

Modellert spredning av kommunalt avløpsvann ved Knarvik

Kunde:

Alver kommune



ÅKERBLÅ

Rapport		
Rapportbeskrivelse og navn	Modellert spredning av utslipp fra kommunalt avløpsvann i Knarvik. 110205009-6001-01-001.pdf	
Rapportversjon	Dato	Beskrivelse
01	28.11.22	Første utgivelse
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	Knarvik	
Kommune	Alver	Fylke Vestland

Sammendrag	
<ul style="list-style-type: none"> ○ Innlagringsdypet er mellom 26 m og 48 m. ○ Den delen av utslippet som når overflaten er svært godt fortynnet. ○ Spredningen fra utslippspunkt i Hagelsundet og Flatøy spres mot Kvernafjorden. ○ Spredning fra utslippspunkt ved den Gamle ferjekaia spres delvis mot Osterfjorden og delvis mot Hagelsundet. ○ Spredningen fra utslippspunkt ved Kvassneset holder seg øst for Hagelsundet. ○ Utslipp fra et nødoverløp i Hagelsundet er ikke sporbart to dager etter utslippet opphører. ○ Utslipp av flytende næringssalt er ikke ventet å påvirke de naturlige bakgrunnsnivåene i fjorden. 	

Oppdragsgiver		
Kunde	Alver kommune; Postboks 4, 5960 FREKHAUG	
Kontaktperson	Arne Helgesen	Arne.Helgesen@alver.kommune.no
Oppdragsansvarlig		
Selskap	Åkerblå AS; Nordfrøyveien 413; 7260 SISTRANDA Organisasjon nr. 963 554 052	
Rapportansvarlig	Lisbeth Håvik	Lisbeth.Havik@akerbla.no
Kontrollert av	Mari Fjalstad Jensen	Mari.Jensen@akerbla.no

Innholdsfortegnelse

1. Innledning	4
2. Områdebeskrivelse	5
3. Metode	7
3.1 Spredning og fortynning	7
3.2 Modellering av primærfortynning	7
3.3 Modellering av sekundærfortynning.....	8
3.4 Modelloppsett og inngangsdata	8
3.4.1 Bunndata og modellstørrelse	8
3.4.2 Inngangsdata primærfortynning.....	10
3.4.3 Inngangsdata sekundærfortynning.....	11
4. Resultat	13
4.1 Innlagringsdyp.....	13
4.2 Gjennomsnittlig påvirkning.....	14
4.3 Daglig spredning ved overflaten.....	15
4.4 Konsentrasjoner av nærings salt	20
4.5 Vurdering av nødoverløp i Hagelsundet	21
5. Konklusjon	24
6. Vedlegg – Resultater fra strømmodellering	25
6.1 Strømresultater.....	25
6.2 Simulert strøm i området rundt lokaliteten	28
6.3 Modellert strøm sammenlignet med målinger.....	29
7. Vedlegg - Havnivå	32
8. Vedlegg - Ferskvannstilsig	34
9. Vedlegg - Usikkerhetsvurdering	35
9.1 Inngangsdata for strømmodell.....	35
9.2 Strømmodell	35
10. Referanser	36

1. Innledning

Åkerblå AS har på oppdrag fra Alver kommune utført modellering av fortynning og spredning av utslippsvann ved planlagt avløpsrenseanlegg for kommunalt avløpsvann i Knarvik.

Formålet med rapporten er å beregne spredning og fortynning av avløpsvann fra 3 mulige utslippsposisjoner; Kvasneset, ved den Gamle ferjekaia i Knarvik og på østsiden av Flatøy. I tillegg er det simulert et utslipp i Hagelsundet, både som permanent utslippspunkt og for å vurdere plasseringen av et nødoverløp i tilfelle driftsstans ved hovedanlegget.

Det er simulert med et utslipp på $0.049 \text{ m}^3/\text{s}$. Konsentrasjonen av suspenderte næringssalt blir beregnet basert på konsentrasjonen i utslippsvannet. Beregningene er gjort for to ulike rensegrader. Dette vurderes opp mot klassegrensene i Miljødirektoratets veileder for klassifisering av miljøtilstand i vann (Direktoratsgruppen vanddirektivet 2018).

Modelleringen presenterer en tilnærming av forholdene basert på inngangsdata. Resultater bør også vurderes ut fra lokalkunnskap og erfaring.

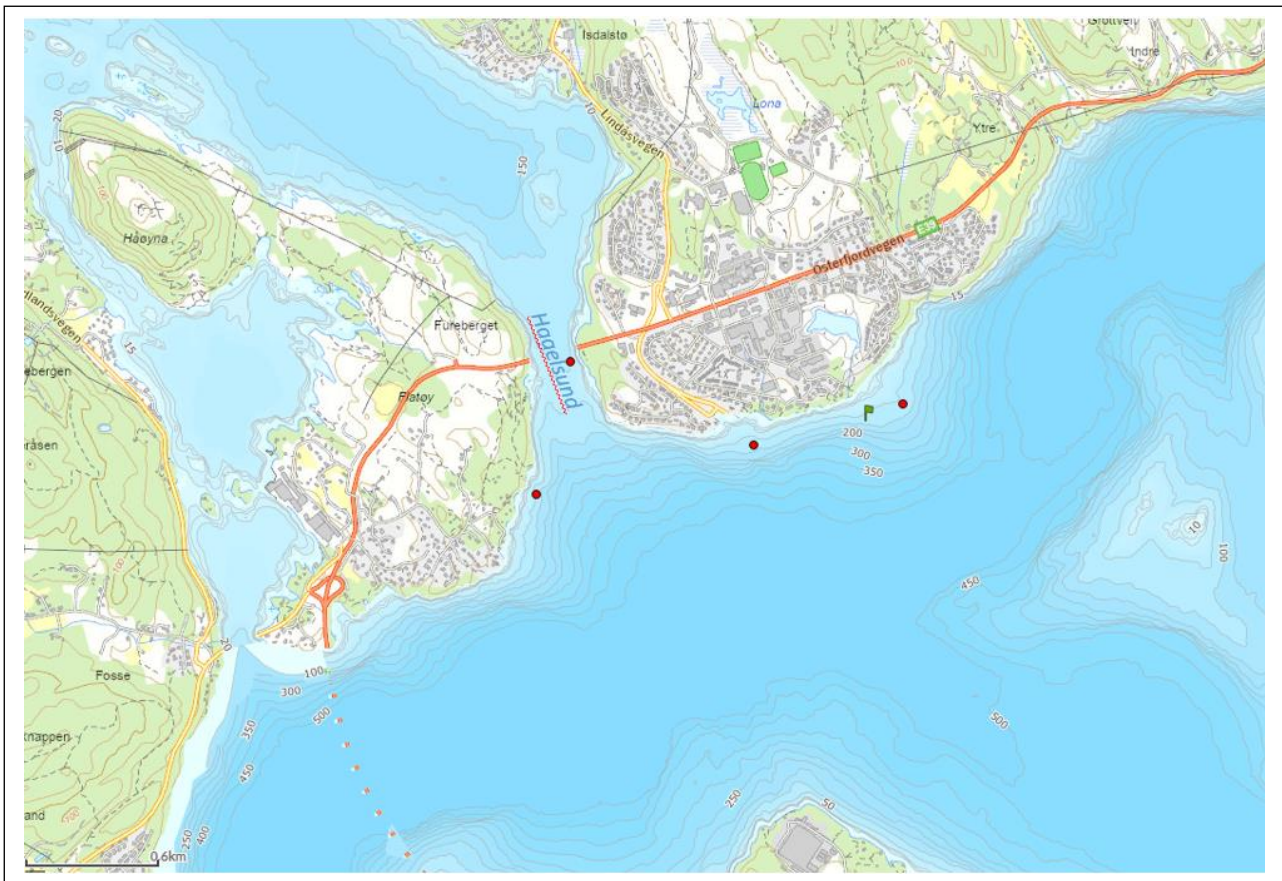
2. Områdebeskrivelse

Tettbebyggelsen Knarvik ligger i Alver kommune i Vestland. Ved Knarvik møtes flere fjordarmer; Osterfjorden fra nordøst, Sørfjorden fra sørøst, Byfjorden fra sørvest og Kvernafjorden fra nordvest (Figur 2.1). Kvernafjorden og Byfjorden skilles av det relativt smale (ca. 200 m) og grunne Hagelsundet. Fra Knarvik og i retning Byfjorden og Osterfjorden er det bratte skråninger mot dyp > 500 m sentralt i fjorden (Figur 2.2).



Figur 2.1: Oversiktskart over området rundt Knarvik. Kartet er hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy. Kartdatum: WGS84.

Det er simulert utslipp fra 4 ulike utslippsposisjoner (Figur 2.2) med varierende dyp fra omkring 52 m i Hagelsundet, til 60 – 70 m ved de andre foreslåtte posisjonene.



Figur 2.2: Oversiktskart over området ved Knarvik. Røde punkt viser posisjoner brukt for utslippet i modelleringen. Grønt flagg viser posisjon for strømmålinger (Uni-Research 2014). Kartet er hentet fra Fiskeridirektoratet. Kartdatum: WGS84.

3. Metode

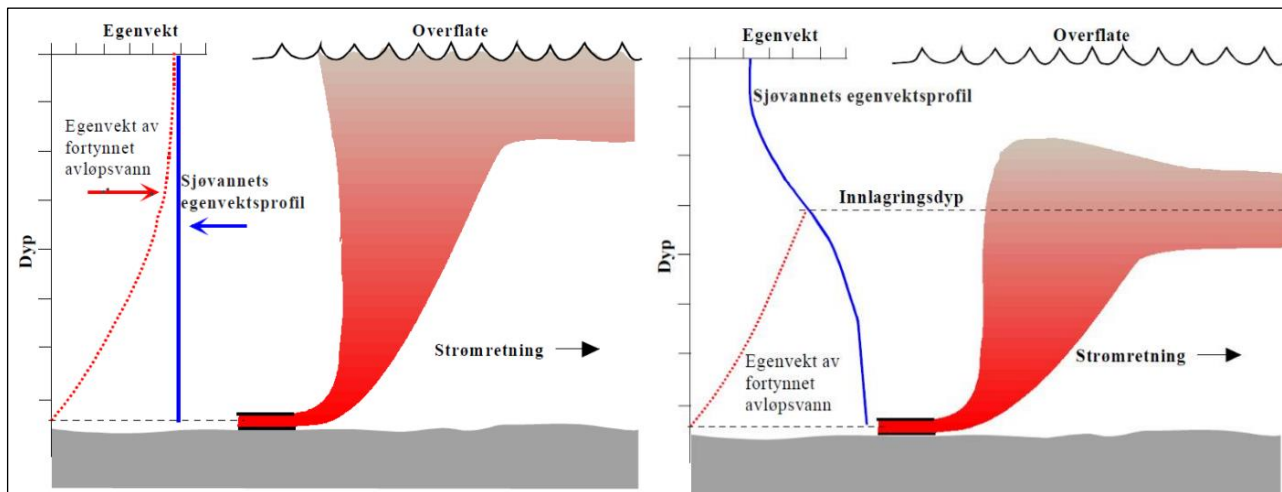
3.1 Spredning og fortykning

Ved utslipp til en resipient er det vanlig å skille mellom to prosesser; primærfortynning og sekundærfortynning (Miljødirektoratet 2013). I den umiddelbare nærheten av utslippet foregår primærfortynningen. Her skjer fortynningen som regel raskt ved turbulent horisontal og vertikal bevegelse drevet av utslippsvannets hastighet ut av utslippsrøret og tetthetsforskjeller mellom utslippsvann og resipient. Når utslippsvannet fortynnes og tetthetsforskjellen er utjevnet, vil den vertikale bevegelsen opphøre og utslippet har da nådd innlagringsdypet. Etter innlagring starter sekundærfortynningen som hovedsakelig er et resultat av horisontal spredning i resipienten. Sekundærfortynningen er avgjørende for hvor stort område som påvirkes av utslippet og om f.eks. strandsoner kan bli påvirket.

I denne rapporten vil resultat fra både primær- og sekundærfortynning av utslippet bli presentert. Etter primærfortynningen i nærheten av utslippspunktet vil utslippsvannet følge strømmen i området og gradvis fortynnes videre.

3.2 Modellering av primærfortynning

Utslippsvann med lav saltholdighet er lettere enn sjøvann og vil stige opp mot overflaten. Det er en relativt rask prosess og foregår i et begrenset område, som regel innenfor noen få titalls meter fra utslippsrøret. Det skjer en innblanding av saltvann underveis slik at tetthetsforskjellen utjevnes. Figur 3.1 illustrerer hvordan innlagring av utslippsvann med lav saltholdighet fra et utslipp ved bunnen foregår (Miljødirektoratet 2013).



Figur 3.1: Illustrasjon av ferskvannsutslipp til sjøvann. Venstre: ingen vertikal lagdeling i sjøen (konstant egenvekt) og utslippet når til overflaten. Høyre: vertikal lagdeling (egenvekten øker med dypet) og innlagringen av utslippsvannet skjer dypere i vannsøylen.

Den vertikale lagdelingen i sjøen er bestemt av saltholdighet og temperatur og dette er med på å avgjøre hvilket dyp det fortynnede utslippsvannet innlagres. Hvis resipienten ikke har betydelig lagdeling kan utslippsvannet trenge gjennom til overflaten (Figur 3.1, venstre). Hvis utslippspunktet er tilstrekkelig dypt og resipienten har vertikal lagdeling (Figur 3.1, høyre), 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 høyere opp i vannsøylen før det synker ned igjen og spres videre horisontalt. Dypet der utslippsvannet er i likevekt med resipienten kalles innlagringsdypet.

Beregning av primærspredning er gjort med den numeriske modellen Visual Plumes, utviklet av U.S. Environmental Protection Agency (Frick 2003).

