

# Modellering av vannutskifting i Raudbergvika

Vannmodellering til definering av fortykning av  
utslipp av avløpsvann i Raudbergvika

Utarbeidet for  
Representert ved

Rådgivende Biologer  
Geir Helge Johnsen, Nestleder -  
Fagansvarlig Vann



Prosjektleder	Mathias Singsaas Frøseth
Forfatter	Hanna Corell, Sofia Hjalmarsson, Cecilia Gustafsson og Mathias Singsaas Frøseth
Kvalitetsansvarlig	Thomas Uhrenholdt

Prosjektnummer	13801255
Godkjennelsesdato	17.12.2021
Revisjon	Endelig 1.6
Klassifikasjon	Begrenset

## Sammendrag

WHS AS har søkt om å etablere et landbasert oppdrettsanlegg i Raudbergvika i Fjord kommune for en årlig produksjon på 100 000 tonn fisk. Utslippene vil bli renset og ført ut i fjorden på 20 m dyp og innlagres rundt -60m.

Formålet med denne rapporten er å etablere en hydrodynamisk modell over fjordsystemet og modellere hvordan vannet i fjordene strømmer over et helt år, kan spredningen av vann og næringsstoffer fra WHS AS og påvirkningen det har på konsentrasjonen av næringsstoffer beskrives. Modellen beskriver hvordan vannet som slippes ut innlagres og spres over tid, hvor det blir fortynnet og hvor det er opphopning, og hvilke nivåer av næringsstoffer det resulterer i i fjordområdene rundt Raudbergvika

Metoden med å bruke fortynning gjør at prosesser som tar næringsstoffer ut av sjøvannet, for eksempel spises opp av fisk, tas opp av makroalger og sedimentering mot havbunnen, ikke er inkludert. For de totale konsentrasjonene som inkluderer alle målbare typer av næringsstoffet er resultatene tilstrekkelige til å gi en god screening av konsentrasjonsøkningen pga. frigjøring av næringsstoffer. Økningen i konsentrasjonen av spesielt totalnitrogen (TN) og totalfosfor (TP) vurderes opp mot risikoen for å påvirke den fysisk-kjemiske støtteparameteren næringsforhold i nærliggende vannforekomster, beskrevet i kapittel 1.

Fjordene klassifiseres etter næringsforhold i de øverste 10 meterne (Direktoratsgruppa, 2018). På bakgrunn av dette har vi sett på den gjennomsnittlige konsentrasjonsøkningen for nitrogen og fosfor på 0-10 m dyp som WHS AS skal tilføre vannområdet og om det kan endre parameteren næringsforhold, som er en støtteparameter for å bedømme økologiske status.

Planlagt midlere utslipp av 87,5 m<sup>3</sup>/s med renset avløpsvann vil ha gjennomsnittlige konsentrasjoner på 1.840 µg nitrogen/l, 181 µg fosfor/l og 1,683 µg organisk stoff (TOC)/l.

De modellerte overkonsentrasjonene for de øvre 10 meter av vannsøylen ekstraheres for de ulike fjordområdene og vurderes deretter sammen med dagens antatte tilstand og i forhold til klassegrensene i (Direktoratsgruppa, 2018). Modellen simulerer overkonsentrasjonen av næringsstoff gjennom ett helt år utelukkende på grunn av det omsøkte utslippet fra WHS AS.

Ingen av vannforekomstene i Sunnlyvsfjorden, hvor utslippet er planlagt, er klassifisert for næringsforhold, se Figur 3.1 og Vann-Nett, men det finnes målinger fra omkringliggende vannforekomster i fjordsystemet. Basert på disse kan det gjøres et estimat av konsentrasjonen av totalt nitrogen og totalt fosfor i Sunnlyvsfjorden.

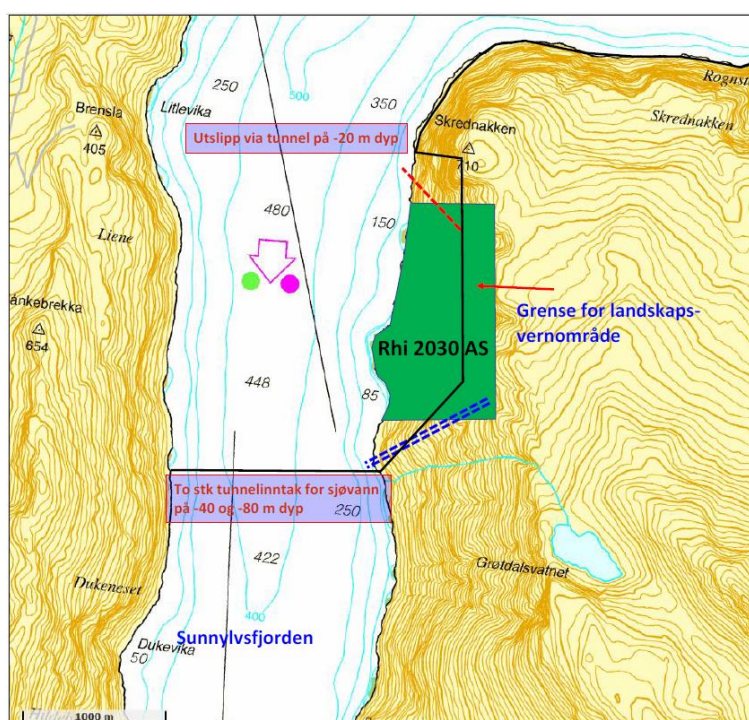
Modellberegningene viser at utslippene av næringsstoff ikke vil medføre noen endring av nåværende klassifisering «svært god» etter (Direktoratsgruppa, 2018) for total-nitrogen for noen av de nærliggende fjordområdene verken sommer eller vinter. Videre viser beregningene at utslippene kan risikere å endre klassifiseringen for total fosfor, nitrat og fosfat for de nærliggende vannområdene; Sunnlyvsfjorden-ytre, Nordalsfjorden og Storfjorden ved Stranda.

