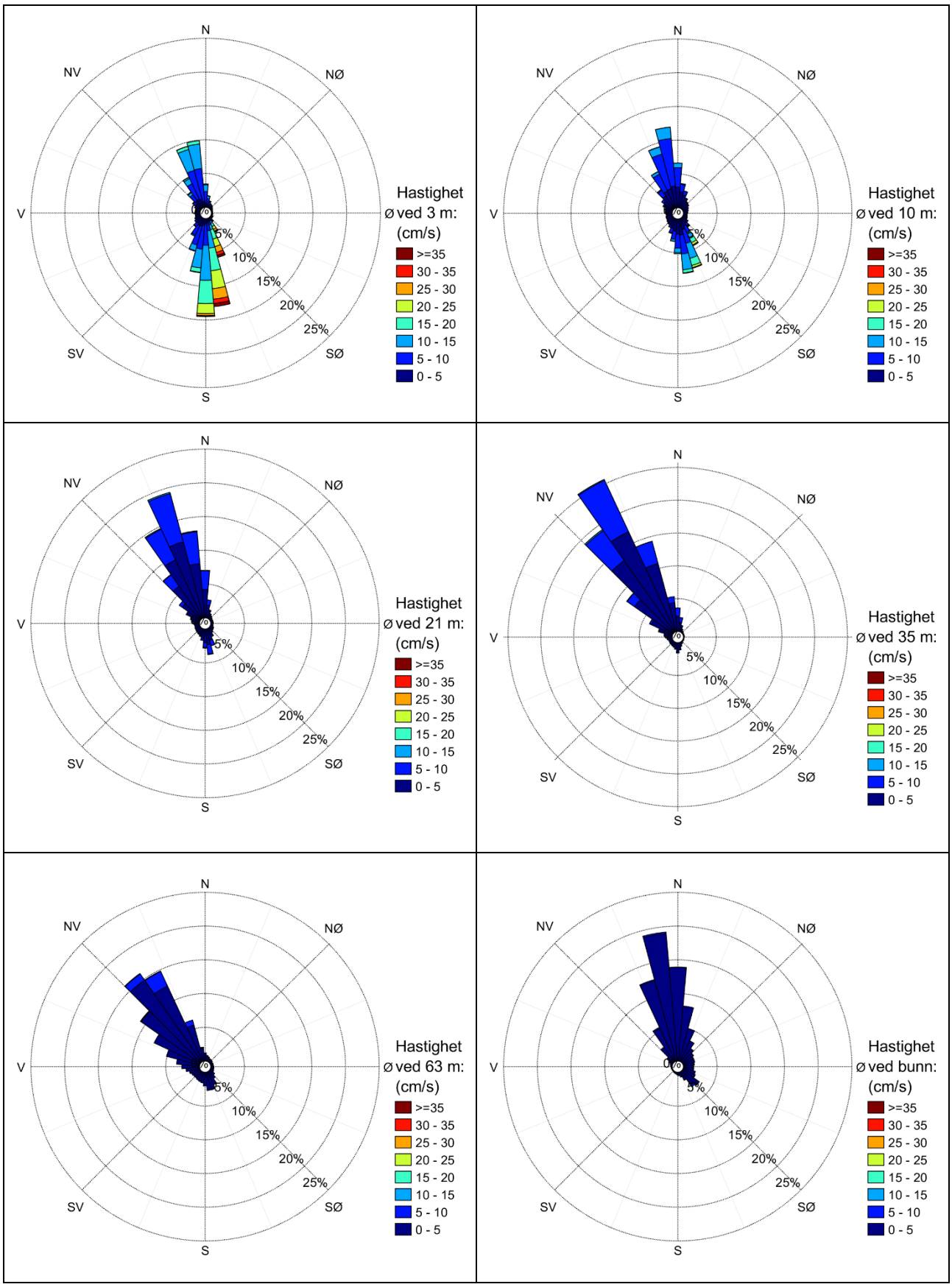
Tabell 7.1 viser modellerte strømdata fra utslippsposisjon til Heng Øst (gult kryss i Figur 2.2). Gjennomsnittshastigheten er 10.8 cm/s ved 3 m dyp og avtar nedover i dypet med den laveste gjennomsnittshastigheten på 2.0 cm/s ved bunndyp (85 m dyp). Den signifikante makshastigheten er 19.0 cm/s ved 3 m dyp, 6.5 cm/s ved 21 m dyp, og 3.2 cm/s ved bunnen. I vannsøyla har strømmen i de øvre vannlagene størst standardavvik.

Strømrosen på 3 m dyp viser at den dominerende retningen er mot N – S i området av anlegget (Figur 7.1). Når strømmen går sørover er hastighetene oftere høyere enn når strømmen går nordover. Videre i dypet skifter strømmen mot N/NV helt ned til 63 m dyp. Ved bunndyp er strømmen rettet i større grad mot N igjen.