Informasjon om utslippet som brukes i beregningene er:

- Rørdiameter
- Utslippsvannets saltholdighet og temperatur
- Utslippsmengde

Det trengs følgende informasjon om resipienten:

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

Det største usikkerhetsmomentet i forbindelse med beregning av innlagringsdybde og primærfortynning er saltholdighet i vannsøylen over utslippspunktet. Saltholdigheten kan variere med tidevann, i tillegg til sesongvariasjoner som følge av smeltevann og nedbør. Dette indikerer at ulike innlagringsdyp er sannsynlige basert på årstid og fordeling av ferskvann i vannsøylen.

3.3 Modellering av sekundærfortynning

For å bestemme transport og sekundærspredning av utslippet er det 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 flere dybdenivå. I modellen løses Navier-Stokes-ligningene for strømmen basert på Boussinesq-tilnærmelsen (Lesser, et al. 2004), sammen med ligninger som beskriver temperatur, saltholdighet og spredning av utslipp. 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. Tidssteget i modellen er satt til 30 sekund, og turbulensparametrene er tilpasset området for å få en realistisk beskrivelse av strømmen.

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.

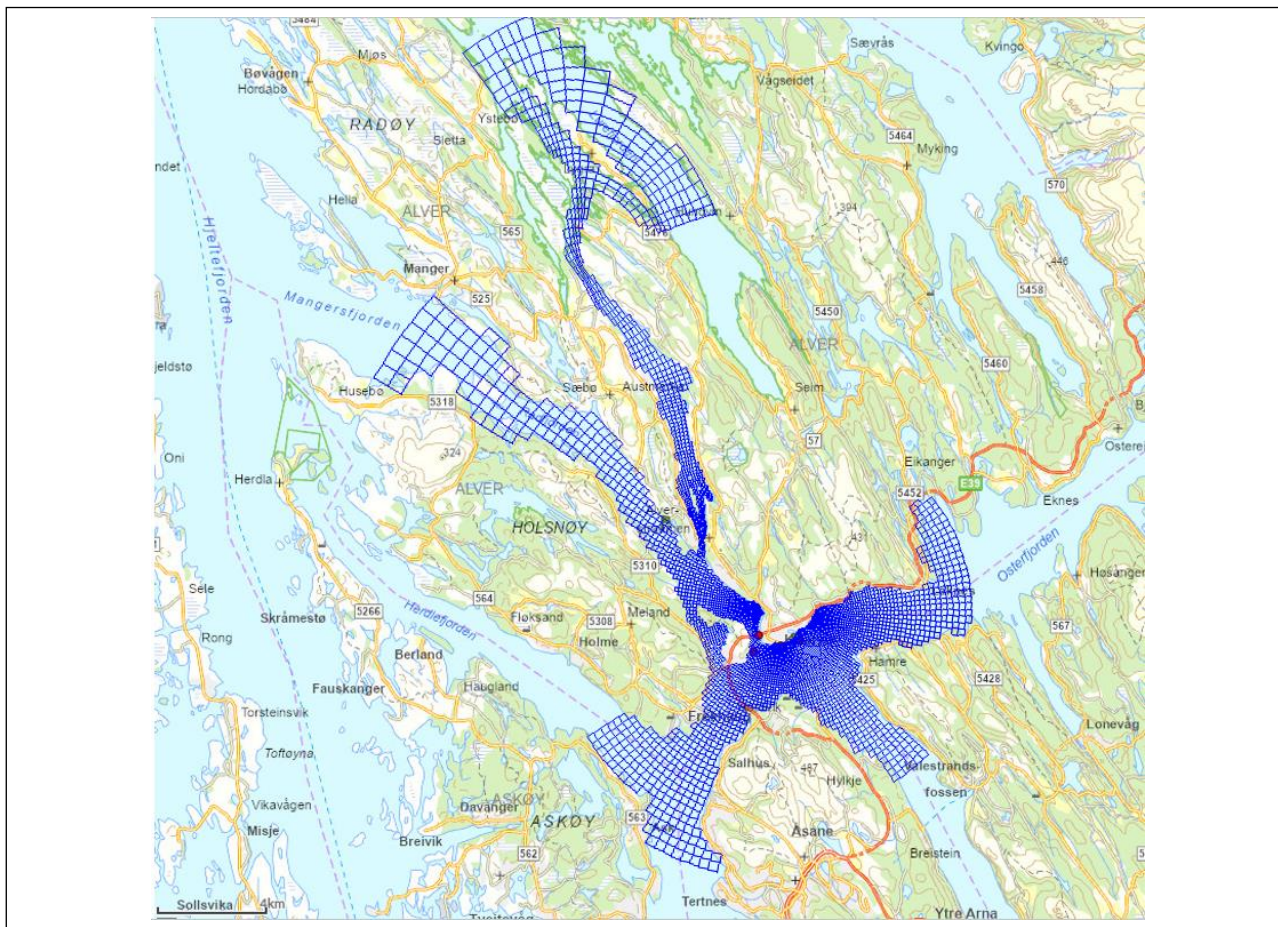
3.4 Modelloppsett og inngangsdata

3.4.1 Bunndata og modellstørrelse

Den tredimensjonale strømmodellen som er laget for området dekker alle fjordarmene rundt Knarvik. For å få gode inngangsdata på grensene strekker modellen seg hele 25 km mot nordvest til Lurefjorden. De andre grensene ligger mellom 6.7 km og 17 km fra Knarvik. Modellen har et horisontalt rutenett med oppløsning på 40 m × 40 m nær Knarvik og avtagende oppløsning utover til maksimalt 620 m × 590 m ved randsonen i nordvest.

For å beskrive variasjon i dybden er det valgt en såkalt sigmamodell med 16 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 lokaliteten er det benyttet bunnoppmålinger oppgitt fra Alver kommune. I grenseområdet er bunntopografien tilpasset dybdenivået i modellen NorKyst800, for å få en konsistent beskrivelse i randsonene.



Figur 3.2: Rutenett benyttet for å modellere spredning fra avløpsanlegget i Knarvik. 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	10	10	28 - 38
8 - 9	24	24	38 - 62
10	10	10	62 - 72
11	8	8	72 - 80
12	6	6	80 - 86
13	5	5	86 - 91
14	4	4	91 - 95
15	3	3	95 - 98
16	2	2	98 - 100

3.4.2 Inngangsdata primærfortynning

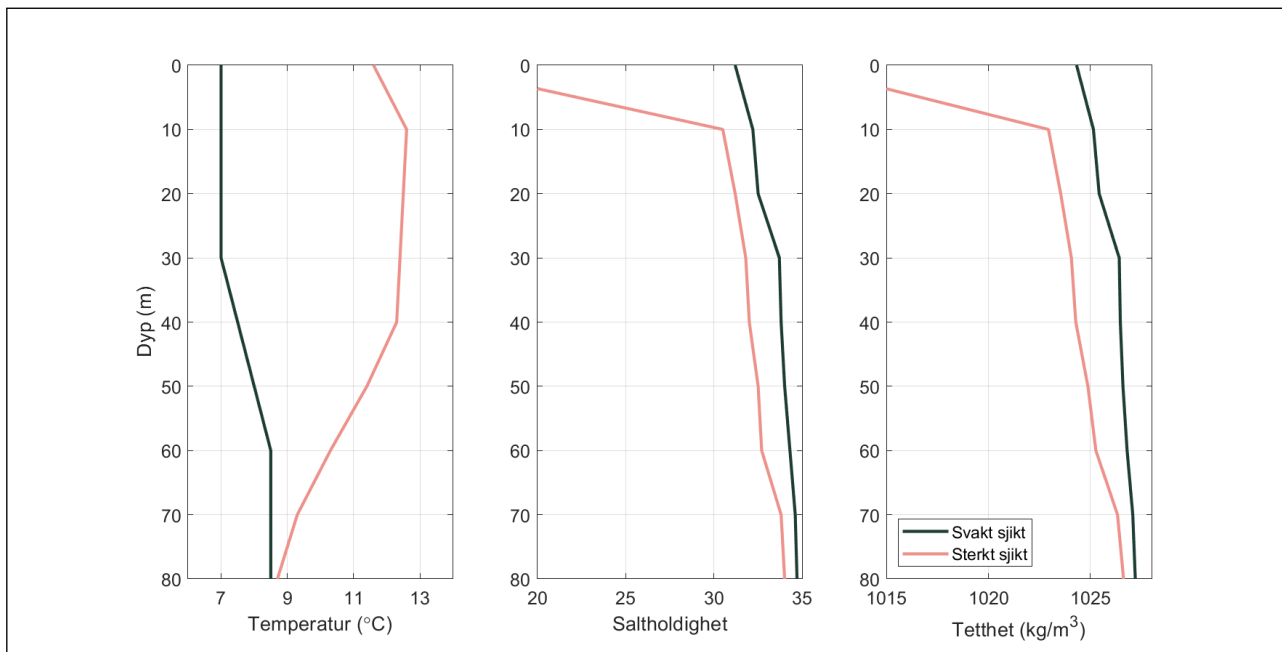
Informasjon om utslippet er listet i Tabell 3.2. Det er beregnet tilførte konsentrasjoner av næringssaltene fosfor og nitrogen for to ulike rensegrader. Rensegraden valgt tilsvarer typiske verdier for 1) mekanisk rensing (15 %) og 2) for krav om fosfor- og nitrogenfjerning etter forurensingsforskriften kapittel 14-2 (90 % for fosfor og 70 % for nitrogen). Konsentrasjonene av fosfor og nitrogen i avløpsvannet er beregnet fra formel presentert i «Utredning av behovet for å redusere tilførselene av nitrogen til Ytre Oslofjord» (NIVA 2022).

Tabell 3.2: Data om utslippet benyttet i modelleringen.

Inngangsdata for primærfortynning	
Rørdiameter	500 mm
Vannføring	0.049 m ³ /s
Saltholdighet	0
Temperatur	10 °C
15 % rensegrad for nitrogen og fosfor	
Konsentrasjon av nitrogen i avløpsvannet	36.14 mg/L
Konsentrasjon av fosfor i avløpsvannet	5.42 mg/L
70 % rensegrad for nitrogen og 90 % for fosfor	
Konsentrasjon av nitrogen i avløpsvannet	12.76 mg/L
Konsentrasjon av fosfor i avløpsvannet	0.64 mg/L

For beregninger av primærfortynning og innlagingsdyp kreves informasjon om strøm, samt hydrografiske profiler, dvs. informasjon om temperatur og saltholdighet med dyp, som inngangsdata. For utslippet i Knarvik er strømdata hentet fra en strømmåleposisjon ved Kvassneset. Dataene var presentert i Resipientovervåking av fjordsystemene rundt Bergen 2011-2015 (Uni-Research 2014). Innlagingsdypet er beregnet for signifikant minimumsstrøm (3 cm/s), gjennomsnittsstrøm (7.8 cm/s) og signifikant maksimumsstrøm (13.7 cm/s).

Gjennomsnittlige hydrografiske profiler er hentet fra <https://data.ices.dk>, som er en åpen kilde til oseanografiske data. I området ved Knarvik er det i løpet av året svakest lagdeling i februar (svarte linjer i Figur 3.3) og sterkest lagdeling i oktober (rosa linjer i Figur 3.3). Profilene i Figur 3.3 er typiske gjennomsnittsprfiler.



Figur 3.3: Gjennomsnittlige vertikale profiler av temperatur, saltholdighet og tetthet for svak lagdeling (svart, februar) og sterk lagdeling (rosa, oktober).

3.4.3 Inngangsdata sekundærfortynning

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 m × 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 2020). Dette er data for vind, temperatur, lufttrykk, luftfuktighet og skydekke, og er gitt med intervall på 3 timer og med oppløsning på 2.5 km × 2.5 km. Også disse dataene interpoleres for å tilpasses gitternettet i strømmodellen.

Informasjon om ferskvannstilførsel fra elvene i området er hentet fra Norges Vassdrags- og Energidirektorat (NVE Atlas 2020) med daglig vannføring i hver elv. 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 kapittel 8.

For å unngå ustabilitet i starten av modellkjøringen er modellen først kjørt med en oppstartsperiode på en måned (desember 2020). Resultatene fra denne kjøringen er deretter brukt som inngangsverdi for den endelige modellkjøringen. Etter oppstartsperioden er strømmodellen kjørt for januar 2021 til og med desember 2021.

Posisjonene som er brukt i simulasjonen av utslippsvann er vist i Figur 2.2 og i Tabell 3.3. Utslipet er simulert med utslippsrate på 0.049 m³/s.

Tabell 3.3: Utslippsposisjoner simulert i modelleringen, samt posisjon for inntakspunkt. Siste kolonne viser bunndyp.

	Posisjon (N)	Posisjon (Ø)	Bunndyp (m)
Utslipp Kvassneset	60° 32.599'	5° 18.120'	60
Utslipp Gamle ferjekai	60° 32.448'	5° 17.423'	70
Utslipp Hagelsund	60° 32.582'	5° 16.476'	52
Utslipp Flatøy øst	60° 32.253'	5° 16.403'	68

4. Resultat

Det er foretatt simulering av utslipp fra de fire ulike utslippsposisjonene for hele 2021 (Figur 2.2). Utslippsraten er satt til 0.049 m³/s. Utslippsmengdene er oppgitt av Alver kommune.

Resultatene er vist med konsentrasjon av utslippsvann på utvalgte dager i løpet av året, og med gjennomsnittsverdi for konsentrasjon for hele året. Spredningen er vist som gjennomsnitt over de øverste 10 m med konsentrasjonsnivå opp til 0.1 ‰. Dette nivået er valgt som en representativ verdi for fortynningen, men merk at nær utslippspunktene vil det være korte perioder med høyere nivå.