## 1 Introduksjon

Det primære formålet med dette prosjektet er å fremskaffe ny og forbedret kunnskap om fortykning, spredning og potensiell opphopning av utslippet av rensset avløpsvann til vannmassene i Raudbergvika.

Vanninntak for sjøvann, samt utslipp av rensset avløpsvann, er plassert i Raudbergvika.

Det er modellert et utvidet utslipp av avløpsvann fra WHS AS, som er et landbasert anlegg som dekker hele produksjonssyklusen fra rogn til ferdig matfisk med 100 000 tonn årlig produksjon i Raudbergvika. Det er sjøvann som tas fra 40 og 80 meters dyp, går igjennom anlegget og slippes ut på 20 m dyp, vist i Figur 1.1.



Figur 1.1 Oversikt over settefiskanlegget, utslipp for avløp og sjøinntak. (hentet ifra Rådgivende Biologers tilbudsforespørsel)

Det er gitt fra Rådgivende Biologer at konsentrasjonene i utslippet fra et midlere vannforbruk på 5250 m<sup>3</sup>/min (87.5 m<sup>3</sup>/s) vil være:

- Nitrogen: 1 840 µg/l, dette inkluderer et naturlig bidrag på 250 µg/l og 1 590 µg/l overkonsentrasjon
- Fosfor: 181 µg/l, dette inkluderer et naturlig bidrag på 15 µg/l og 166 µg/l overkonsentrasjon
- Organisk stoff (TOC): 1 683 µg/l

I modelleringen har vi antatt at DIN utgjør 75 % av total nitrogen og DIP utgjør 60 % av total fosfor i utslippet. Dette ble basert på graden av rensing av organisk stoff, N og P og fraksjonering av N og P på partikler og oppløst, og innspill fra Rådgivende Biologer.

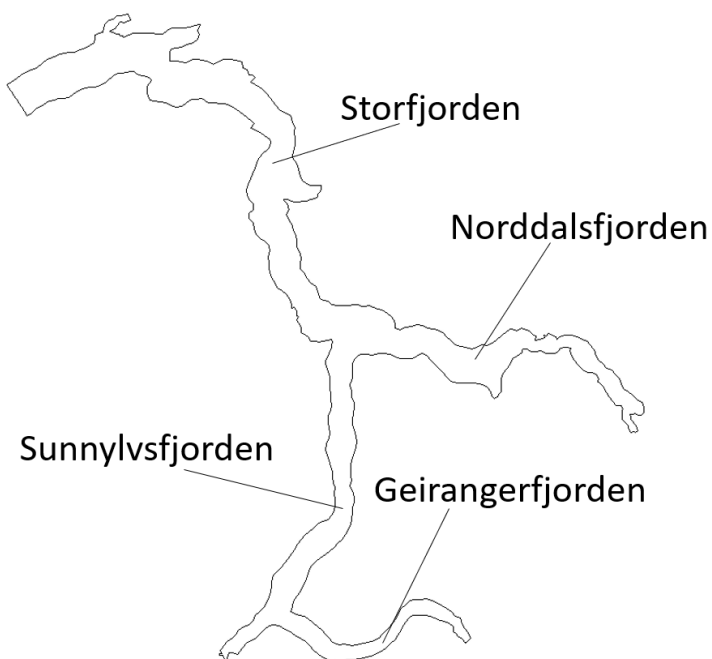
Modellen ble satt opp til å simulere en periode på ett år, fra 1. januar 2014 til 1. januar i 2015. Denne perioden er valgt for å sikre at sesongvariasjonene er inkludert.

Valideringen i vedlegg A viser også at modellresultatene i 2014 var i samme størrelsesorden som de målte dataene.

DHIs eget verktøy MIKE 3 HD FM (DHI, 2020) og MIKE 3 AD (DHI, 2021) er benyttet til beregningene, som er et sterkt modelleringsverktøy sprunget ut ifra DHIs anerkjente programvarepakke MIKE Powered By DHI.

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

I Figur 1.2 er fjordene som inngår i modelldomenet vist.