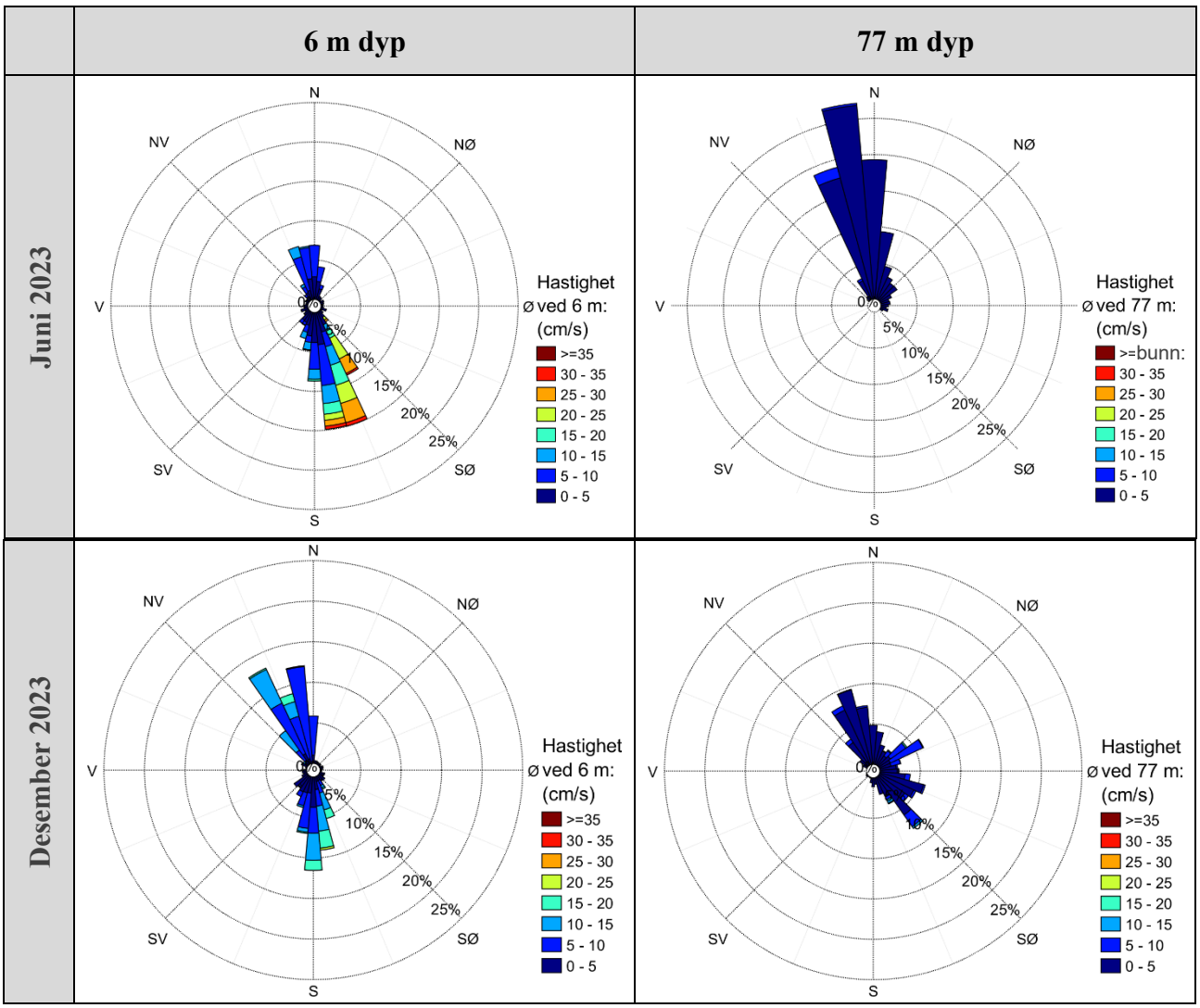
Styrken på strømmen varierer gjennom året. Hastigheten i overflaten har størst variabilitet. Strømmen er påvirket av blant annet vind, ferskvannsavrenning og tidevann. En sammenligning mellom modellert strøm for desember og juni 2024 ved 6 m dyp og 77 m dyp viser at strømstyrken kan variere mellom de ulike tidsperiodene (Figur 7.2), men også de dominerende strømretningene. Slike endringer gjennom året illustrerer dynamikken i fjorden, og modellering gjennom hele året fanger opp påvirkningen på spredningen av utslippene.

Tabell 7.1. Strømverdier fra simuleringer ved Heng Øst i strømmålerposisjonen (gult kryss i Figur 2.2) for perioden 01.12.21 – 31.12.24.

Dyp (m)	**3**	**10**	**21**	**35**	**63**	**Bunn**
Gjennomsnitt (cm/s)	10.8	5.8	4.0	3.8	2.1	2.0
Sign. maks (cm/s)	19.0	10.7	6.5	6.0	3.8	3.2
Sign. min (cm/s)	4.1	1.9	1.7	1.8	0.7	0.9
Std. avvik (cm/s)	7.3	4.3	2.2	2.0	1.5	1.3



Figur 7.1. Strømroser av simulert strøm nær strømmålerposisjonen til Heng Øst markert med gult kryss i Figur 2.2 for perioden 01.12.21 – 31.12.24. Dypet er gitt over fargeskalaen.