Bemerk at 0.1 ‰ er svært lave konsentrasjoner. Til sammenligning vil 1 teskje vann (5 ml) måtte blandes ut i 50 L vann for å gi en konsentrasjon på 0.1 ‰. Gjennomsnittskonsentrasjonene er lavere enn 0.1 ‰ for alle utslippspunkt.

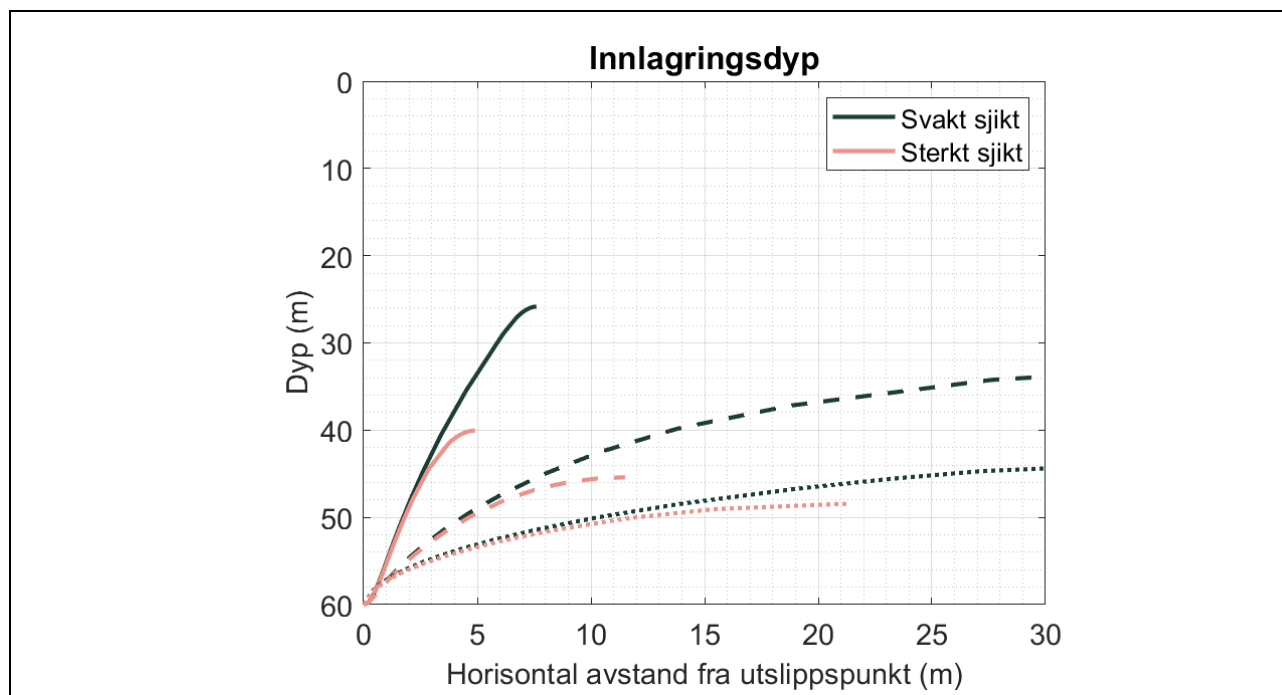
Ut fra innholdet av oppløst nitrogen og fosfor i utslippet og fortynningsgraden av utslippsvannet, er tilført mengde av disse stoffene i resipienten beregnet for to ulike rensegrader (Tabell 3.2). Konsentrasjonene vil bli vurdert opp mot Tabell 9.26 i «Klassifisering av miljøtilstand i vann» (Direktoratsgruppen vanndirektivet 2018).

Effekten av et mulig nødoverløp i Hagelsundet er beregnet ved å slippe ut vannet i Hagelsundet over fem dager, og så se spredningen og fortynningen i overflaten på dag 6.

4.1 Innlagringsdyp

Innlagringsdypet er beregnet for to ulike vertikallprofiler (Figur 3.3) for tre ulike strømhastigheter. Innlagringsdypet varierer mellom 26 m (svak strøm og svakt sjikt) og 48 m (sterk strøm og sterkt sjikt, Figur 4.1), beregnet fra et utslipp fra 60 m.

Videre i rapporten analyseres spredning av utslippsvann fra innlagringsdypet beregnet med svakt sjikt og svak strømhastighet (26 m for et utslipp på 60 m). Dette er den løsningen som gir størst påvirkning på overflatevannet og gir dermed en konservativ tilnærming. I sekundærfortynningen vil sjiktningen og strømhastighetene variere både i tid og rom. Dette fører til at utslippet fortynnes og spres både horisontalt og vertikalt.



Figur 4.1: Beregnet innlagringsdyp med vertikallprofilene vist i Figur 3.3. Heltrukne linjer viser svak strøm (3 cm/s), stiplede linjer gjennomsnittsstrøm (7.8 cm/s) og prikkete linjer sterk strøm (13.7 cm/s).

4.2 Gjennomsnittlig påvirkning

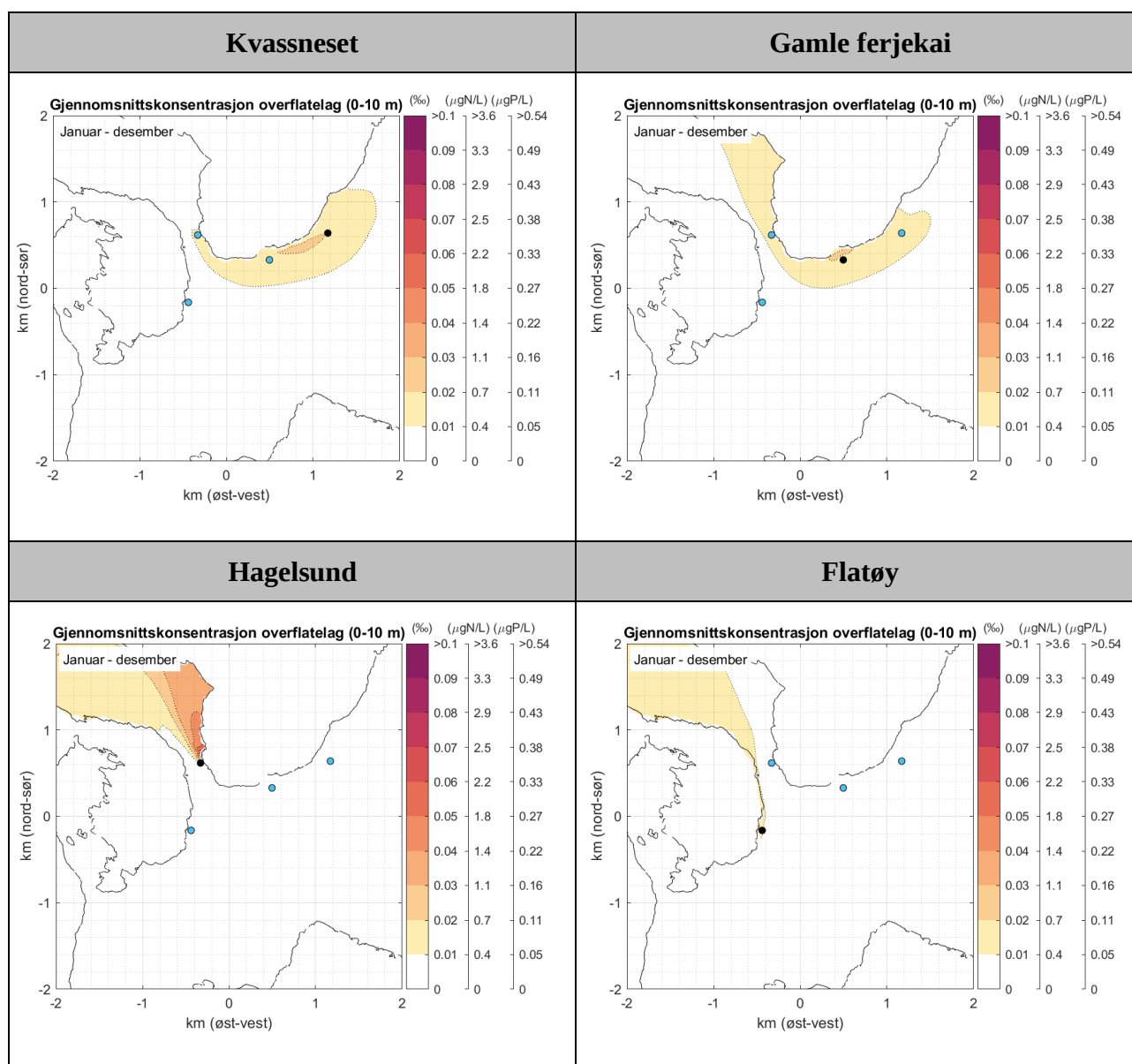
Spredningen av utslipp varierer i løpet av døgnet og påvirkes av tidevannet og vindpådraget. For å finne ut i hvor stor grad fjorden blir berørt av utslipp, er gjennomsnittlig konsentrasjon i løpet av året, over hele modellområdet, beregnet for alle utslippsposisjonene.

Utslippsmengdene fra det kommunale avløpsanlegget i Knarvik er lave, og gjennomsnittskonsentrasjonen av avløpsvann er dermed svært lav (< 0.1 ‰) for alle utslippspunkt (Figur 4.2).

For utslippet ved Kvasneset er det forhøyede konsentrasjoner både mot nordøst mot Osterfjorden, og mot sørvest i retning Hagelsundet. Et utslipp ved den Gamle ferjekaia vil gi noe spredning langs land mot nordøst og til Kvasneset, og ha en komponent som går inn og gjennom Hagelsundet (Figur 4.2).

Både utslippet i Hagelsundet og utslippet øst for Flatøy blir tydelig styrt gjennom Hagelsundet og i retning Kvernafjorden. Det er i begge tilfellene svært lave konsentrasjoner, men et utslipp i selve Hagelsundet er det som gir størst påvirkning i de øverste 10 m. Maksimalverdien av gjennomsnittskonsentrasjonen fra et utslipp i Hagelsundet er 0.05 ‰. Dette er svært lavt.

I Figur 4.2 vises konsentrasjoner av nitrogen og fosfor for den laveste rensegraden på henholdsvis akse i midten og akse til høyre. En vurdering av tilført av nærings salt kommer i avsnitt 4.4.



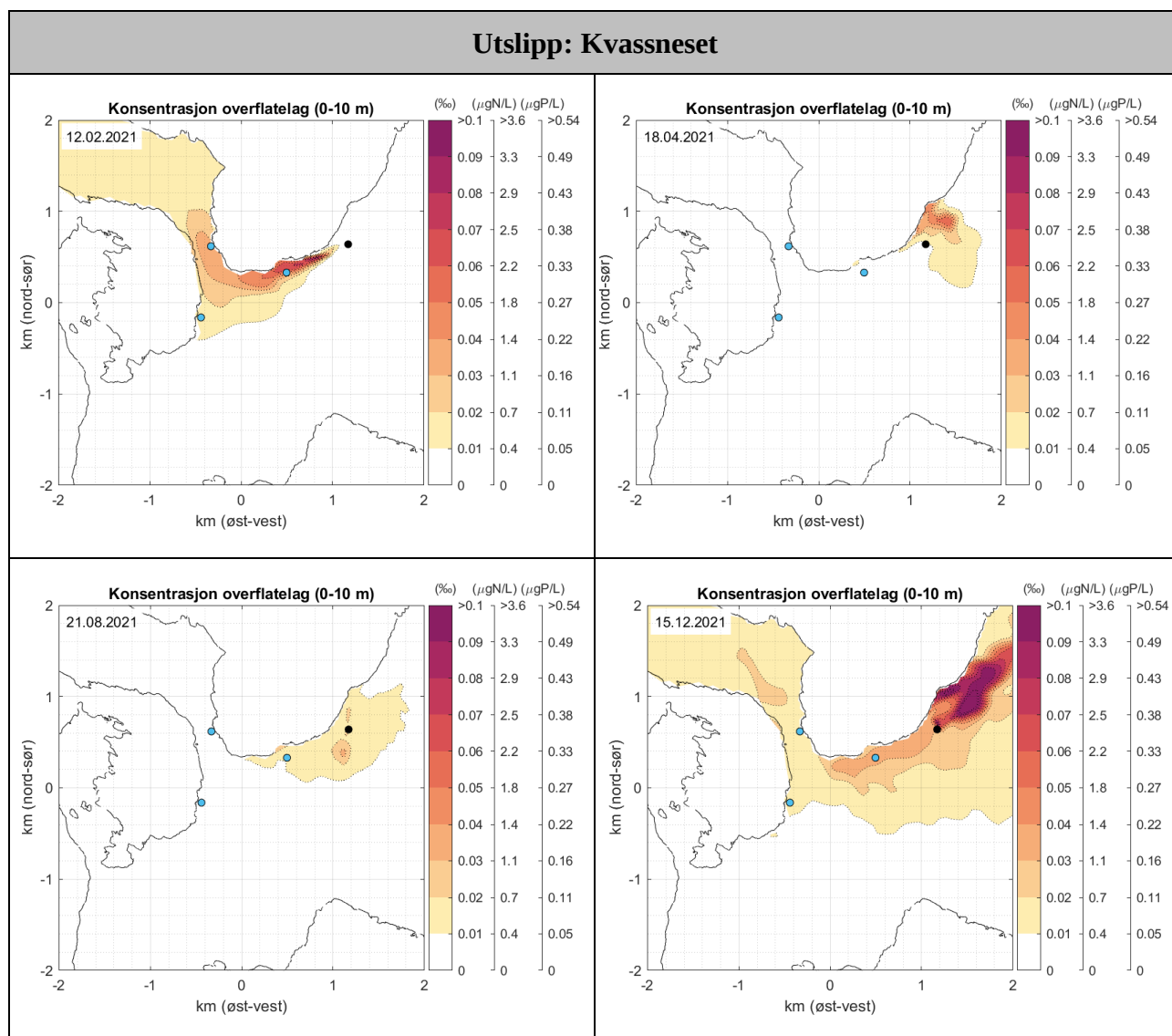
Figur 4.2: Gjennomsnittlig konsentrasjon på overflaten 01.01.2021 – 31.12.2021 for de fire ulike utslippsposisjonene. Konsentrasjoner av utslippsvann er vist med fargeskala fra 0 til 0.1 ‰, konsentrasjon av nitrogen ($\mu\text{gN/L}$) er vist på skala i midten, og konsentrasjon av fosfor ($\mu\text{gP/L}$) for laveste rensesgrad er vist på skala til høyre (se avsnitt 4.4). Utslippspunktet er vist med svart prikk, og de andre posisjonene med lyseblå prikker.