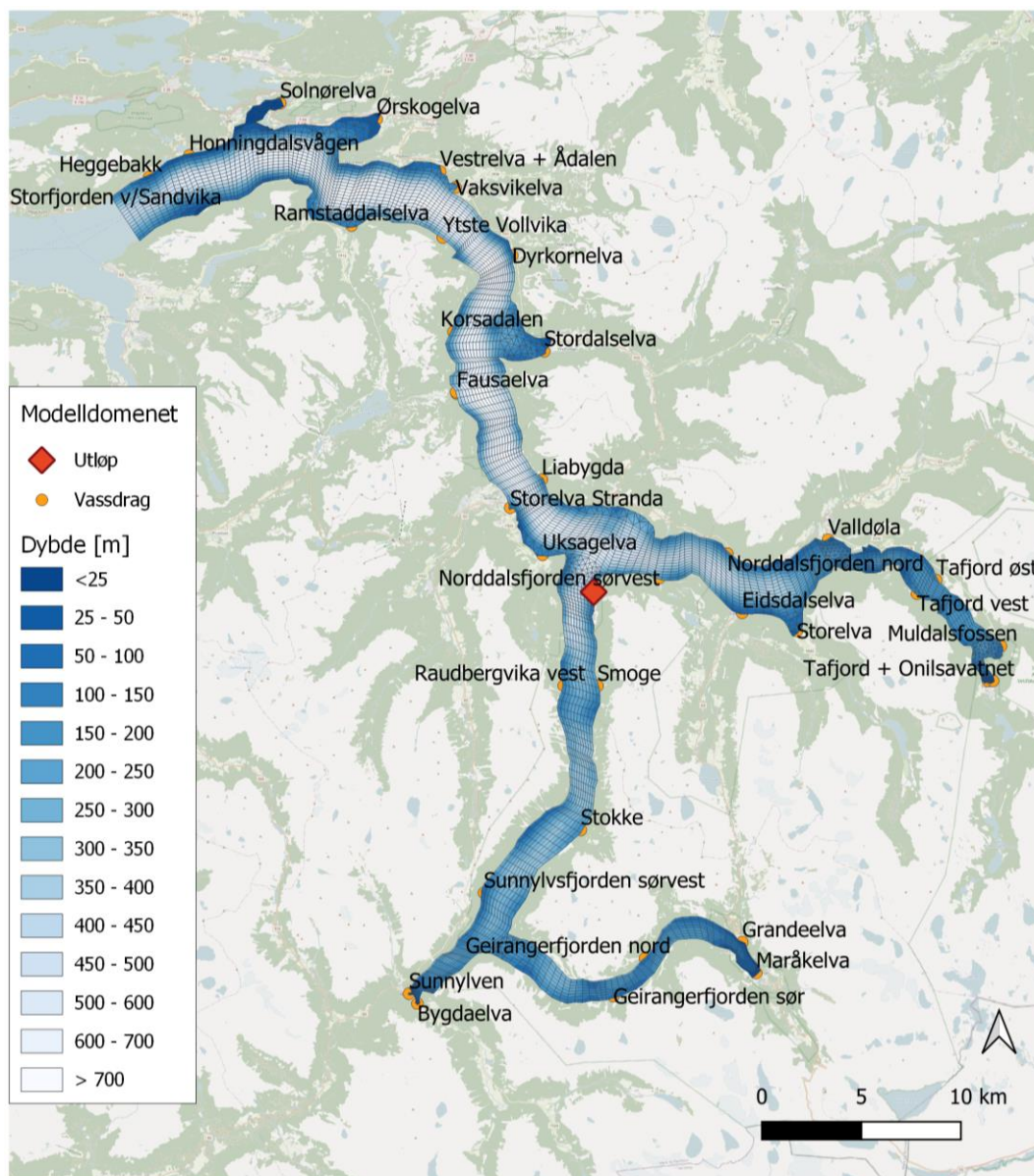


Figur 1.2 Fjordene som inngår i modelldomenet.

## 2 Resultater for strømmodellering

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

Etter at modellen er satt opp, kalibrert og validert er modellen klar til bruk for å finne strømbildet i Raudbergvika og senere modellere spredning av næringsstoffer av disse basert på denne hydrodynamiske modellen. Modelldomenet med avrenningskilder er vist i Figur 2.1.

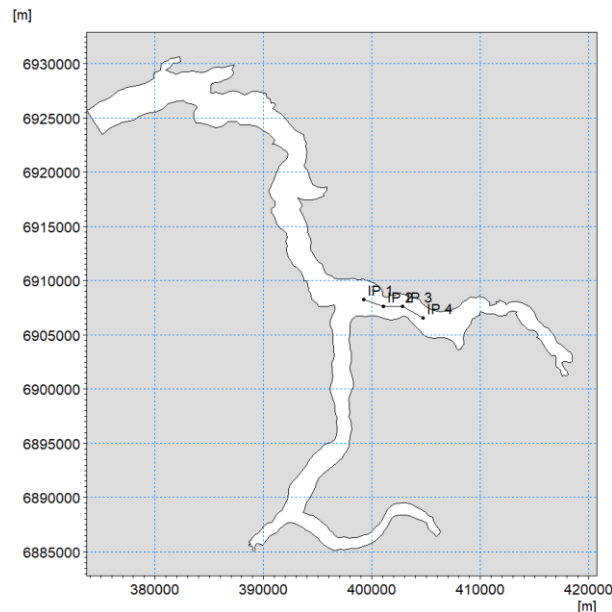


Figur 2.1 Modellområdet i Raudbergvika

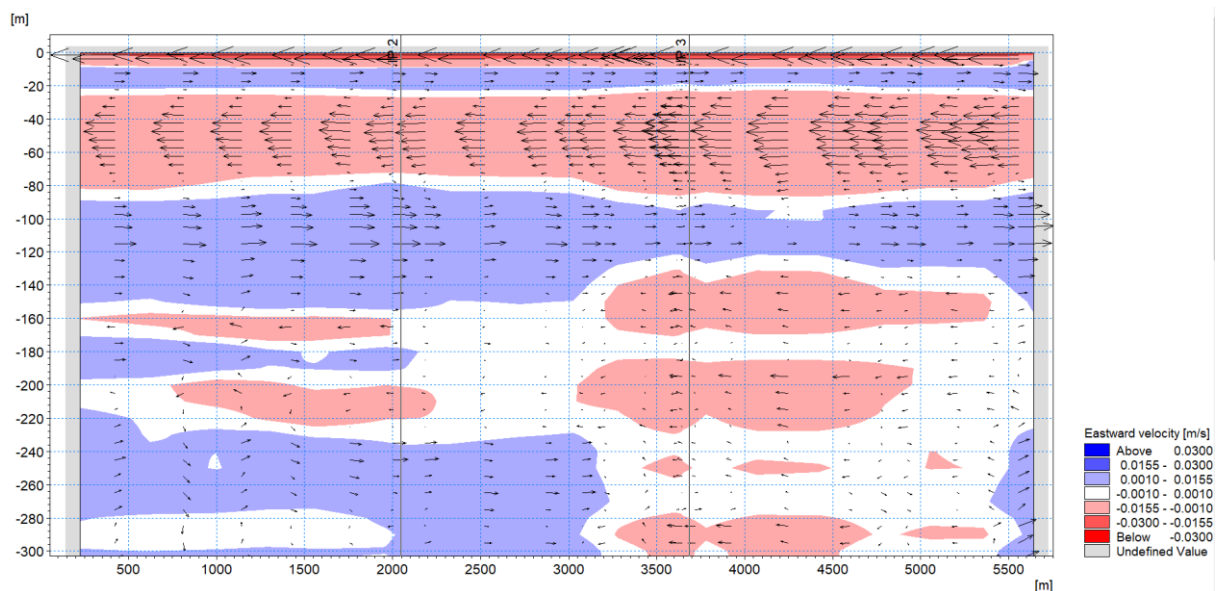
Sirkulasjonen i fjorder som Sunnlyvsfjorden er typisk en kombinasjon av estuarin sirkulasjon, utveksling i mellomlaget, dypvannsendringer og tidevannsutveksling. I estuarin sirkulasjon resulterer tilførsel av ferskvann fra elver/avløp i at et friskt topplag strømmer ut av fjorden, mens det under er et kompensierende lag med saltvann som strømmer inn i fjorden. I det følgende og i vedlegg A vises utvalgte modellresultater, som må forstås i lys av denne konseptuelle forståelsen av sirkulasjonen i fjordene rundt Raudbergvika.