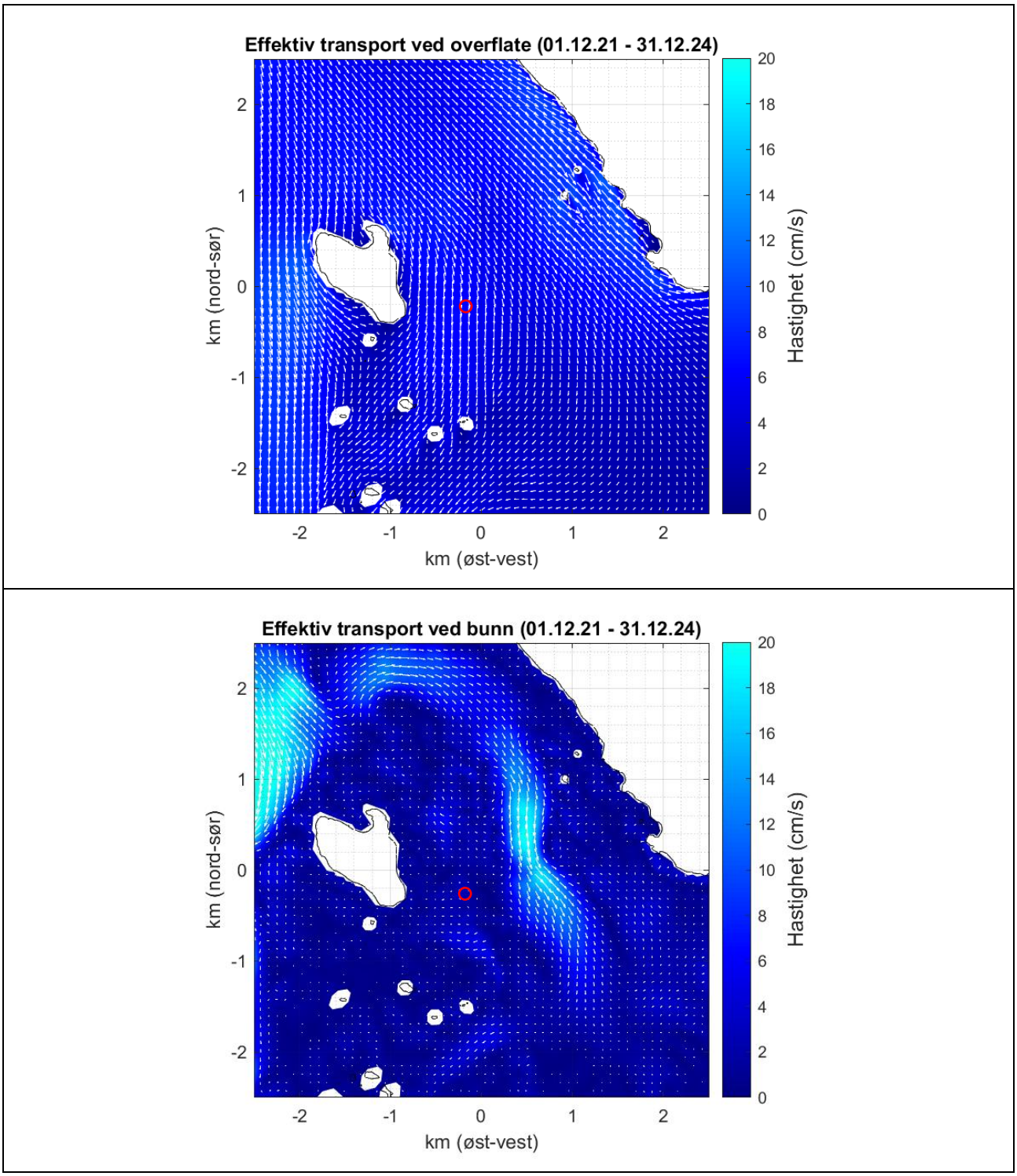


Figur 7.2. Sammenligning av strømhastighet for juni 2023 og desember 2023 på 6 m dyp og 77 m dyp. Strømrosene er hentet i posisjon nær strømmålerposisjonen til Heng Øst, gult kryss i Figur 2.2.

7.2 Simulert strøm i området rundt Heng Øst

Det er registrert strøm i hele det modellerte området for hver sjette time i simuleringsperioden. Ut fra dette er den effektive transporthastigheten beregnet. Effektiv transporthastighet er et mål på den gjennomsnittlige styrken og retningen til strømmen i hele vannsøylen gjennom måleperioden. I Figur 7.3 er effektiv transporthastighet vist ved overflaten og ved bunnen.

I overflaten er den dominerende strømmen mot retning S i området av anlegget. Ved bunndyp er strømretningen mer variable og svakere.



Figur 7.3. Effektiv transporthastighet ved overflaten i øvre panel, og ved bunnen i nedre panel. Rød sirkel viser anleggets midtpunkt.

7.3 Modellert strøm sammenlignet med målinger

Det er utført strømmålinger ved Heng Øst i perioden 25.04.25 - 12.08.25 i nærheten av utslippsposisjonen til Heng Øst (gult kryss i Figur 2.2). Strømmålingene er utført av Kvitsøy Sjøtjeneseter (2025b, 2025d, 2025a) og Kvitsøy Sjøtjeneseter (2025e, 2025c). Målingene er utført på 5 m, 10 m og 15 m over tre perioder mellom 25.04.25 og 12.08.25. I tillegg er det utført strømmålinger på spredningsdyp (64 m) i én periode fra 04.06.25 til 03.07.25, og på bunndyp (90 m) i én periode fra 25.04.25 til 01.06.25. Simulasjonen dekker ikke måleperioden for målingene tatt ved Heng Øst, og målingene sammenlignes derfor med modellert strøm ved tilsvarende dyp i samme tidsperiode i 2024 (Tabell 7.2, Tabell 7.3, Figur 7.4 og Figur 7.5).