4.3 Daglig spredning ved overflaten

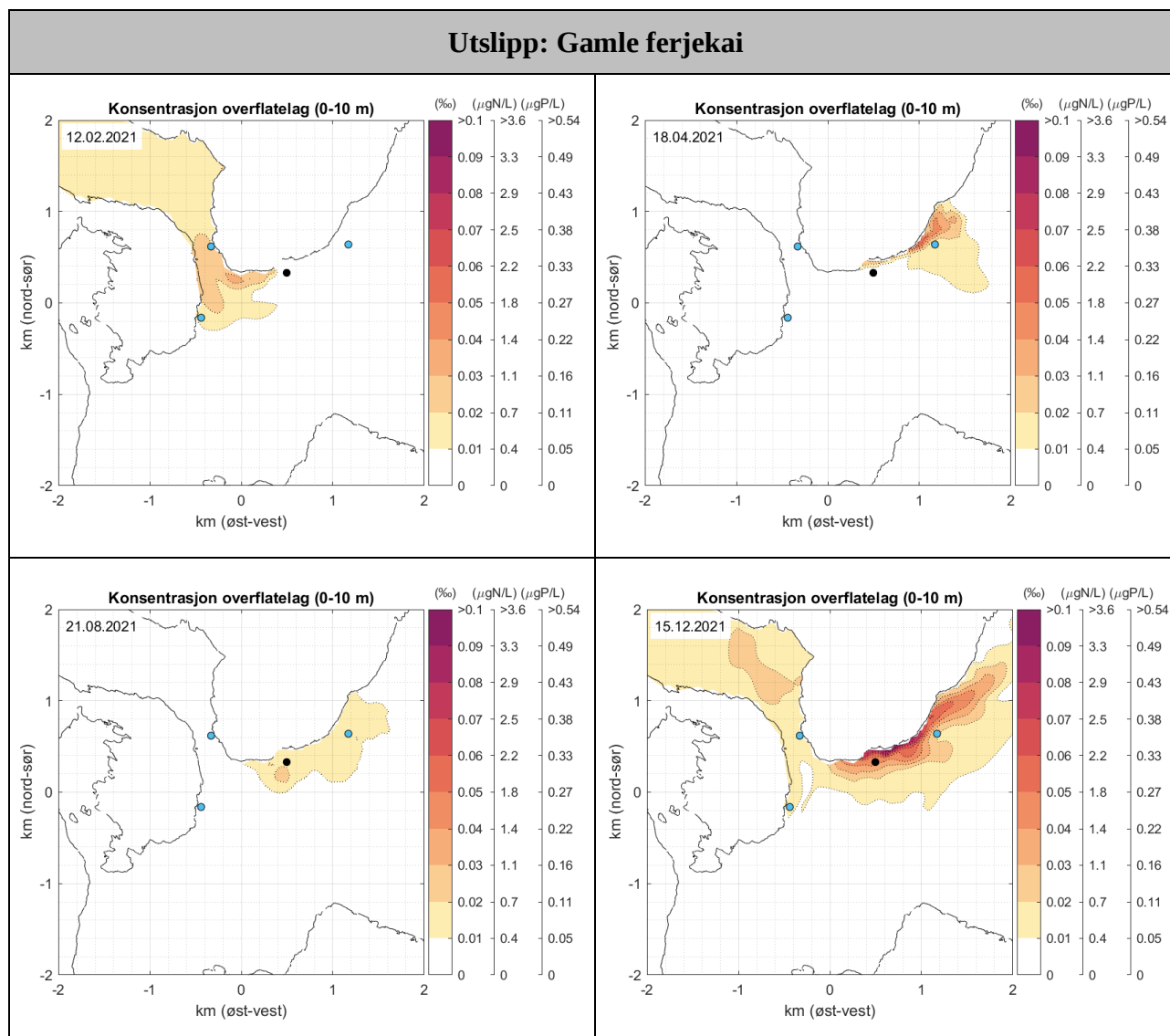
Spredningen av utslipp varierer i løpet av den simulerte perioden og påvirkes av tidevannet og direkte påvirkning fra vind. Figur 4.3 - Figur 4.6 viser konsentrasjonen av utslippsvann i overflaten for fire utvalgte dager gjennom året for de ulike utslippspunktene. Disse dagene er valgt grunnet ulike strømforhold og spredning. Konsentrasjonen er volumandelen (‰) av utslippsvann i resipienten.

Utslipet fra både Kvasneset og den Gamle ferjekai veksler mellom å spres mot nordøst mot Osterfjorden og mot sørvest i retning Byfjorden (Figur 4.3 og Figur 4.4). Enkelte dager er det også spredning mot Sørfjorden. De dagene det er spredning mot sørvest er det også ofte spredning gjennom Hagelsundet. Konsentrasjonene i overflatelaget avhenger av lagdelingen i fjorden, og det er dager der utslippsvannet kun opptrer i svært lave konsentrasjoner ved overflaten, og dager der det er større gjennombrudd og høyere konsentrasjoner. I alle tilfellene er det svært lave konsentrasjoner av utslippsvann ved overflaten.

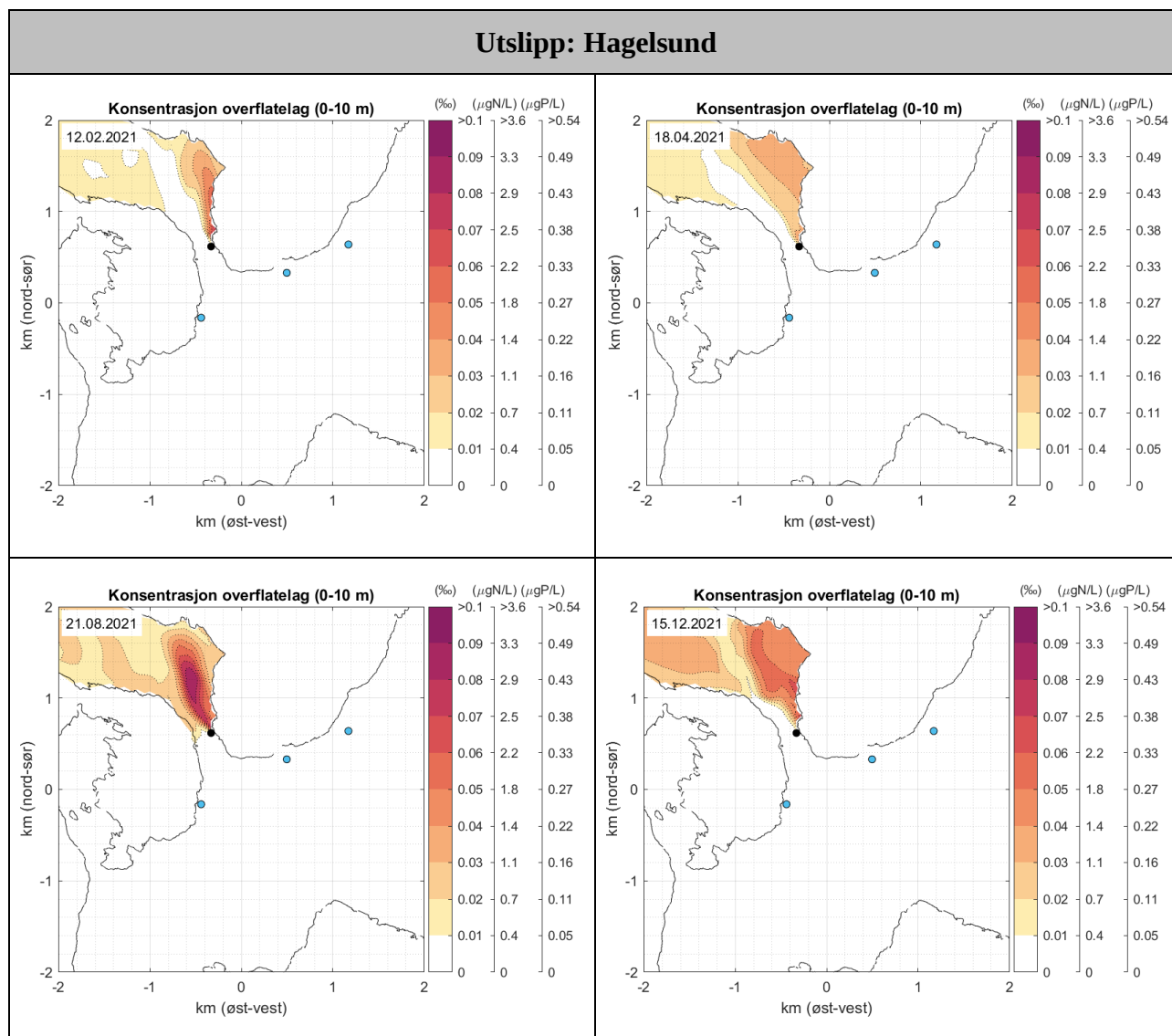
For utslippsposisjonene Hagelsund og Flatøy er det tydelig strøm gjennom Hagelsundet og mot Kvernafjorden i de øverste 10 m (Figur 4.5 og Figur 4.6). Konsentrasjonene er også her svært lave, men utslippet fra Hagelsundet viser en større påvirkning på overflatevannet. Dette er forventet siden utslippet ligger grunnere i Hagelsundet, sammenlignet med de andre utslippsposisjonene.



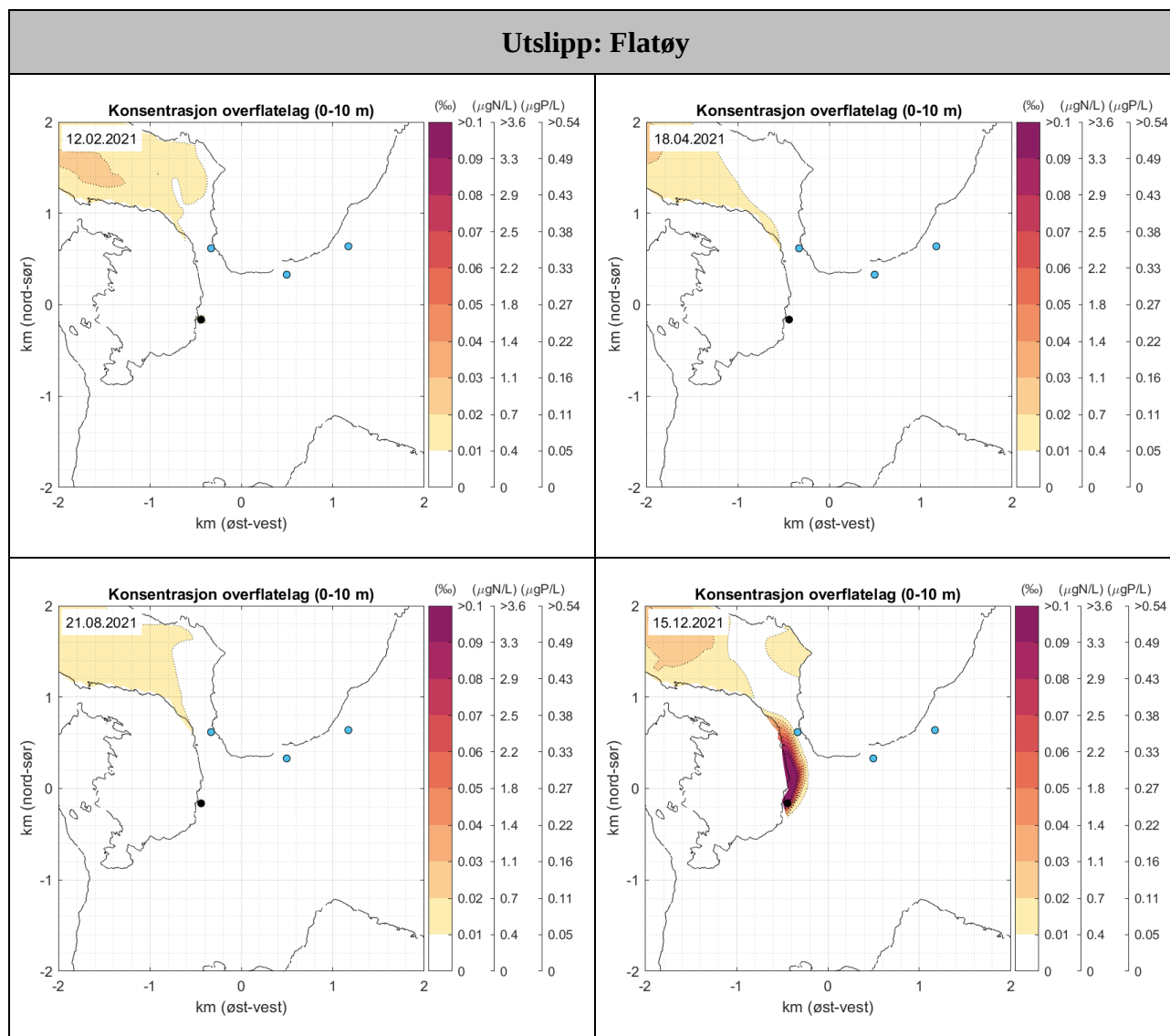
Figur 4.3: Konsentrasjon av utslippsvann for de øverste 10 m (fra Kvasneset, Figur 2.2) og tilsvarende verdier for nitrogen og fosfor for laveste rensegrad, på dagene 12.02, 18.04, 21.08 og 15.12.21. Konsentrasjoner av utslippsvann er vist med fargeskala opp til 0.1 ‰, konsentrasjon av nitrogen ($\mu\text{gN/L}$) er vist på skala i midten, og konsentrasjon av fosfor ($\mu\text{gP/L}$) er vist på fargeskala til høyre. Utslippspunktet er vist med svart prikk, og de andre posisjonene med lyseblå prikker.