For å vise kompleksiteten og den ovennevnte sirkulasjonen i fjordsystemet er det tatt et tverrsnitt av nettostrømmen i Norddalsfjorden over hele modellingsperioden. I Figur 2.2 vises det hvor i fjorden tverrsnittet er tatt, mens selve tverrsnittet er vist i Figur 2.3. En kan se at de øverste meterne har retning ut av fjorden (rød farge), mens det er mellomlag på ca. -5 - -20m som er rettet østover og inn i Norddalsfjorden. Videre kan en se at det er flere lag nedover som er rettet forskjellige veier



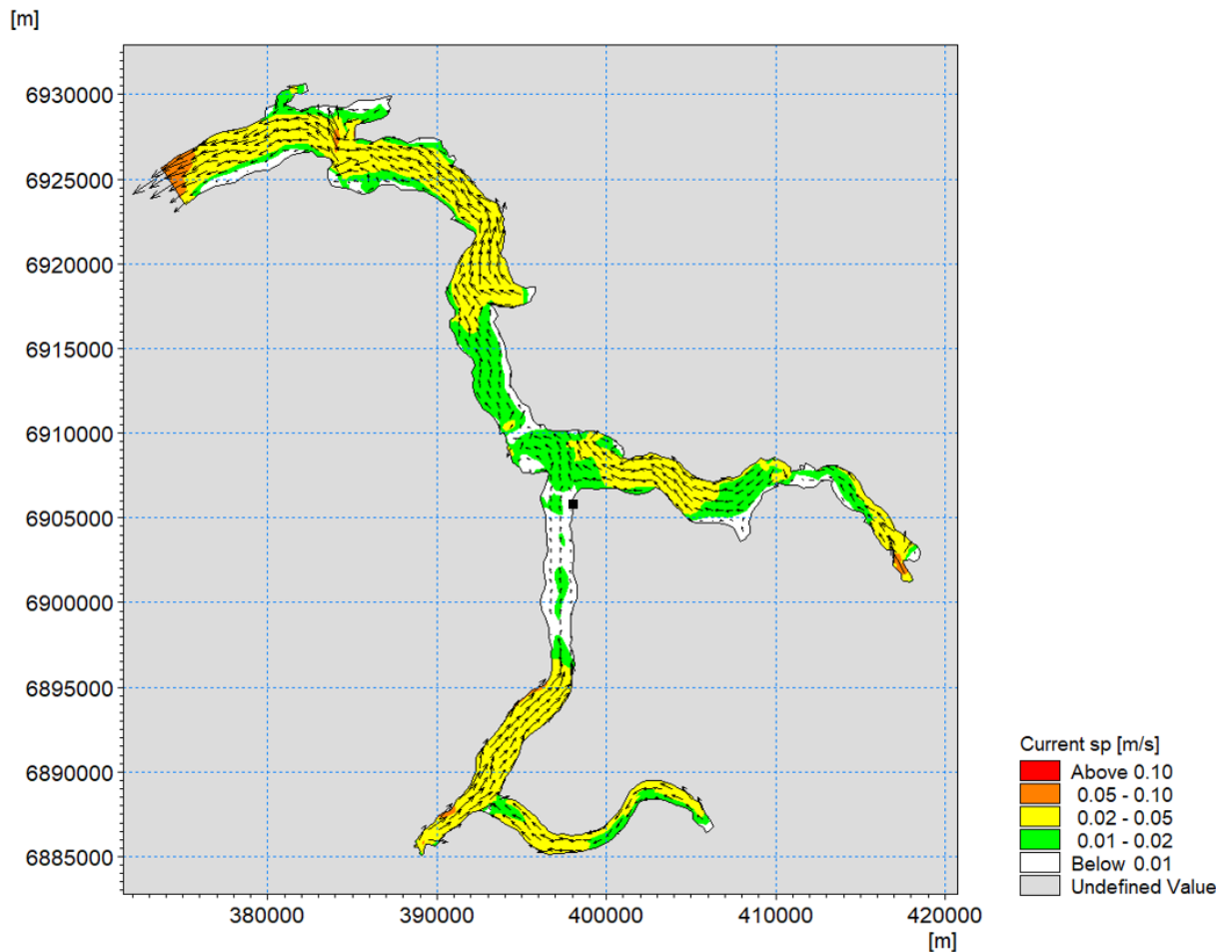
Figur 2.2 Kart som viser hvor tverrsnitt er tatt i Norddalsfjorden.