Ved strømmåleposisjon er modellert strøm lignende som målt strøm (Tabell 7.2 og Tabell 7.3). Gjennomsnittlig strømhastighet er høyere på 7 m dyp (7.6 cm/s) i simuleringen enn på 5 m dyp (6.3 cm/s) i målingene. På de andre dypene er simulert gjennomsnittlig strømhastighet lavere enn målt strøm.

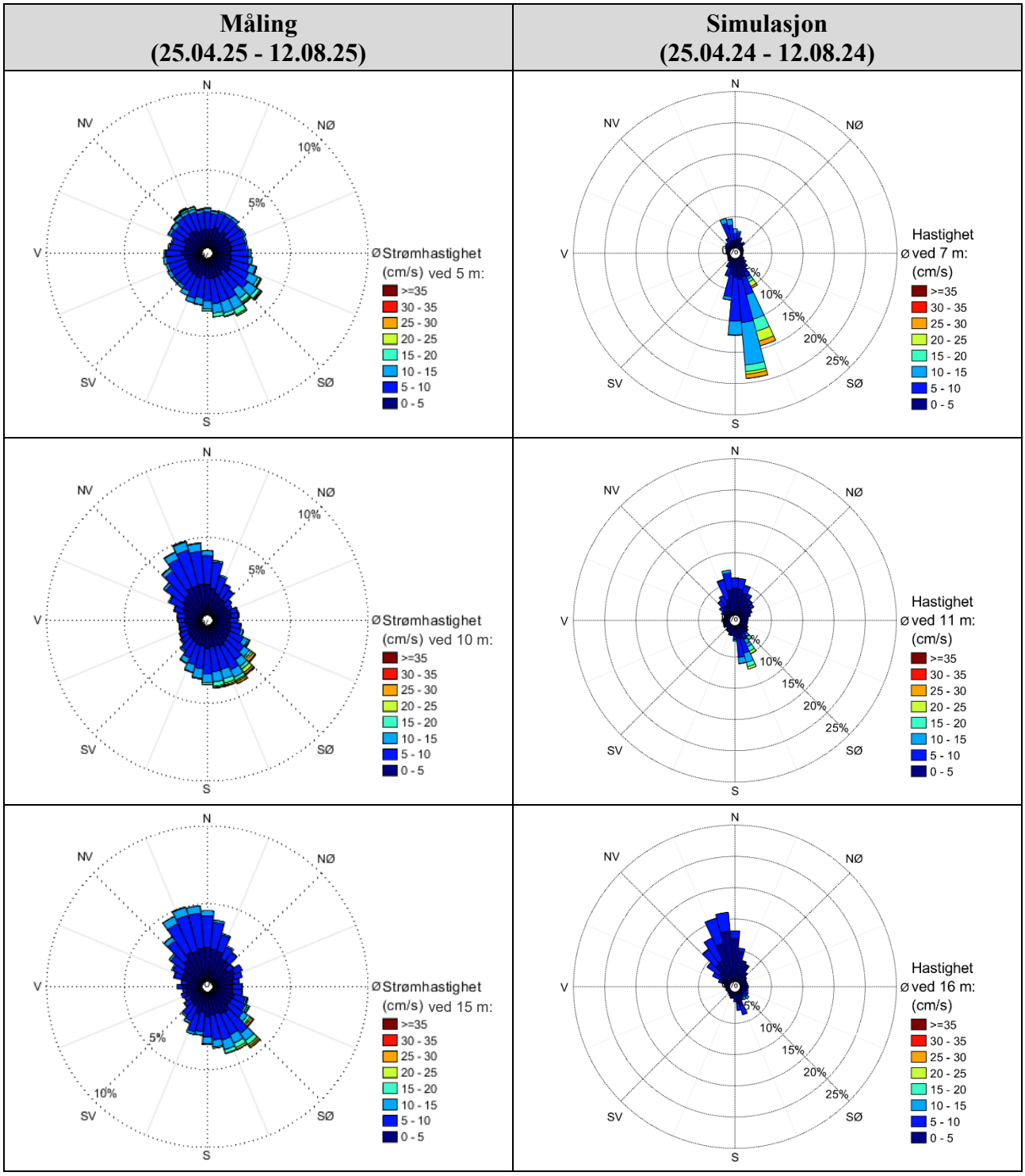
Tabell 7.2. Målte strømverdier i strømmåleposisjon markert med gult kryss i Figur 2.2.

Måling					
Dyp	**5 m**	**10 m**	**15 m**	**Spredningsdyp (64 m)**	**Bunndyp (90 m)**
Gjennomsnitt (cm/s)	6.3	5.9	5.5	4.0	3.2
Signifikant maks (cm/s)	10.7	10.3	9.4	6.7	5.2
Signifikant min (cm/s)	2.6	2.4	2.3	1.7	1.4
Standardavvik (cm/s)	4.4	4.2	3.7	2.4	1.8

Tabell 7.3. Modellert strøm i samme posisjon som strømmåleren markert med gult kryss i Figur 2.2. Tidsperioden er den samme som strømmåleperioden for det bestemte dypet.