Figur 4.4: Konsentrasjon av utslippsvann for de øverste 10 m (fra Gamle ferjekai, Figur 2.2) og tilsvarende verdier for nitrogen og fosfor for laveste rensesgrad, på dagene 12.02, 18.04, 21.08 og 15.12.21. Konsentrasjoner av utslippsvann er vist med fargeskala opp til 0.1 ‰, konsentrasjon av nitrogen ($\mu\text{gN/L}$) er vist på skala i midten, og konsentrasjon av fosfor ($\mu\text{gP/L}$) er vist på fargeskala til høyre. Utslippspunktet er vist med svart prikk, og de andre posisjonene med lyseblå prikker.



Figur 4.5: Konsentrasjon av utslippsvann for de øverste 10 m (fra Hagelsund, Figur 2.2) og tilsvarende verdier for nitrogen og fosfor for laveste rensesgrad, på dagene 12.02, 18.04, 21.08 og 15.12.21. Konsentrasjoner av utslippsvann er vist med fargeskala opp til 0.1 ‰, konsentrasjon av nitrogen ($\mu\text{gN/L}$) er vist på skala i midten, og konsentrasjon av fosfor ($\mu\text{gP/L}$) er vist på fargeskala til høyre. Utslippspunktet er vist med svart prikk, og de andre posisjonene med lyseblå prikker.



Figur 4.6: Konsentrasjon av utslippsvann for de øverste 10 m (fra Flatøy, Figur 2.2) og tilsvarende verdier for nitrogen og fosfor for laveste rensegrad, på dagene 12.02, 18.04, 21.08 og 15.12.21. Konsentrasjoner av utslippsvann er vist med fargeskala opp til 0.1 ‰, konsentrasjon av nitrogen ($\mu\text{gN/L}$) er vist på skala i midten, og konsentrasjon av fosfor ($\mu\text{gP/L}$) er vist på fargeskala til høyre. Utslippspunktet er vist med svart prikk, og de andre posisjonene med lyseblå prikker.

4.4 Konsentrasjoner av nærings salt

For å kunne vurdere miljøpåvirkningen av utslippet i resipienten er konsentrasjonsnivået av nitrogen og fosfor beregnet. Dette er basert på innholdsmengden av nærings saltene i utslippsvannet og fortynningen i resipienten. I «Veileder for Klassifisering av miljøtilstand i vann» (Direktoratsgruppen vanddirektivet 2018) er grenseverdier for ulike tilstandsklasser gitt i Tabell 9.26. Disse grenseverdiene er gitt for overflatelaget, for vinter og sommer. Myndighetene har satt som mål at alle vannforekomster skal ha miljøtilstand «God» eller «Svært god» (Vannforskriften, (2021)).

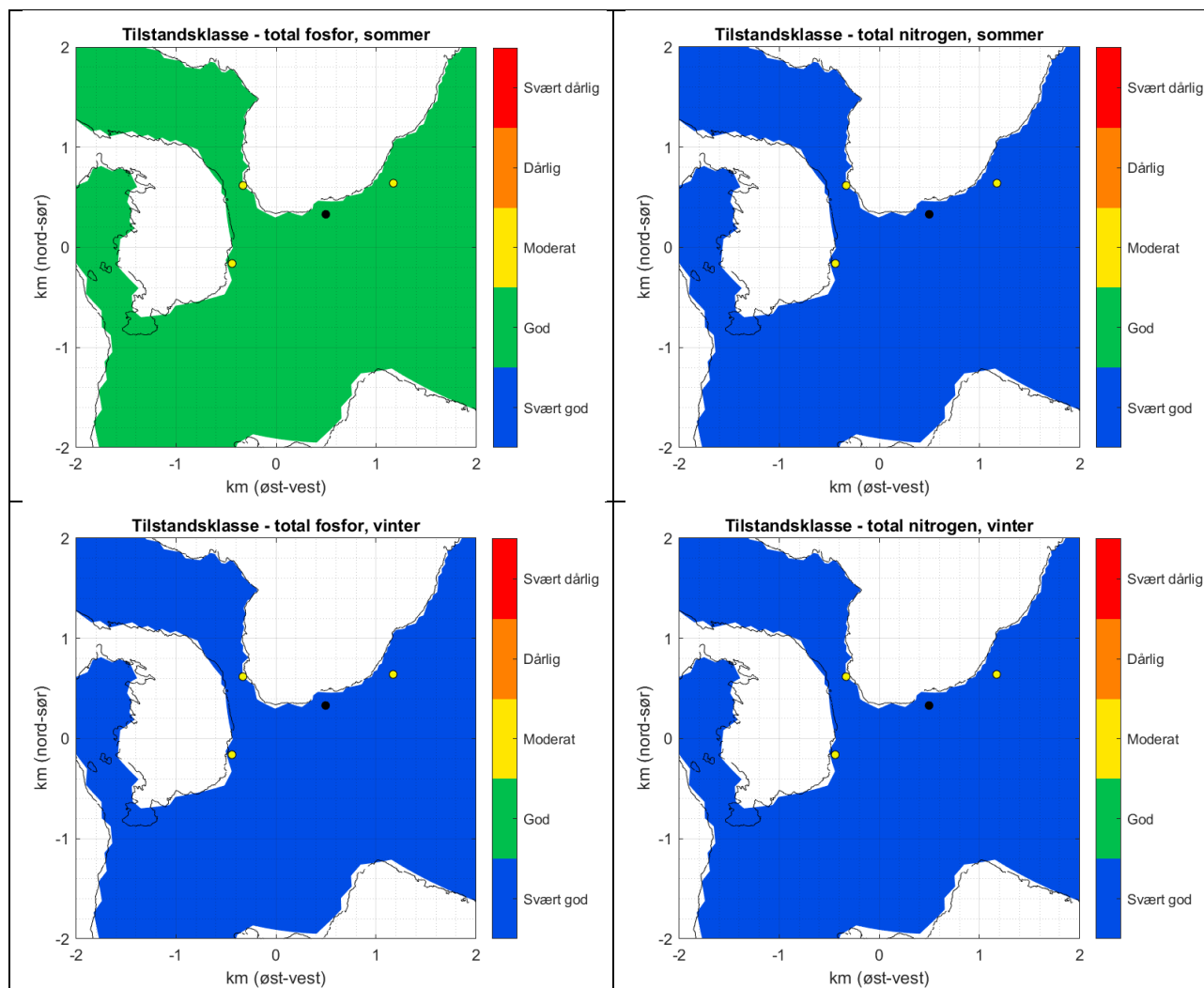
I Byfjordsundersøkelsen (Uni-Research 2014) ble det presentert resultat fra mange vannprøver fra fjordsystemene rundt Bergen, og også fra stasjoner ved Knarvik. For prøvestasjonen ved Kvassneset var tilstandsgraden for total nitrogen «Svært god» hele året. Tilsvarende viste verdiene for total fosfor «Svært god» tilstandsgrad om vinteren, og mellom «Svært god» og «God» om sommeren. Som konservativt estimat brukes derfor «God» videre som bakgrunnsnivå for total fosfor om sommeren. For total nitrogen (sommer og vinter) og fosfor vinter brukes «Svært god» som bakgrunnsnivå.

Konsentrasjonen av nitrogen og fosfor i utslippsvannet avhenger av rensegraden som blir valgt for det nye rensesanlegget. Spredningen av nærings salt følger samme mønster som utslippet for øvrig. Ved laveste rensing (15 % for både nitrogen og fosfor) vil en konsentrasjon av avløpsvann på 0.1 ‰ i overflaten tilsvare en økning i konsentrasjonen av nærings saltene på 3.6 µgN/l og 0.6 µgP/l. Tilsvarende for en høyere rensegrad (70 % for nitrogen og 90 % for fosfor) vil en konsentrasjon av avløpsvann på 0.1 ‰ i overflaten tilsvare en økning i konsentrasjonen av nærings saltene på 1.3 µgN/l og 0.06 µgP/l. I gjennomsnitt er overflatekonsentrasjonen lavere enn 0.1 ‰, men i kortere perioder vil det kunne være høyere konsentrasjoner.

I vurderingen av påvirkningen fra utslippet i Knarvik på konsentrasjonen av nærings salt i fjorden legges tilførte nærings salt fra utslippet til gjennomsnittsverdiene for bakgrunnsnivåene (Tabell 4.1). Denne summen gir informasjon om det er forventet at den tilførte mengden nærings salt endrer tilstandsgraden for nærings salt i fjorden. Figur 4.7 viser det at det ikke er noen tilfeller der tilstandsgraden endres på grunn av utslippet fra avløpsanlegget i Knarvik basert på et utslipp fra posisjonen ved den Gamle ferjekaia. Figurene for de andre utslippsposisjonene ser like ut som Figur 4.7. Beregningene i Figur 4.7 er gjort for laveste rensegrad, og høyeste rensegrad vil gi samme resultat for tilstandsgrad.

Tabell 4.1: Oversikt over gjennomsnittlig tilstandsgrad ved Knarvik basert på Byfjordundersøkelsen (Uni-Research 2014).

	Tilstand sommer	Gjennomsnitt sommer	Tilstand vinter	Gjennomsnitt vinter
Nitrogen	«Svært god»	< 250 µg/L	«Svært god»	< 291 µg/L
Fosfor	«God»	13.75 µg/L	«Svært god»	< 20 µg/L

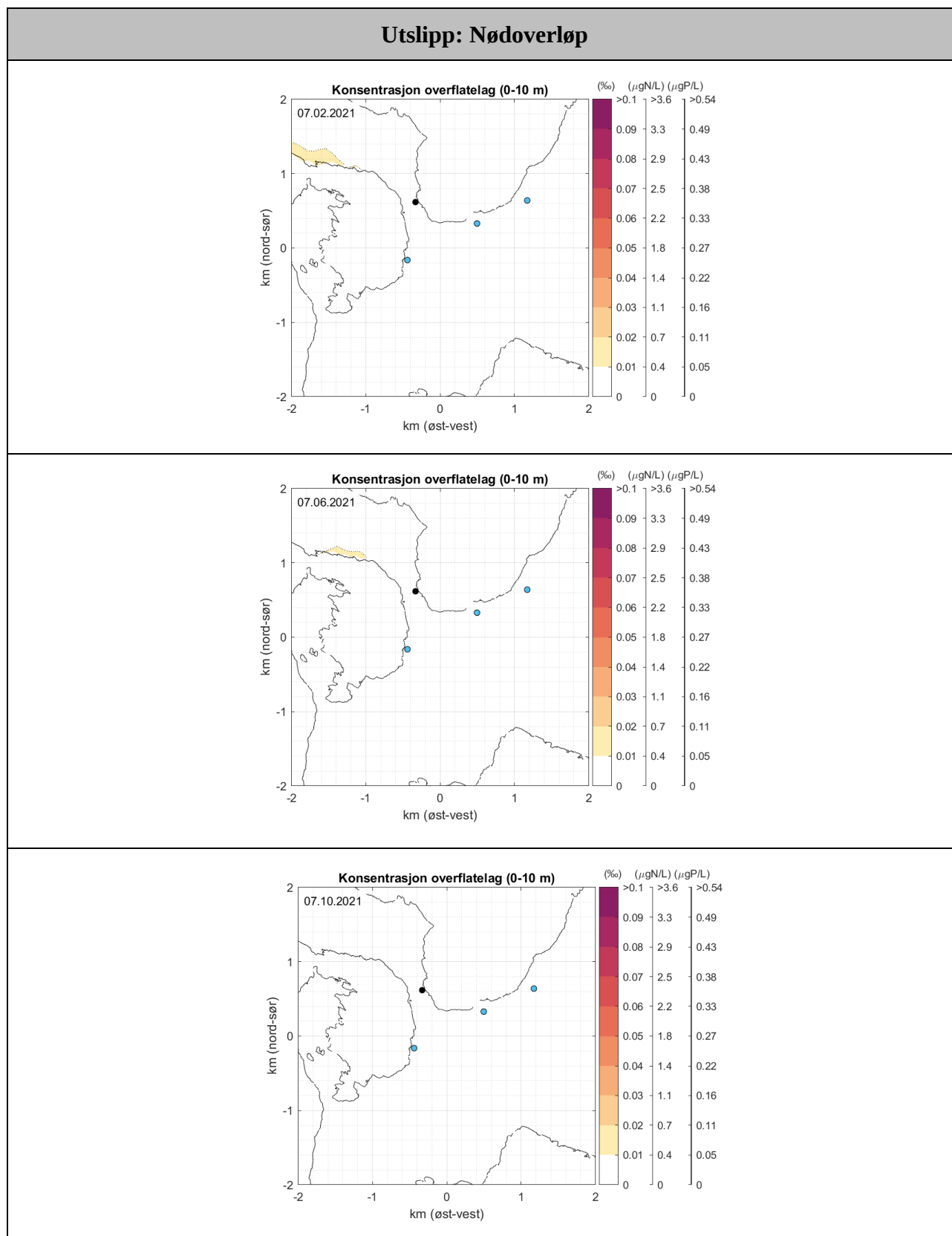


Figur 4.7: Kart over tilstandsklasse for summen av gjennomsnittlig bakgrunnsnivå og gjennomsnittlig tilført mengde næringssalter fra utslippet ved Gamle ferjekai. Beregningen er gjort med laveste rensegrad. Utslippspunktet er vist med svart prikk, og de andre posisjonene med gule prikker.