Figur 2.3 Tverrsnitt i Norddalsfjorden, hvor en kan se hvordan nettostrømmen over hele modellingsperioden er vertikalt fordelt. En kan se at de øverste meterne har retning ut av fjorden (rød farge), mens det er mellomlag på ca. -5 - -20m som er rettet østover og inn i Norddalsfjorden. Videre kan en se at det er flere lag nedover som er rettet forskjellige veier. Med «Eastward velocity» menes det at det er hastigheten på langs av fjordtverrsnittet

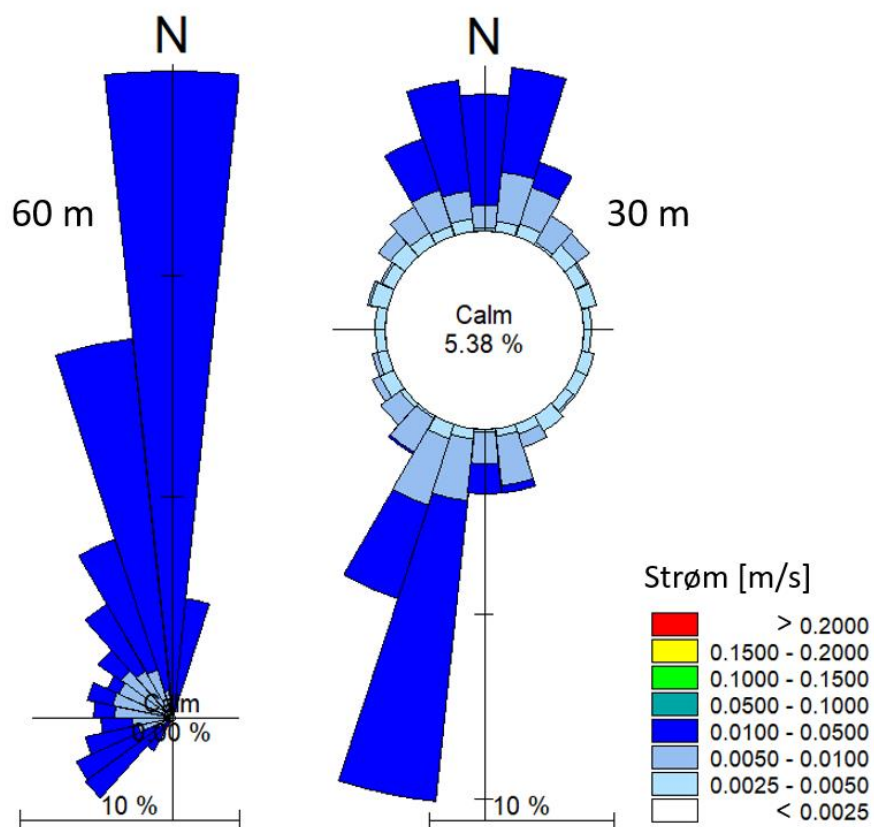
Nettostrøm for vannoverflaten er vist i Figur 2.4. I vannoverflaten kan man se at vannet strømmer ut av Storfjorden. Inne ved utslippspunktet er det en utadgående

overflatestrøm, noe som er forventet siden det er utløp fra elver lenger inne i Sunnylvsfjorden og Geirangerfjorden.



Figur 2.4 Modellert nettostrømning i vannoverflaten i modellperioden. Den sorte firkanten markerer utslippspunktet

I Figur 2.5 er strømmrosen fra utslippspunktet, som er vist i Figur 1.1, presentert ved -60 og -30 m. Strømmrosen viser at strømmen ved -60 m har hovedretning nord (ut av fjorden). Ved -30 m er retningen mer variabel, men hovedretning nord-sør. En sammenligning med observasjoner av strømmen fra samme posisjon, men en annen tidsperiode er vist i vedlegg A.



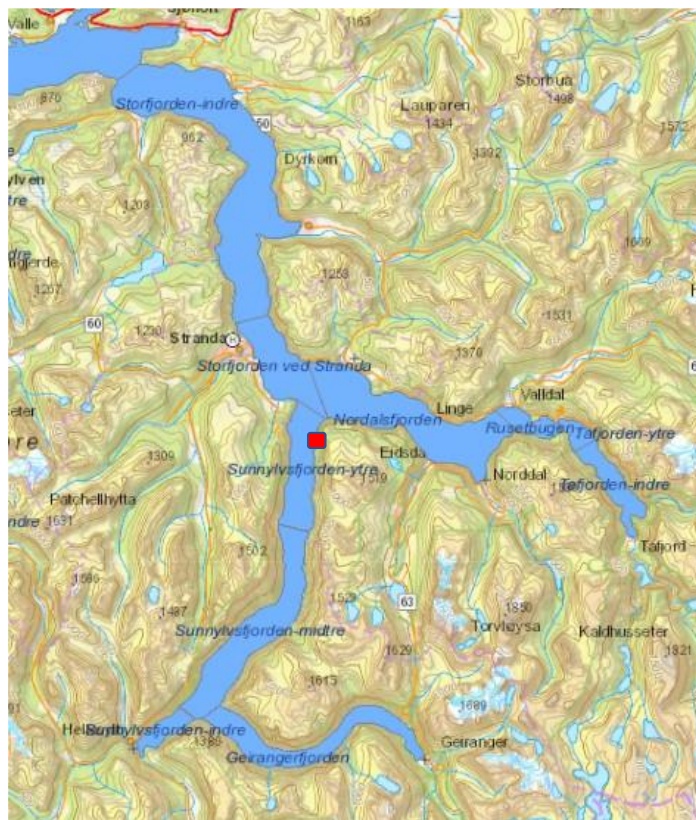
Figur 2.5 Strømroser fra modellert strømhastighet (m/s) ved utslippspunktet på -60 m og -30 m dyp.