Simulering					
Dyp	**7 m**	**10 m**	**16 m**	**Spredningsdyp (62 m)**	**Bunndyp (93 m)**
Gjennomsnitt (cm/s)	7.6	4.6	3.9	2.3	1.1
Signifikant maks (cm/s)	13.8	9.0	6.6	4.4	1.8
Signifikant min (cm/s)	2.6	1.4	1.5	0.8	0.5
Standardavvik (cm/s)	5.5	4.0	2.4	1.9	0.6

I de øvre vannlagene er det høyere strømhastigheter mot S/SØ og lavere strømhastigheter mot N/NV i både målt og modellert strøm (Figur 7.4). Målt strøm har en mer varierende retningsfordeling for de lavere strømhastighetene som medfører den sirkulære strømrosen. På 15 m dyp i målt strøm er det en flere målinger mot S/SØ enn modellert strøm på 16 m dyp som har hovedstrømretningen mot N/NV (Figur 7.4).

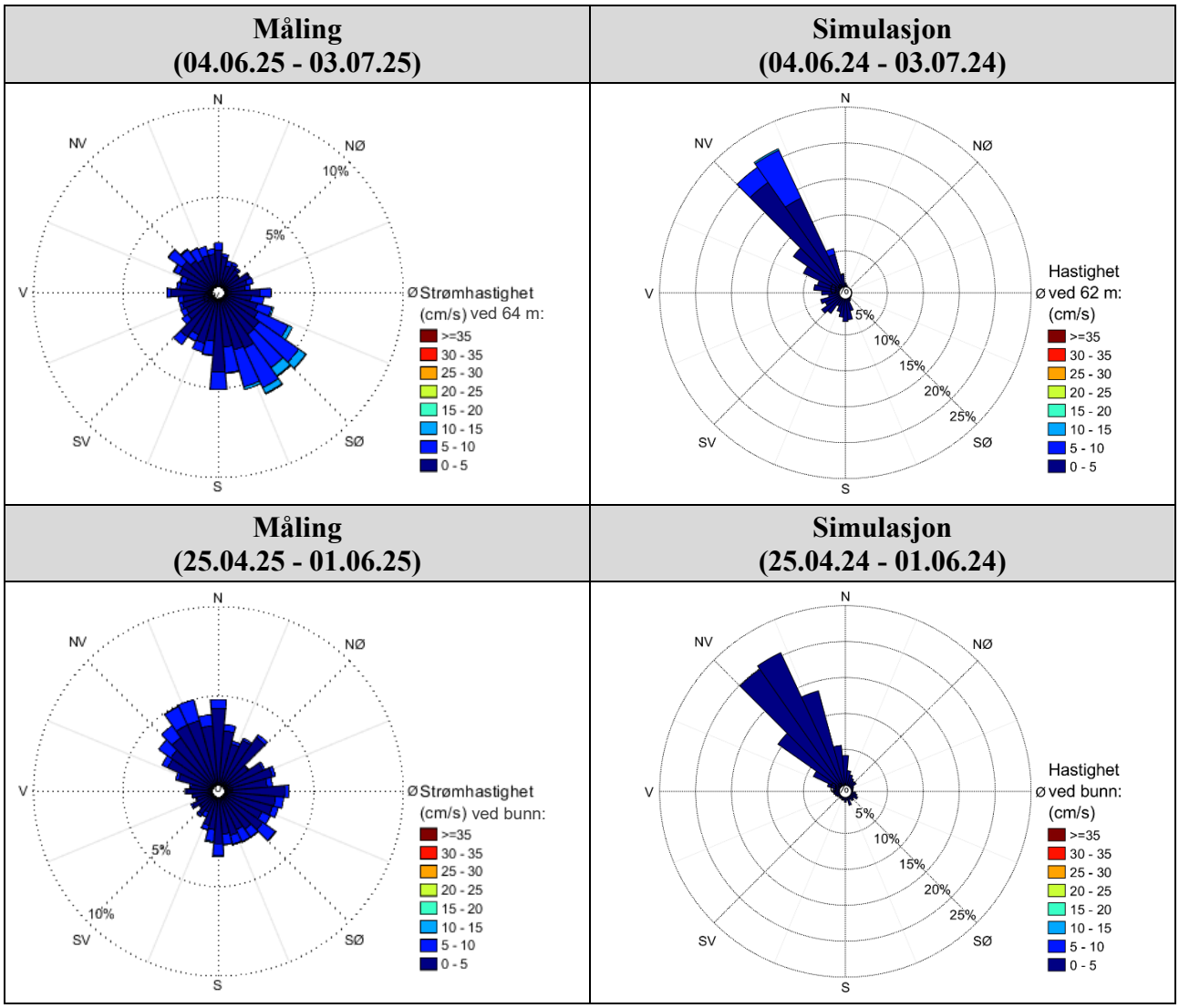


Figur 7.4. Sammenligning av strømrose fra de ulike måledypene 5m, 10m, 15m i 2025 (venstre kolonne) med strømroser fra simulering ved tilsvarende dyp for tilsvarende periode i 2024 (høyre kolonne). Sammenligningen gjelder ved gult kryss i Figur 2.2.

På 62 m dyp er simulert strøm mot NV, mens målingene på 64 m dyp er mer varierende med flest målinger mot S/SØ. Ved bunndyp er målingene mot N/NV – Ø/SØ/S, mens simuleringen er mot NV (Figur 7.5).

Det er et ulikt bidrag i hovedstrøms-retningene på alle de tre dypene. Dette kan være et resultat av at modellen har en noe ulik fordeling av strømmen med dypet og at målingene er fra 2025, mens modellen simulerer strømmen i 2021 – 2024. I tillegg er det stor variasjon på strømretningene og

strømhastighetene over korte avstander i område, som vil bety at oppløsningen av bunntopografi og simulert strøm vil gi et bidrag til forskjellene.