I denne modelleringsrapporten vurderes bare tilført mengde fra utslippet i forhold til klassegrensene og ikke direkte målinger av nitrogen og fosfor. For å endelig bestemme forventet konsentrasjon av næringssalt i resipienten må observerte bakgrunnsnivå sammenlignes med tilførte næringssalt fra utslippet.

4.5 Vurdering av nødoverløp i Hagelsundet

Ved rensenanlegget i Knarvik planlegges det for et nødoverløp i Hagelsundet i tilfelle driftstans ved hovedanlegget. For å vurdere påvirkningen fra et slikt nødoverløp ble hele utslippet fra rensenanlegget sluppet ut i Hagelsundet i fem dager i strekk på tre ulike tidspunkt i løpet av året. Påvirkningen blir vurdert ved å se hvilke konsentrasjoner av avløpsvann som er igjen i området dagen etter utslippet stoppet.



Figur 4.8: Konsentrasjon av utslippsvann dagen etter at et utslipp som representerer nødoverløp har stått på i Hagelsundet i 5 dager. På aksene i midten og til høyre er tilsvarende verdier for nitrogen og fosfor for laveste rensesgrad. Dagene 07.02, 07.06 og 07.10.21 er vist. Konsentrasjoner av utslippsvann er vist med fargeskala opp til 0.1 %. Utslippspunktet er vist med svart prikk, og de andre posisjonene med lyseblå prikker.

Dagen etter utslippet fra nødoverløpet er stoppet er det kun spor av utslippsvann på nordsiden av Flatøy for utslippet i februar og juni. I oktober er det ingen spor igjen av utslippet. Dette avhenger av lagdelingen i sundet, og strømforholdene. Det er ikke ventet at bruken av et nødoverløp i Hagelsundet vil ha noen varige negative konsekvenser.

5. Konklusjon

En beregning av innlagringsdypet for et utslipp på 60 m viser at selv med en konservativ tilnærming (svak lagdeling og lav strøm) vil utslippet ikke nå overflaten i primærspredningen og innlagres ved 26 m. Dette gjør at det blir svært lave konsentrasjoner av utslippsvann som når overflaten gjennom sekundærspredningen.

Konsentrasjonene av avløpsvann i de øverste 10 m vil i gjennomsnitt være under 0.1 ‰ ved utslipp fra alle posisjonene analysert i denne rapporten. Dette er svært lave konsentrasjoner. Spredningen fra utslippspunkt i Hagelsundet og Flatøy øst spres mot Kvernafjorden. Spredning fra utslippspunkt ved den Gamle ferjekaia spres delvis mot Osterfjorden og delvis mot Hagelsundet, mens spredningen fra utslippspunkt ved Kvassneset holder seg øst for Hagelsundet. Det er størst påvirkning i de øverste 10 m fra en utslippsposisjon i Hagelsundet. Dette er et resultat av at det her er grunnere. Det er ingen tegn til opphoping av avløpsvann fra noen av utslippsposisjonene og utslippet fortynnes raskt bort fra utslippsposisjonene.

I gjennomsnitt er tilførselen av nitrogen og fosfor i de øverste 10 m svært lave. Ved laveste rensegrad vil tilførselen av ekstra næringssalt ikke påvirke miljøtilstanden i fjorden, og med utgangspunkt i tilstandsgraden (Uni-Research 2014) og klassegrensene for innhold av totalt nitrogen og total fosfor (Direktoratsgruppen vanddirektivet 2018) konkluderes det med at det er lite sannsynlig at dette utslippet vil endre tilstandsgraden for nitrogen og fosfor i fjorden, selv med laveste rensegrad.

Utslipp fra et nødoverløp i Hagelsundet ble simulert med utslipp over 5 dager, og analysert for konsentrasjoner av avløpsvann på dag 6. Det er kun spor av utslipp på nordsiden av Flatøy i februar og juni, ellers er det ikke spor av utslippsvann dagen etter utslippet opphører. Etter to dager er det ingen spor av utslippet i hele området.

6. Vedlegg – Resultater fra strømmodellering

6.1 Strømresultater

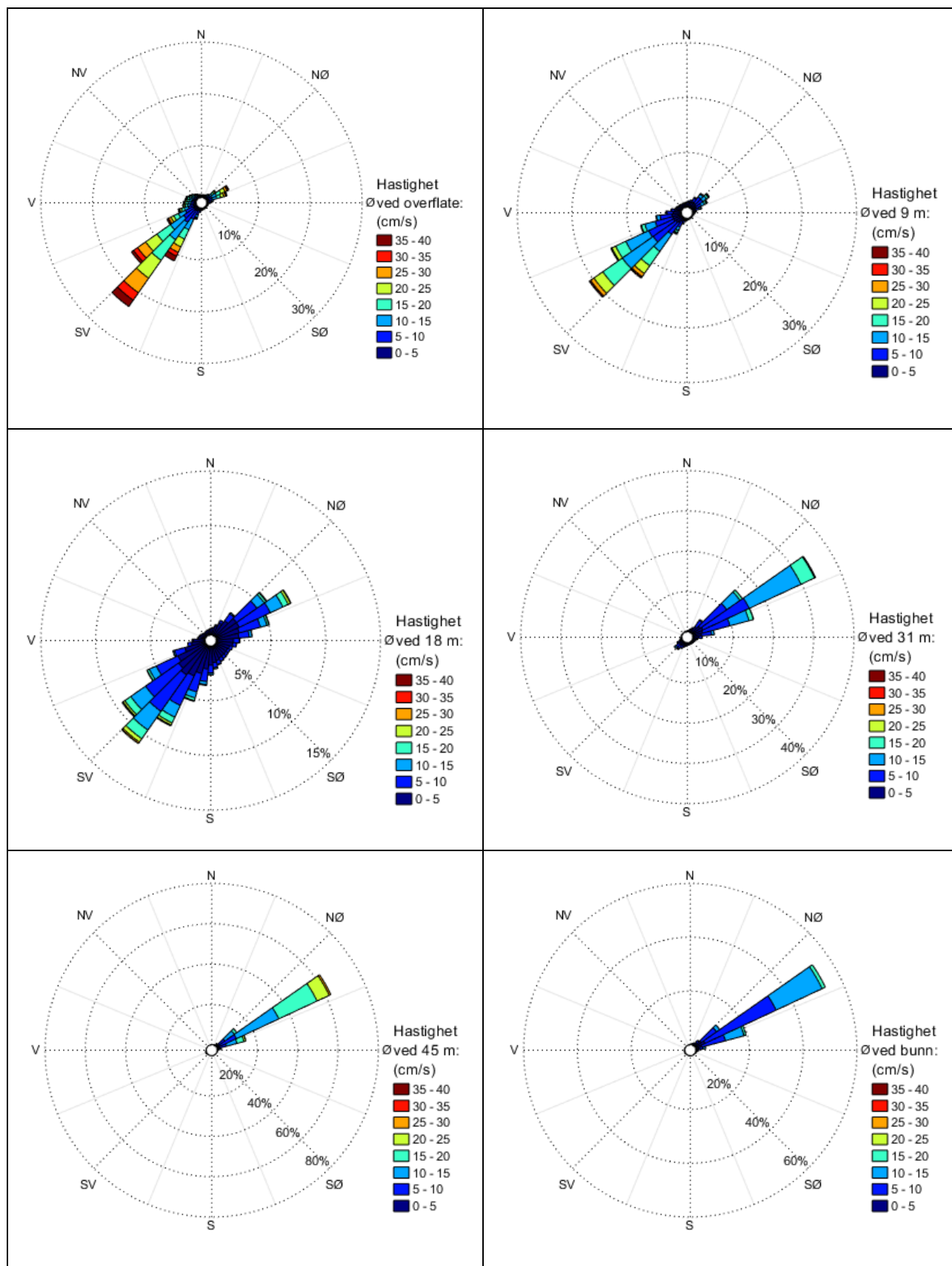
Tabell 6.1 viser modellerte strømdata fra posisjonen markert med grønt flagg ved Kvassneset i Figur 2.2. Gjennomsnittshastigheten er 15.5 cm/s på 1 m dyp, og den signifikante makshastigheten 26.6 cm/s. Strømhastigheten avtar med dypet til et minimum ved 18 m, før den øker svakt igjen mot bunnen. Nær bunnen har strømmen en gjennomsnittshastighet på 8.2 cm/s.

Strømrosene viser at den dominerende retningen er mot sørvest i de øverste vannlagene (Figur 6.1). Videre i dypet snur strømmen mot nordøst. Dette tyder på at sirkulasjonen i fjorden er drevet som et ferskvannspåvirket tolagssystem, med innstrømmende vann i dypet og utstrømmende vann nær overflaten.

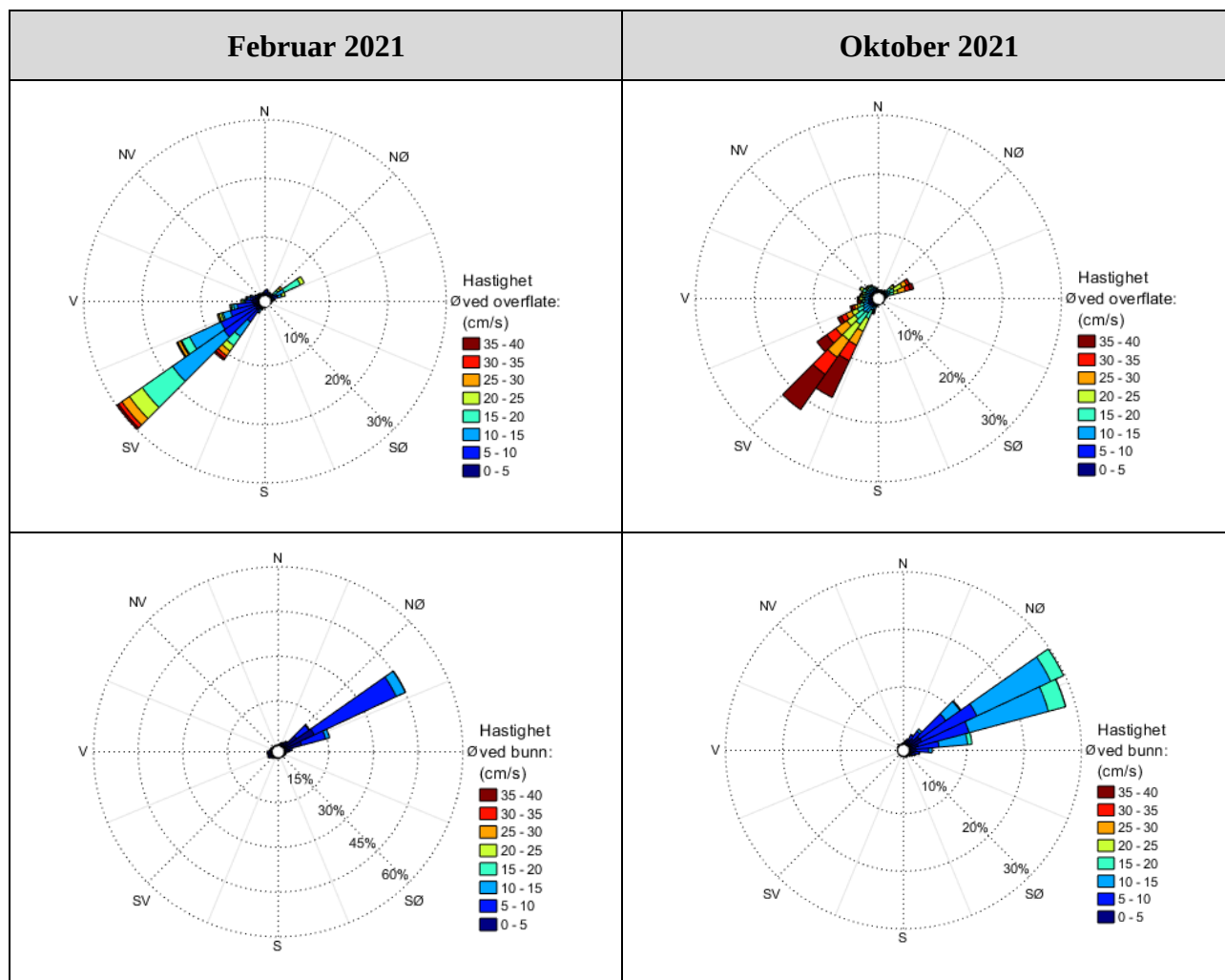
Styrken på strømmen varierer gjennom året. Hastigheten i overflaten har størst variabilitet av alle dyp som følge av pådrag fra varierende vindmønster. En sammenligning mellom modellert strøm for februar og oktober 2021 ved to ulike dyp viser at særlig strømstyrken kan variere mellom de ulike tidsperiodene (Figur 6.2). Slike endringer gjennom året illustrerer dynamikken i fjorden, og modellering gjennom hele året fanger opp påvirkningen på spredningen av utlippene.

Tabell 6.1: Strømverdier fra simuleringer ved Kvassneset (Figur 2.2) for perioden 01.01.21 – 01.01.22.

Dyp (m)	1	9	18	31	41	Nær bunnen
Gjennomsnitt (cm/s)	15.5	9.7	5.9	7.8	12.7	8.2
Sign. maks (cm/s)	26.6	17.3	11.1	12.9	18.7	12
Sign. min (cm/s)	5.7	3.2	1.9	3.1	6.5	4.2
Std. avvik (cm/s)	9.6	6.6	4.7	4.4	5.5	3.5
% < 1 cm/s	0.9	2.3	5	2.3	1.1	2
% > 30 cm/s	8.1	0.8	0.1	0	0	0



Figur 6.1: Strømroser av simulert strøm i posisjon markert med grønt flagg ved Kvassneset i Figur 2.2 for perioden 01.01.21 – 01.01.22. Dypet er gitt over fargeskalaen.