Det er som nevnt veldig mye vann som slippes ut fra utløpet,  $87.5 \text{ m}^3/\text{s}$ , som er antatt å ha retning ut i fjorden. Dette kan medføre at det blir en kompenserende strøm langs bunnen mot land ved utslippet; som da kan føre til lokal erosjon langs kysten. Siden vannet som slippes ut er mer saltholdig enn vannet på 20 m dyp ble det funnet at vann fra utslippet ville innlagres rundt -60m, dette er beskrevet i vedlegg A.2.1



### 3 Næringsforhold

Ifølge web-applikasjonen Vann-Nett Portal<sup>1</sup> er modelldomenet delt opp i flere vannområder, som strekker seg fra Storfjorden til Geirangerfjorden. Vannområdene er vist i Figur 3.1.



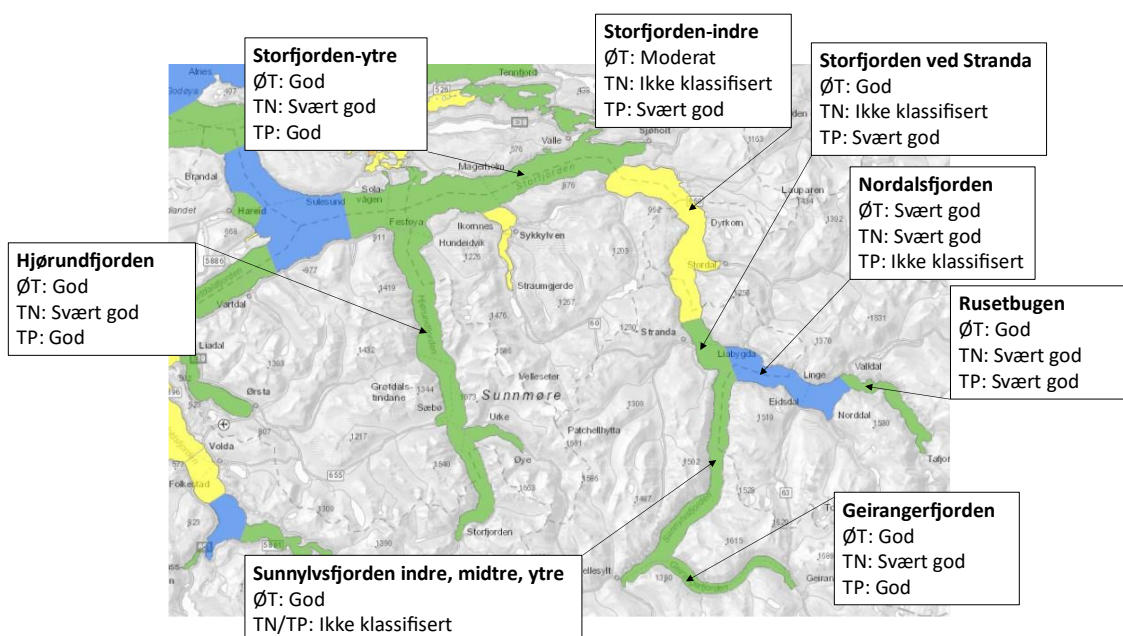
Figur 3.1 Vannområdene rundt Sunnlyvsfjorden. Utslippspunktet i Raudbergvika er markert i rødt.

Den økologiske tilstanden til et vannområde i Norge vurderes ut ifra nivåer av klorofyll-a, oksygen og næringsforhold. Verdiene for de enkelte klassene og parameterne er definert basert på saliniteten til fjorden, se (Direktoratsgruppa, 2018). Basert på målingene og modellen vist vedlegg A.3.2 vurderes saliniteten til å være >18 PSU i de øverste 10 meterne i vannsøylen, derfor vil klassifikasjonsverdiene for dette nivået i (Direktoratsgruppa, 2018) benyttes. Ifølge Vann-Nett Portal er miljøtilstanden vurdert til god økologisk tilstand (GØT) (NIVA, 2015). Det er imidlertid ikke gjennomført målinger av nitrogen og fosfor, og den fysisk-kjemiske støtteparameteren næringsforhold er ikke klassifisert i selve Sunnlyvsfjorden. Sunnlyvsfjorden er oppdelt i tre vannforekomster: indre, midtre og ytre. Utslippspunktet ligger i Sunnlyvsfjorden-yltre, men ettersom det ikke er målinger i noen av de tre er det i dette kapitlet valgt å beskrive de som Sunnlyvsfjorden.

Ingen av vannforekomstene i Sunnlyvsfjorden er klassifisert for næringsforhold, se Figur 3.1 og Vann-Nett, men det finnes målinger fra omkringliggende vannforekomster i fjordsystemet. Basert på disse kan det gjøres et estimat av konsentrasjonen av totalt nitrogen og totalt fosfor i Sunnlyvsfjorden.

<sup>1</sup> <https://vann-nett.no/portal/>

I Figur 3.2 vises vannforekomstene som omgir Sunnlyvsfjorden, fargene i kartet viser klassifiseringen av økologisk status. For vannområdene angis også klassifiseringen av inngangsparameterne for næringsforhold TN og TP iht. Vann-Nett.



Figur 3.2 Vannforekomster som omkranser Sunnlyvsfjorden. Fargene i figuren viser økologisk tilstand (ØT) i hver av vannforekomstene. I tekstboksene står det for de forskjellige vannforekomstene i tillegg til økologisk tilstand også tilstandsklasse for støtteparameterne TN og TP i fra Vann-nett.