Figur 7.5. Sammenligning av strømrose fra spredningsdyp (64m) og bunndyp i 2025 (venstre kolonne) med strømroser fra simulering ved tilsvarende dyp for tilsvarende periode i 2024 (høyre kolonne).. Sammenligningen gjelder ved gult kryss i Figur 2.2.

Grunner til avvik mellom målinger og modellresultater:

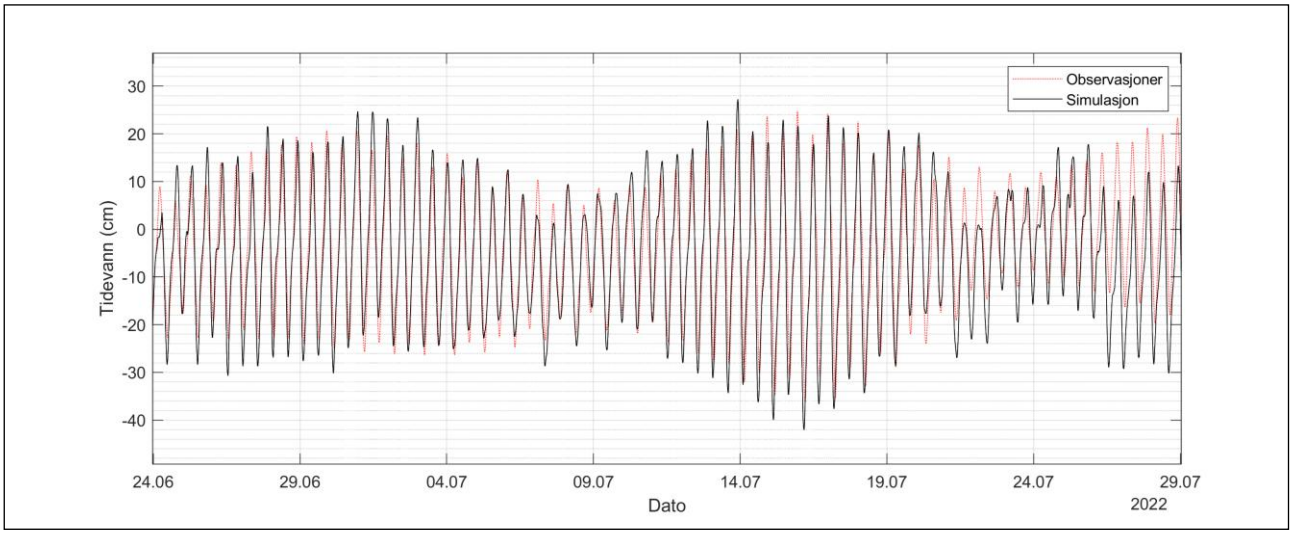
- Forskjellen mellom målt og simulert strømretning kan forklares delvis ved ulik periode for målinger og simulering. Det er forskjellig værforhold fra år til år, som blant annet kan gi forskjellig tilførsel av ferskvann i fjorden. Det er ikke ventet at strømmen i ulike tidsperioder vil ha lik karakter. Ferskvann som er benyttet i modelleringen er fra ett tidligere år.
- Simuleringene har en oppløsning på 40 m x 40 m (og grovere) og det kan være variasjoner i strømmen innenfor denne skalaen som strømmodellen ikke fanger opp. Også i tid er det variasjon i både strømhastighet og retning, så det er ikke forventet at en modell stemmer eksakt både i tid og rom.
- Kompliserte bunnforhold: Størst avvik kan forventes å opptre i måleposisjoner som er nært land og hvor det er relativt komplisert batymetri. Målepunktet ligger relativt nært land, øyer, skjær og holmer. En slik bunntopografi vil føre med seg variasjoner i strøm over ganske korte avstander, noe som gjør det viktig å vurdere strømmen over et område og ikke bare i et punkt.

8. Vedlegg - Havnivå

Strømmen i simuleringene blir blant annet drevet av havnivå og en sammenligning med observasjoner er med på å evaluere modellytelsen. Kartverkets nærmeste observasjonspunkt ligger i Stavanger, ca. 11 km SV/V for Heng Øst (Figur 8.1). På grunn av den korte avstanden var det ikke nødvendig med korreksjon i tid og høyde for forskjeller i havnivå (Kartverket 2025).

Det er noe avvik mellom modellresultatene og målingene, men ikke mer enn hva som er forventet med modellering av strømforhold og tidevann. Et utsnitt av tidsserien viser at vannstanden i modellen veksler mellom å være litt høyere og lavere enn observert vannstand (Figur 8.2). Det er ikke ventet at denne forskjellen har signifikant betydning for strømmodelleringen ved lokaliteten.