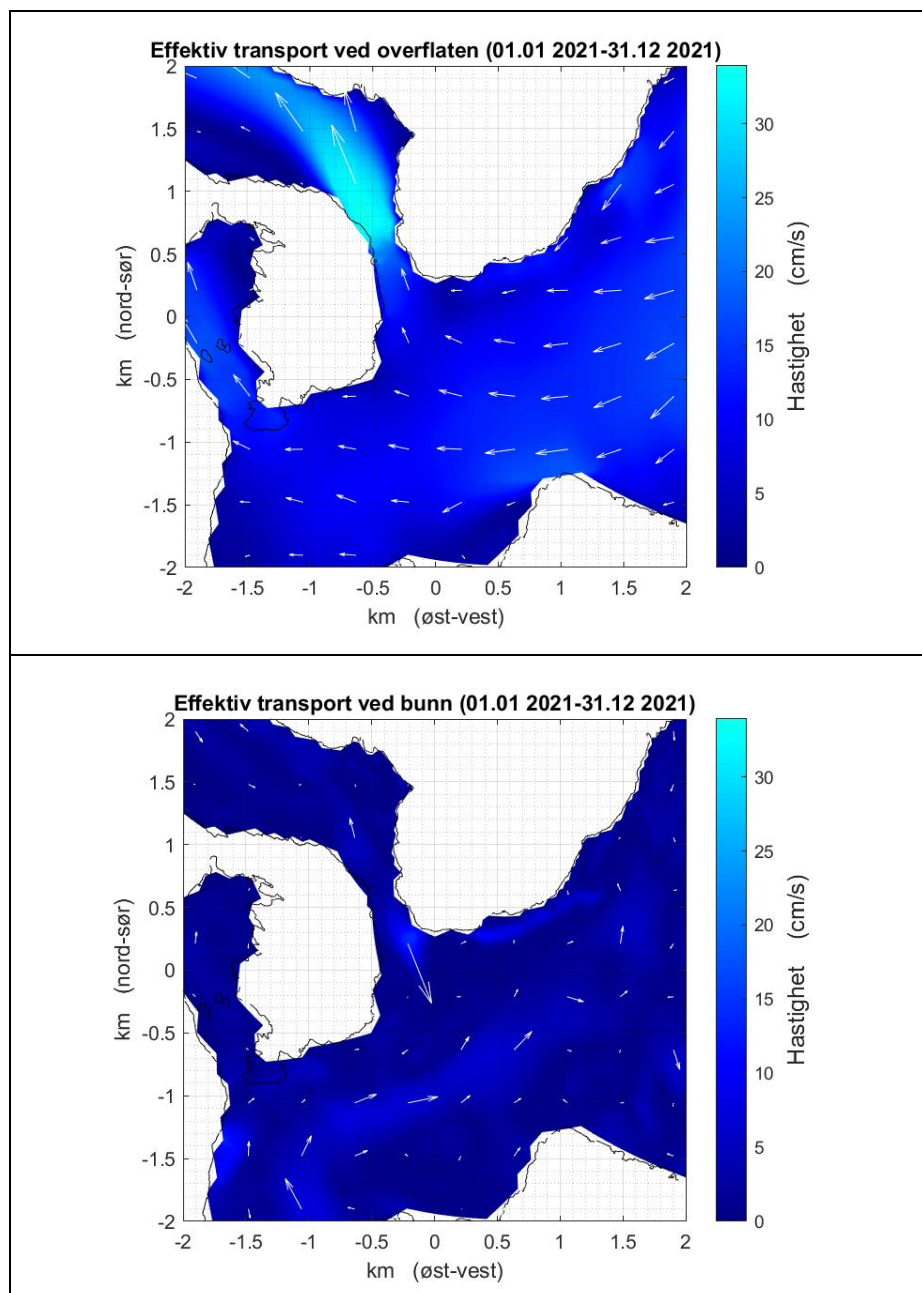


Figur 6.2: Sammenligning av strømhastighet for februar og oktober 2021 ved 1 m (oppe) og nær bunnen (nede). Posisjonen er markert med grønt flagg i Figur 2.2.

6.2 Simulert strøm i området rundt lokaliteten

Det er registrert strøm i hele det modellerte området for hver sjette time i simuleringperioden. 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 6.3 er effektiv transporthastighet vist ved overflaten (oppe) og ved bunnen (nede).

I overflaten er den dominerende strømmen i Osterfjorden og Byfjorden mot sørvest og vest. Ved Hagelsundet har strømmen en tydelig komponent mot nordøst og inn i Kvernafjorden. Ved bunnen er det generelt lavere hastigheter, men med en komponent mot nordøst i Byfjorden. Strømmen gjennom Hagelsundet returnerer i dypet og går mot sørøst.



Figur 6.3: Effektiv transporthastighet ved overflaten (oppe) og ved bunnen (nede).

6.3 Modellert strøm sammenlignet med målinger

Det er utført strømmålinger ved Kvassneset i to perioder; 18.06.13 – 07.08.13 og 10.12.13 – 14.01.14 (Uni-Research 2014). Posisjonen for strømgriggen er markert med grønt flagg i ved Kvassneset i Figur 2.2. Målingene som er på dyp som vil påvirke spredningen av utslippet fra avløpsanlegget er gjort ved omkring 10 m og omkring 30 m. Simulasjonen dekker ikke måleperioden og målingene sammenlignes derfor med modellert strøm ved tilsvarende dyp i samme tidsperiode i 2021 (18.06.21 – 07.08.21 og kombinasjonen av 10.12.21 – 31.12.21 og 01.01.21 – 14.01.21, Tabell 6.2).

Strømmen i modellen og fra observasjonene samsvarer generelt bra for vinterperioden. Om sommeren er modellen litt sterkere enn observasjonene.

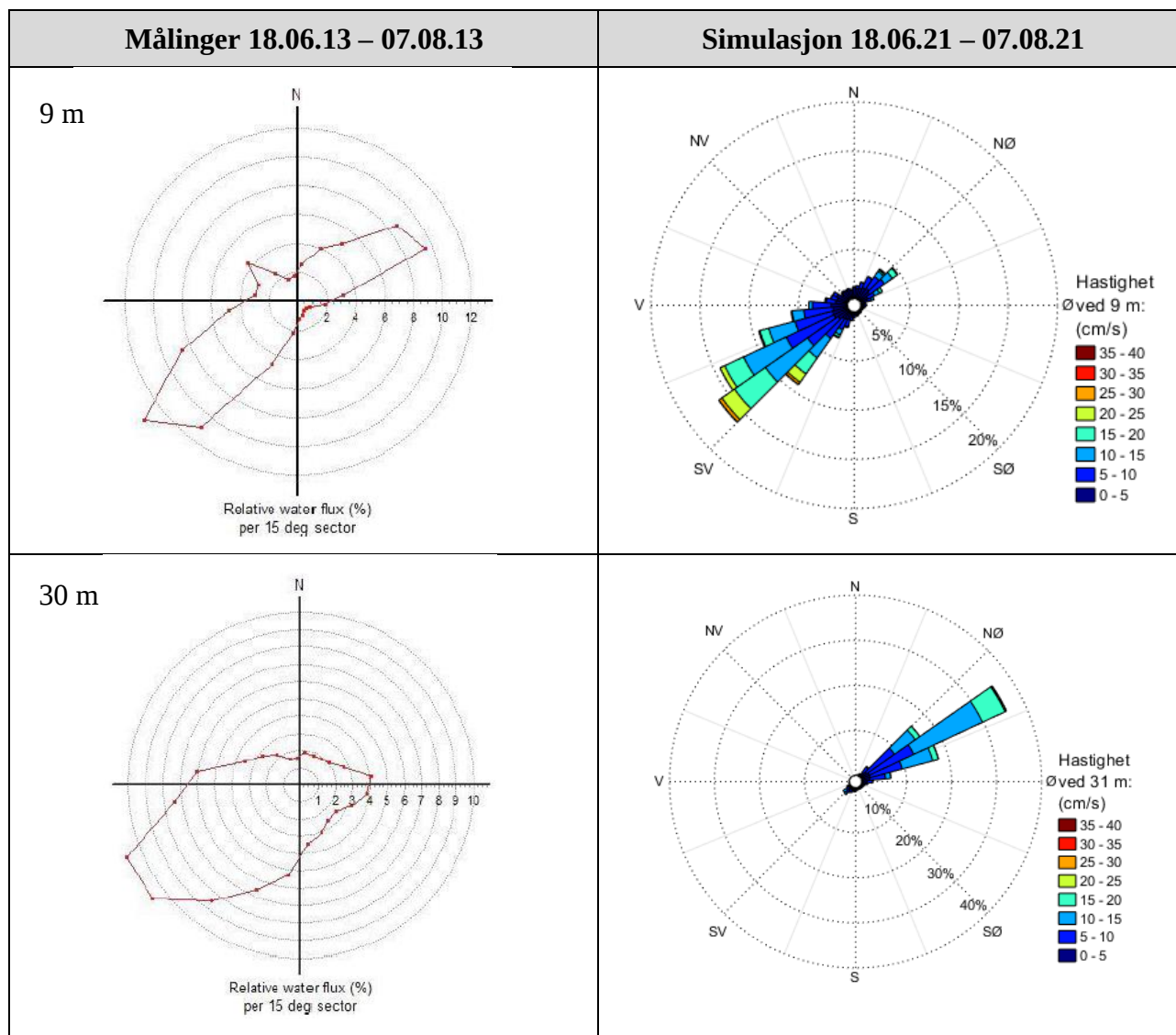
En sammenligning av relativ vannfluks fra observasjonene med strømrøser i modellen fra sommerperioden (Uni-Research 2014) viser at de dominerende strømrøstene (nordøst – sørvest) stemte bra ved 9 m (Figur 6.4). Det er mest strøm mot sørvest både i observasjonene og i simuleringen. Ved 31 m er det motsatte retninger i modellen og i observasjonene. Observasjonene er dominerende mot sørvest også ved dette dyppet, mens det i modellen er dominerende strøm mot nordøst.

Grunner til avvik mellom målinger og modellresultater:

- Forskjellen mellom målt og simulert strømrøst 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.
- Simuleringene har en oppløsning på 40 m x 40 m (og grovere) og det kan være variasjoner i strømmen innenfor denne skalaen som strømodellen 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 på sterkt skrånende bunn relativt nært land. 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.

Tabell 6.2: Simulerte strømverdier fra posisjonen markert med grønt flagg ved Kvassneset i Figur 2.2 sammenlignet med målte verdier samme posisjon. Målte verdier står i kolonnene til venstre (Uni-Research 2014) og modellresultat til høyre.

	Målinger		Simuleringer	
	18.06.13 – 07.08.13		18.06.21 – 07.08.21	
Dyp	10 m	30 m	9 m	31 m
Gjennomsnitt (cm/s)	6.8	5.2	8.6	8.9
Signifikant maks (cm/s)	12.3	8.7	15.3	13.9
Signifikant min (cm/s)	2.5	2.2	3.0	4.0
< 1 cm/s (%)	3.2	3.6	2.6	1.5
	10.12.13 – 14.01.14		01.01.21 – 14.01.21, 10.12.21 – 31.12.21	
Dyp	11 m	31 m	9 m	31 m
Gjennomsnitt (cm/s)	8.7	7.7	8.4	6.8
Signifikant maks (cm/s)	15.1	12.9	14.8	11.4
Signifikant min (cm/s)	3.4	3.2	2.7	2.6
< 1 cm/s (%)	1.8	2.1	3.0	3.9

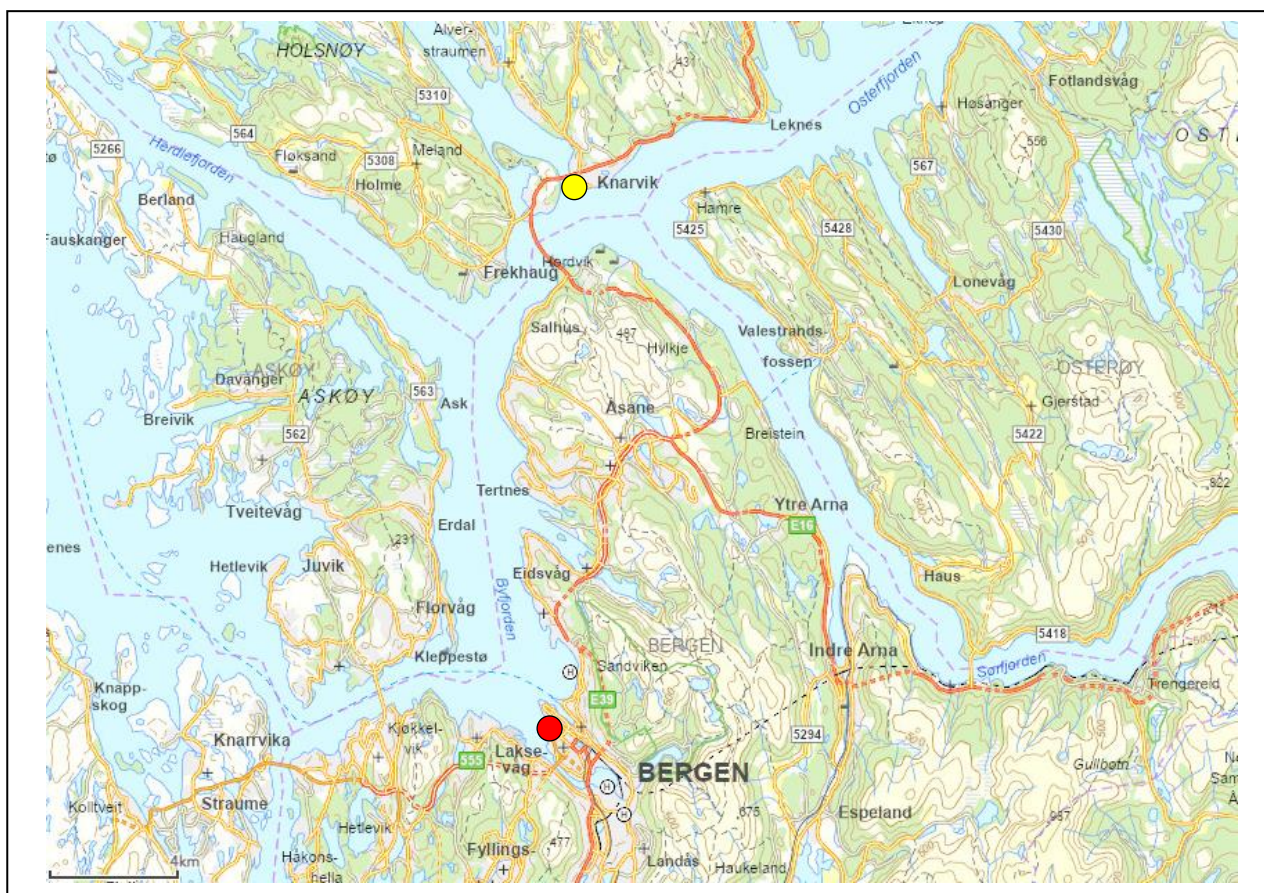


Figur 6.4: Sammenligning av relativ vannfluks (venstre kolonne) (Uni-Research 2014) med strømroser fra simulering ved tilsvarende dyp for samme periode i 2021 (høyre kolonne). Sammenligningen gjelder for observasjonene ved grønt flagg i Figur 2.2.