De nærmeste vannområdene til Sunnlyvsfjorden med relativt mange målinger er Geirangerfjorden i sør, Rusetbugen i øst og Storfjorden-ytre i nord. Om en ser på konsentrasjonene i samtlige vannområder med data, varierer ikke konsentrasjonene av nitrogen og fosfor mye fra Geirangerfjorden til Storfjorden-ytre. Hjørundfjorden ser heller ikke ut til å fortynne konsentrasjonene i Storfjorden-ytre. Konsentrasjonene i Geirangerfjorden og Storfjorden-ytre kan derfor brukes som en tilnærming for konsentrasjonene av næringsstoffer i Sunnlyvsfjorden.

I Tabell 3.1 er konsentrasjoner på 0-10 m dyp presentert, den samme dybden som klassifiseringen av næringsforhold beregnes for. Disse er hentet fra de siste aktuelle rapportene med klassifiseringen av fosfor og nitrogen, oppført for vinter og sommer i Storfjorden-ytre og Geirangerfjorden. (Multiconsult, 2019) (Miljødirektoratet/NIVA, 2018).

I Geirangerfjorden er det utført målinger på stasjonen V51 Korsen sommer og vinter mellom årene 2017-2020. I årsrapporten fra 2020 (Akvaplan-Niva, 2021) er målingene oppgitt som middel 2018-2020, og datagrunnlaget anses tilstrekkelig for klassifisering av vannforekomsten. Gjennomsnittet for sommer og vinter finnes i Tabell 3.1 og Tabell 3.2. Sammenlignet med verdiene fra 2017 (Miljødirektoratet/NIVA, 2018), er disse verdiene lavere.

I Storfjorden-ytre prøvetas det jevnlig på fire stasjoner; U4 Sunde, Kvasneset-1, S-KH og RA16. Det er krav om undersøkelse etter forurensningsforskriften del 4. Avløp for utslipp av kommunalt avløpsvann. U4 Sunde og RA 16 er nærliggende stasjoner for rensanlegg.

Konklusjonen fra den seneste undersøkelsen (Multiconsult, 2019) er at innholdet av næringsalter i overflatelaget (0-10 m) ved nærstasjonen U4 til renseanlegget i Sunde, er lavt og det er ikke påvist forhøyet enkeltverdi av næringsalter på denne stasjonen i løpet av de to undersøkelsesperiodene.

I 2018 ble det etablert en ny stasjon utenfor Kvasneset der det er planlagt å etablere et nytt felles renseanlegg, og undersøkelsen har dokumentert at det er god vannkvalitet i Storfjorden på denne lokaliteten, Kvasneset-1, med et lavt innhold av næringsalter både i sommer- og vinterperioden.

På bakgrunn av dette har vi brukt måledata fra referansestasjonen Kvasneset-1 i Tabell 3.1 og Tabell 3.2. Verdiene avviker ikke fra nærstasjonene, og i tillegg har vi også sett på tidligere mottakerprøvetaking tilgjengelig på Vann-nett fra 2012. I 2012 (Norconsult, 2013) ble det kun prøvetatt om sommeren, og innholdet i U4 Sunde rapporteres kun grafisk. Verdiene tilsvarer målingene i 2018, bortsett fra total nitrogen som er ca. 20-30 µg/l lavere. Det er også målinger fra 2003 på nitrat og fosfat, men disse er høyere enn de fra 2012 og 2018.

I både Geirangerfjorden og Storfjorden-ytre er klassifiseringen av tot-N svært god. Marginen for å endre statusen til god er omtrent 150 µg/l for Tot-N om sommeren og 100 µg/l for Tot-N om vinteren, hvis en bruker en gjennomsnittskonsentrasjon fra de to vannforekomstene.

Fosfor er derimot nære grensen for god tilstand om sommeren i Geirangerfjorden mens den ifølge måledata fra 2018 er svært god i Storfjorden-ytre. En gjennomsnittlig konsentrasjon fra de to vannforekomstene gjør at statusen for totalfosfor er svært god.

Imidlertid er både vannforekomstene klassifisert med god status for både parameterne totalfosfor og for næringsforhold som tilsier at fosforkonsentrasjonen også kan tilsvare God. Men for å være konsistente i vår metode har vi valgt å bruke gjennomsnittet for målingene i Storfjorden-ytre og Geirangerfjorden for fosfor selv om resultatet ikke samsvarer med klassifiseringen. Det innebærer at økningen som skal til for å endre klassifiseringen for total fosfor til God er omtrent 3 µg/l fosfor om vinteren og omtrent 5 µg/l om sommeren.

For Nitrat+nitritt kan en fra måledata (Tabell 3.2) gjøre antagelsen at Sunnlyvsfjorden er klassifisert som svært god, og at konsentrasjonen kan øke med ca. 10 µg/l på sommeren og 20 µg/l på vinteren innen status endres til God. Fosfat er som total fosfor, på grensen til God på sommeren, som betyr at konsentrasjonen øke med ca. 0,5 µg/l om sommeren innen tilstanden blir God. Om vinteren, når vannforekomsten kan klassifiseres som svært god kan konsentrasjonen øke ca. 5 µg/l innen klassifiseringen endres til God.

Samme konsentrasjoner og mulige konsentrasjonsøkninger kan antas å gjelde for vannområdet Storfjorden ved Stranda og Nordalsfjorden, som også mangler målinger.