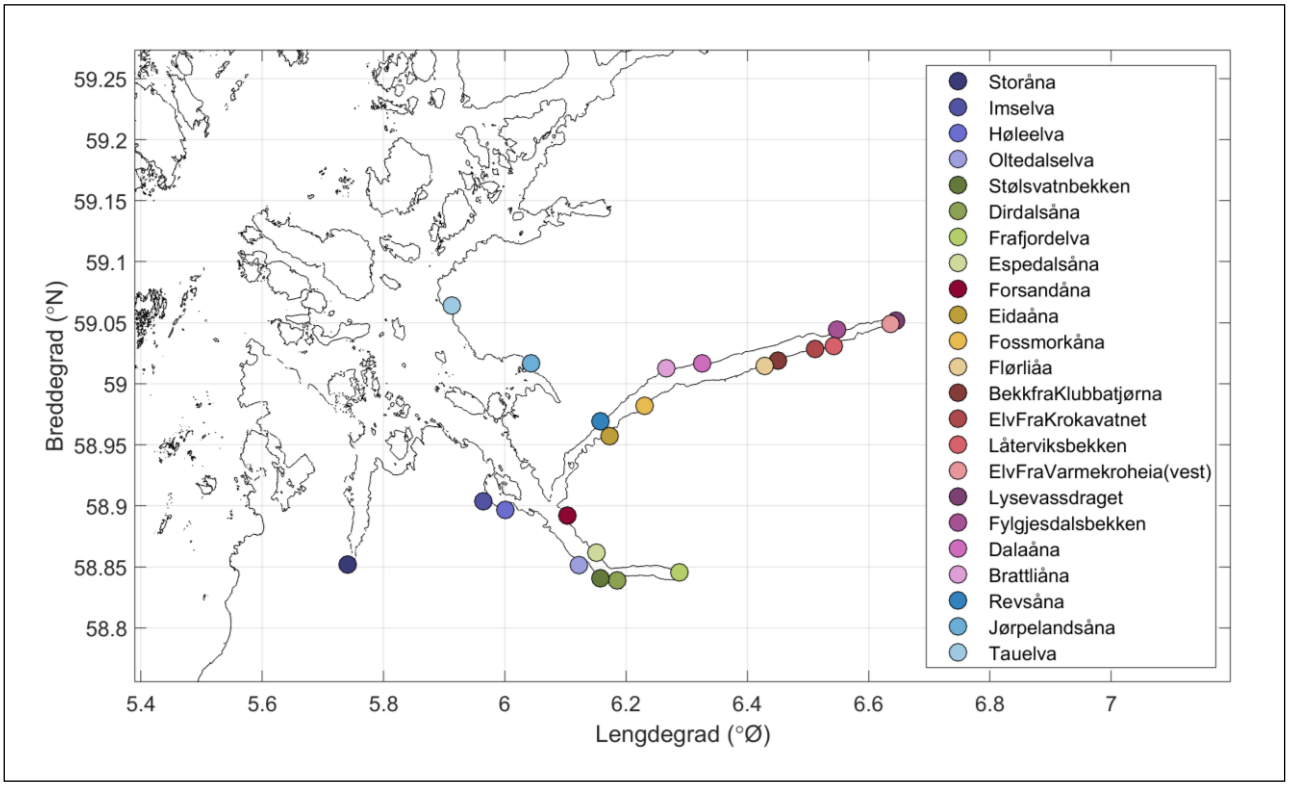
Figur 8.1. Oversiktskart fra Heng Øst (gul sirkel) og punkt for vannstandsmåling i Stavanger (lilla sirkel). Kartet er hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy med datum WGS84.



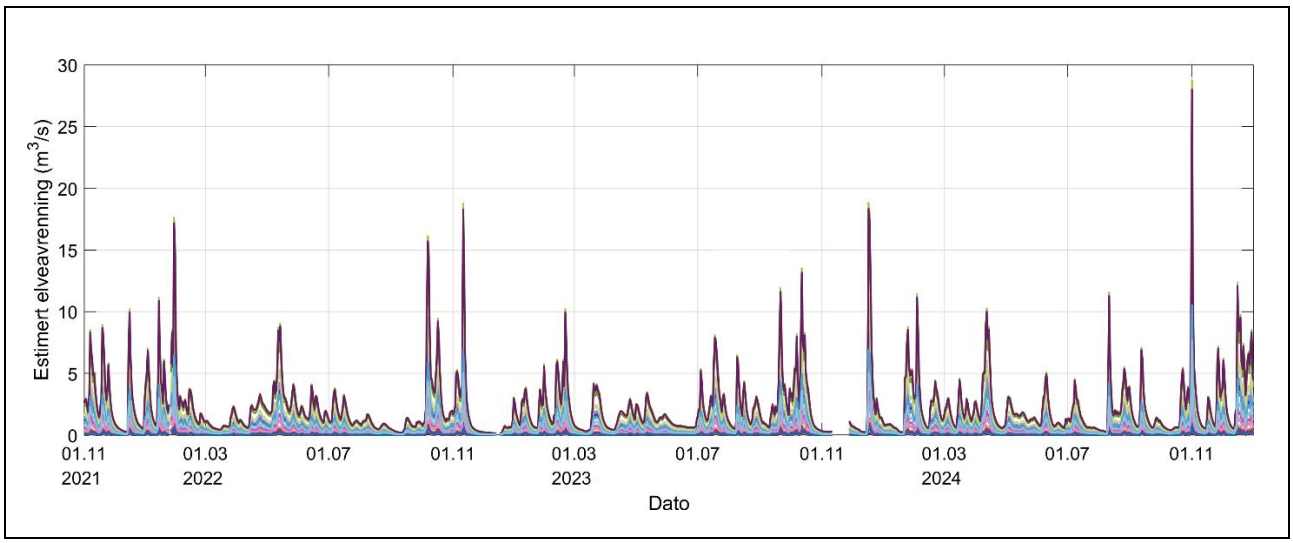
Figur 8.2. Havnivå ved strømmåleposisjonen ved Heng Øst i perioden 24.06.2022 - 29.07.2022. Svart linje er resultatene fra modellering. Rød prikket linje er tidevannstabell.