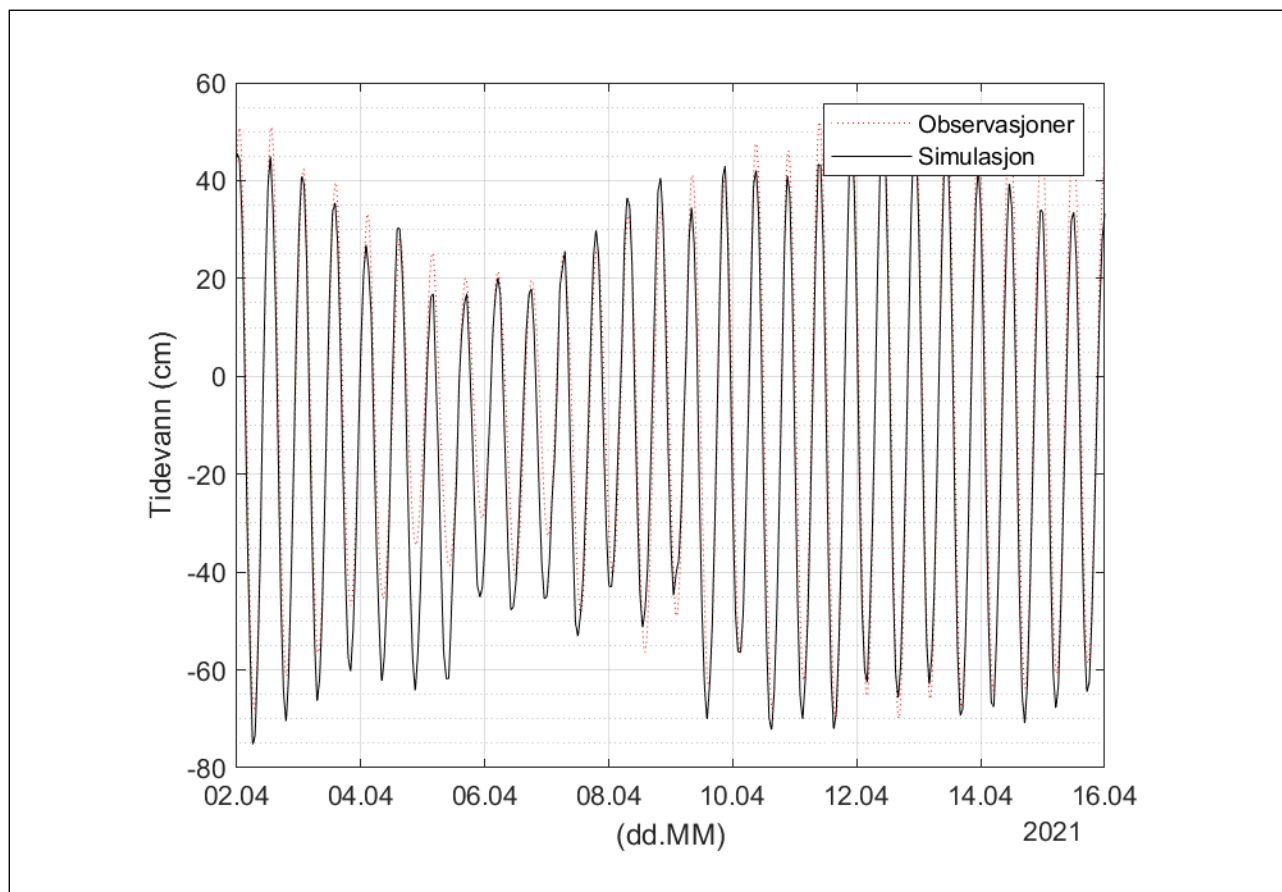
7. Vedlegg - Havnivå

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 Bergen, 16 km sør for Knarvik (Figur 7.1). På grunn av den korte avstanden er var det ikke nødvendig med korleksjon for forskjeller i havnivå (Kartverket 2021).

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 være litt høyere og lavere enn observert vannstand (Figur 7.2). Forskjellen mellom målt og simulert vannstand for hele simuleringsperioden er beregnet til å være 2 % i gjennomsnitt. Det er ikke ventet at denne forskjellen har signifikant betydning for modelleringen for lokaliteten.



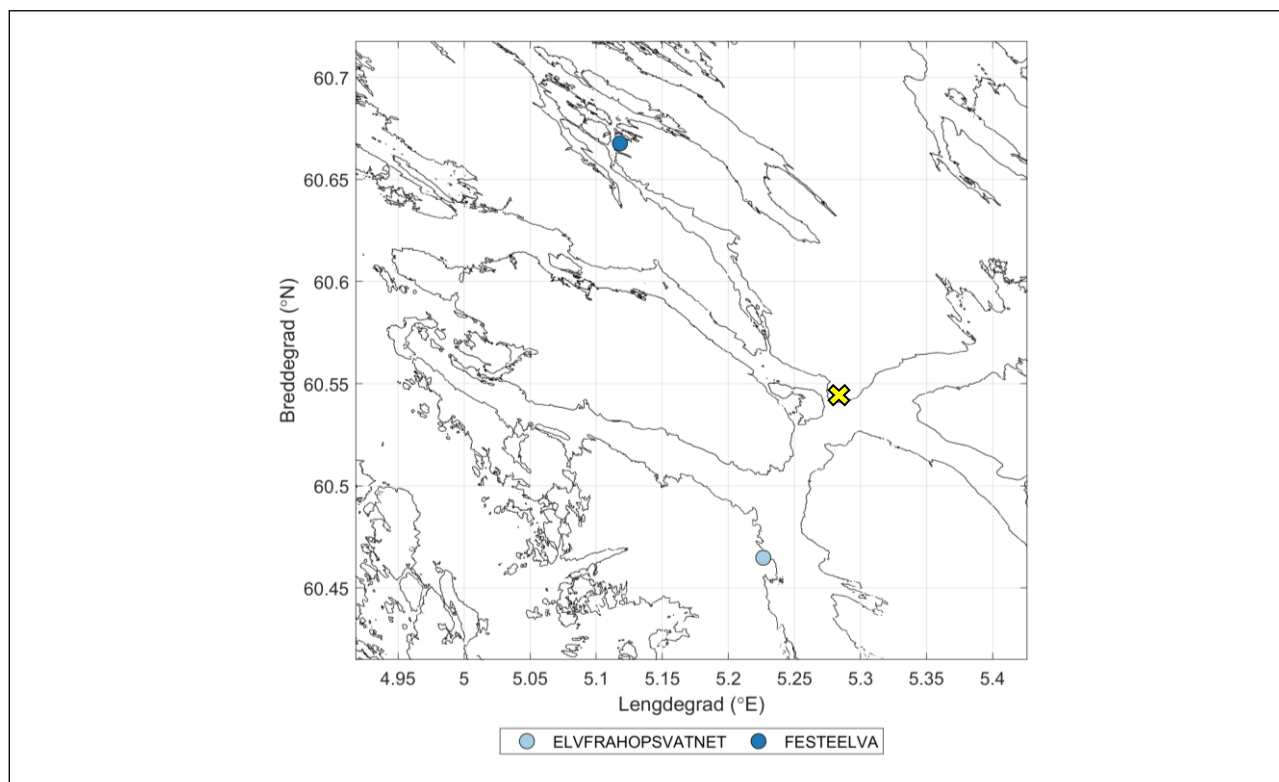
Figur 7.1: Oversiktskart fra Knarvik og sørover. Punkt for vannstandsmåling i Bergen er vist med rød prikk og punkt med korleksjon vist med gul prikk. Kartet er hentet fra Fiskeridirektoratets kartverktøy med datum WGS84.



Figur 7.2: Havnivå ved utslippsposisjonen ved Kvasneset i perioden 02.04.2021 - 16.04.2021. Svart linje er resultatene fra modellering. Rød prikket linje er tidevannstabell.

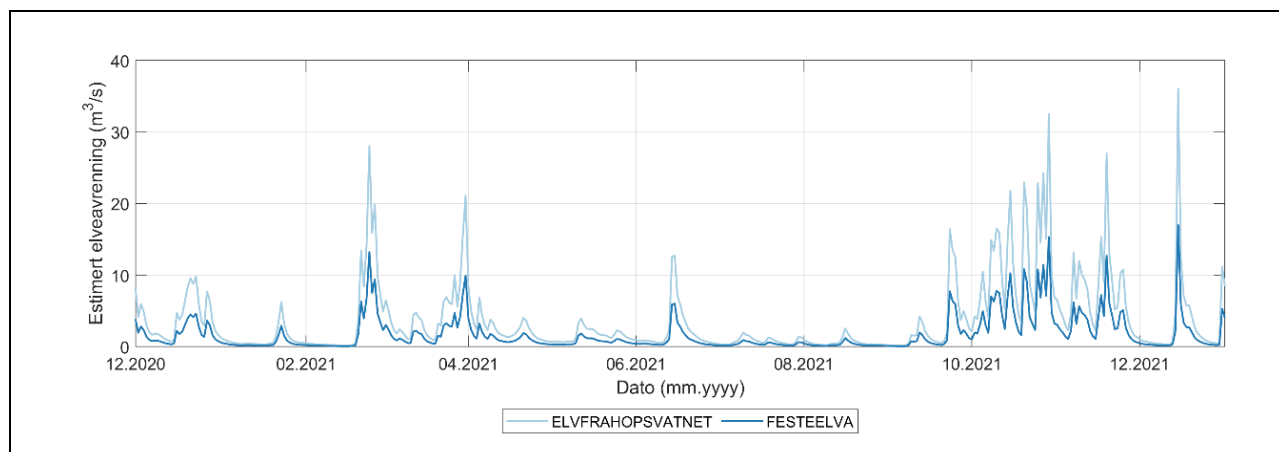
8. Vedlegg - Ferskvannstilsig

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 8.1.



Figur 8.1: Oversikt over vassdrag som bidrar med ferskvann i modellen. Knarvik er markert med ✕

Tidsserie av vannføring i elvene som er inkludert i modellen er vist i Figur 8.2.



Figur 8.2: Vannføring i løpet av 2021 fra de største elvene i området.

9. 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.

9.1 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.

9.2 Strømmodell

Det kan være variasjon innenfor rutenett som ikke er fanget opp av modellen. 3D-modellen har en oppløsning på omtrent 40 m x 40 m (og grovere) horisontalt i 16 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 nærme 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.

10. Referanser

- Albretsen, Jon, Ann Kristin Sperrevik, André Staalstrøm, Anne D. Sandvik, Frode Vikebø, og Lars Asplin. 2011. *NorKyst-800 Repost No.1 User Manual and technical descriptions*. Bergen: Fisker og Havet, Havforskningsinstituttet.
- Delft3D-FLOW. 2018. *Delft3D Open Source Community*. 24 01. https://content.oss.deltares.nl/delft3d/manuals/Delft3D-FLOW_User_Manual.pdf.
- Direktoratsgruppen vanndirektivet . 2018. *Klassifisering av miljøtilstand i vann*.
- Frick, W.E, m. fl. 2003. *Dilution models for effluent discharges, 4th edition (Visual Plumes)*. U.S Environmental Protection Agency.
- Kartverket. 2021. *Kartverket.no*. <https://kartverket.no/til-sjos/se-havniva>.
- Klima- og miljødepartementet, Olje- og energidepartementet. 2021. *Lovdata.no*. Funnet 2022.
- 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*.
- Met.no. 2020. *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>.
- Miljødirektoratet. 2013. «Veileder for fastsetting av innblandingssoner.»
- NIVA. 2022. «Utredning av behovet for å redusere tilførselene av nitrogen til Ytre Oslofjord.»
- NVE Atlas . 2020. <https://atlas.nve.no/>.
- Uni-Research. 2014. «Resipientovervåkning av fjordsystemene rundt Bergen 2011-2015.»
- Vann-nett.no. 2022. *Vannforekomst*. Funnet 2022.