9. Vedlegg - Ferskvannstilsig

Tilførsel av ferskvann i overflaten er med på å drive sirkulasjonen i en fjord, og vassdrag som tilfører ferskvann til det modellerte området er markert i Figur 9.1. Tidsserie av vannføring i elvene som er inkludert i modellen er vist i Figur 9.2. Siden det ikke foreligger modellert ferskvannsavrenning fra noen av elvene innenfor modelleringsdomenet, er disse beregnet på et forholdstall ift. elva Hjelmelandsåna som har tilgjengelig avrenningsdata. Hjelmelandsåna ligger 28.3 km N/NØ for Heng Øst. Forholdstallet er basert på middel tilsig for perioden 1991 – 2020 (NVE Atlas, 2025) med et forhold mellom oppstrøms-areal og avrenning fra nedbørsfelt.



Figur 9.1. Oversikt over vassdrag som bidrar med ferskvann i modellen. Lokaliteten Heng Øst sitt er markert med gul sirkel.



Figur 9.2. Vannføring fra november 2021 til og med desember 2024 de største elvene i området.

10. 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.

10.1 Inngangsdata for strømmodell

Usikkerhetsmomenter i inngangsdata kommer fra:

- Værdata
- Randbetingelser i havnivå, strøm, saltholdighet og temperatur
- Bunndata
- Elveavrenning
- Synkehastighet for det partikulære utslippet

Usikkerhetene er fanget opp ved å modellere strømforholdene i et stort område rundt utslippspunket 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.

10.2 Strømmodell

Det kan være variasjon innenfor gitternett som ikke er fanget opp av modellen. 3D-modellen har en oppløsning på omtrent 40 m x 40 m (og grovere) horisontalt i 15 dybdevarierende lag med størst variasjon ved overflaten og nær bunnen. Havstrømmen kan være mer kompleks enn det som fanges opp i modellen. Høyere oppløsning ved overflaten er benyttet for å få modellert sjiktningen i vannlagene detaljert. Nær bunnen er det finere oppløsning enn midt i vannsøylen, men særlig i områder med komplisert og varierende bunntopografi er det ventet at dette vil medføre en usikkerhet.

Med en lokalitet over en bratt skråning er det vanskelig å fange strømmønsteret nær bunn tilstrekkelig ved å bare se på strøm i et punkt. Spesielt vanskelig er bunnstrømmen, som endres mye over korte avstander på grunn av skråningen. Dette gjør det ekstra viktig å modellere strømmen med høy oppløsning over et større område, og ikke bare bruke punktmålinger.

11. Referanser

Albretsen, Jon, Ann Kristin Sperrevik, Andrè Staalstrøm, Anne D. Sandvik, Frode Vikebø, og Lars Asplin. 2011. *NorKyst-800 Repost No.1 User Manual and technical descriptions.* Bergen: Fisken og Havet, Havforskningsinstituttet.

Aquaculture Stewardship Council. 2019. *ASC Salmon Standard.* Utrecht: ASC.

Bannister, R.J., I.A. Johnsen, P.K. Hansen, T. Kutti, og L. Asplin. 2016. «Near- and far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems.» *ICES Journal of Marine Science* 2408-2419.

Cromey, Chris J., Thom D. Nickell, Kenneth D. Black, Paul G. Provost, og Colin R. Griffiths. 2002. «Validation of a fish farm waste resuspension model by use of a particulate tracer discharge from a point source in a coastal environment.» *Estuaries* (Estuaries) 916-929.

Delft3D-FLOW. 2018. *Delft3D Open Source Community.* https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-FLOW_User_Manual.pdf.

Deltares. 2018. https://www.deltares.nl/en/software/delft3d-4-suite/.

Kartverket. 2025. *Kartverket.no.* https://kartverket.no/til-sjos/se-havniva.

Kvitsøy Sjøtjenester AS. 2025a. *Strømmåling Heng 5 - 10 - 15 meter i perioden 2. juni til 3. juli 2025.* 27 sider.

Kvitsøy Sjøtjenester AS. 2025b. *Strømmåling Heng 5 - 10 - 15 meter i perioden 25. april til 1. juni 2025.* 27 sider.

Kvitsøy Sjøtjenester AS. 2025c. *Strømmåling Heng 5 - 10 - 15 meter i perioden 4. juli til 12. august 2025.* 26 sider.

Kvitsøy Sjøtjenester AS. 2025d. *Strømmåling Heng bunnstrøm i perioden 25. april til 1. juni 2025.* 7 sider.

Kvitsøy Sjøtjenester AS. 2025e. *Strømmåling Heng spredningstrøm i perioden 4. juni til 3. juli 2025.* 17 sider.

Lesser, G P, J A Roelvink, J.A.T.M. van Kester, og G. S. Stelling. 2004. «Development and validation of a three-dimensional morphodynamic model.» *Coastal Engineering* 833-915.

Met.no. 2025. *MetCoOp Ensemble Prediction System.* http://thredds.met.no/thredds/metno.html.

Meteorologisk Institutt, Havforskningsinstituttet. 2020. *ROMS NorKyst800m coastal ocean fields.* http://thredds.met.no/thredds/fou-hi/norkyst800m.html.

NVE Atlas. 2025. https://atlas.nve.no/.