Tabell 3.1 Målinger av tot-P og tot-N på 0-10 m dyp i omkringliggende vannforekomster, data fra Geirangerfjorden er et gjennomsnitt mellom 2018-2020 mens data fra Storfjorden er fra 2018. Klassegrenser ifølge (Direktoratsgruppa, 2018)

Vannforekomst	Tot-N [µg/l]	Tilstands- klasse tot-N	Tot-P [µg/l]	Tilstands- klasse tot-P
<b>Sommer</b>				
Storfjorden-ytre	116	Svært god	6	Svært god
Geirangerfjorden	104	Svært god	11	Svært god
Antatt konsentrasjon Sunnylvsfjorden	110	Svært god	9	Svært god
Klassegrense for god	250-330		11,5-16	
<b>Vinter</b>				
Storfjorden-ytre	177	Svært god	14	Svært god
Geirangerfjorden	184	Svært god	18	Svært god
Antatt konsentrasjon Sunnylvsfjorden	180		16	
Klassegrense for god	291-380		20-25	

Tabell 3.2 Målinger av nitrat-nitritt og fosfat på 0-10 m dyp i omkringliggende vannforekomster oppført i Vann-nett (Vann-nett, 2021). Dersom det ble målt flere stasjoner, velges den med høyest konsentrasjon. Klassegrenser ifølge (Direktoratsgruppa, 2018)

Vannforekomst	Nitrat+nitritt [µg/l]	Tilstands- klasse Nitrat+nitritt	fosfat [µg/l]	Tilstands- klasse fosfat
<b>Sommer</b>				
Storfjorden-ytre	2	Svært god	1	Svært god
Geirangerfjorden	2	Svært god	4	Svært god
Antatt konsentrasjon Sunnylvsfjorden	2	Svært god	3	Svært god
Klassegrense for god	12-23		3,5-7	
<b>Vinter</b>				
Storfjorden-ytre	65	Svært god	10	Svært god
Geirangerfjorden	87	Svært god	12	Svært god
Antatt konsentrasjon Sunnylvsfjorden	76	Svært god	11	Svært god
Klassegrense for god	97-125		14,5-21	



## 4 Fortynningsmodellering

Som beskrevet i innledningen, er formålet med dette prosjektet å fremskaffe ny og forbedret kunnskap om fortynning, spredning og potensiell opphopning av utslippet av rensed avløpsvann til vannmassene i Raudbergvika som ligger i vannområdet Sunnlyvsfjorden-ytre og dermed modellere økningen i konsentrasjonen av næringsstoffer i ulike deler av fjorden.

Modellering av næringsstoffer inkluderer ikke biologiske prosesser, men omdannelsen av nitrogen- og fosforfraksjoner påvirker ikke den totale konsentrasjonen av næringsstoffet, noe som gir pålitelige resultater. Hvis det totale nitrogenet og fosforet hovedsakelig består av oppløste næringsstoffer, DIN og DIP, som er svært biotilgjengelige, kan man få en økning i primærproduksjonen av alger, som kan føre til økte konsentrasjoner av klorofyll-a og potensielt påvirke oksygenkonsentrasjonen i fjordbunnen. Andre eutrofieringsparametere er ikke inkludert i modellen, for å kunne kvantifisere dette i detalj må det brukes en biogeokjemisk modell

De modellerte overkonsentrasjonene av næringsstoffer i Raudbergvika og omegn er sammenlignet resultatene med verdiene i Tabell 3.1 og Tabell 3.2.

### 4.1 Metode

For å estimere den totale fortynningen av næringsstoffutslippene beskrevet i kapittel 1, er den hydrodynamiske modellen utvidet med en adveksjons-dispersjonsmodell (transportmodell, AD) for å simulere fortynningen av næringsstoff fra utløpet.

I modellen plasseres en kilde med konsentrasjoner av næringsstoffer som tilsvarer belastningen av TN (total nitrogen) og TP (total fosfor) som er oppgitt i kapittel 1. Modellen ble simulert for ett år for å vurdere overkonsentrasjonen, utelukkende på grunn av utslippet fra WHS AS. Det vil si at andre utslipp, fra f.eks. renseanlegg, akvakultur osv. ikke er inkludert.

De modellerte overkonsentrasjonene ekstraheres deretter fra modellresultatene i de øvre 10 meter av vannsøylen, og sammenlignes deretter med klassegrensene i (Direktoratsgruppa, 2018).

Den største usikkerheten i modellen ligger i de uorganiske næringsstoffene som kan forventes å bli tatt opp i planteplankton i løpet av sommeren, bli spist av dyreplankton og sedimentere mot havbunnen. Ved bare å se på overkonsentrasjoner, kan andre indikasjoner på eutrofiering ikke kvantifiseres, og derfor bør denne analysen sees på som en screening av konsentrasjonsøkning av næringsstoffer som kan resultere av omsøkte utslipp. Økte konsentrasjoner kan påvirke støtteparameteren «næringsforhold» som sammen med andre parametere legges til grunn for vurdering av økologisk tilstand.

I tillegg vil utslipp av ammonium vanligvis bli omdannet til nitrat i løpet av veldig kort tid, og eventuelle ammoniumkonsentrasjoner vil derfor ikke forbli ammonium i hele fjorden. Derfor er det antatt at DIN (oppløst uorganisk nitrogen, gitt som nitrat i (Direktoratsgruppa, 2018) bare består av nitrat, og det er nettopp kravene til nitrat vi analyserer i denne rapporten.

## 4.2 Resultater

### 4.2.1 Overordnede resultater

Som vist i Figur 3.1 inkluderes Raudbergvika i vannområde Sunnylvfjorden-ytre. Ifølge Vann-nett er den økologiske miljøtilstanden i fjorden «god» og støtteparameteren næringsstoff er ikke klassifisert.

På bakgrunn av dette har vi sett på den gjennomsnittlige konsentrasjonsøkningen for nitrogen og fosfor på 0-10 m dyp som WHS AS skal tilføre vannområdet. 0-10 m dyp er valgt på bakgrunn av at økologisk tilstand klassifiseres basert på målinger i de øverste 10 meterne (Direktoratsgruppa, 2018).

I Tabell 4.1 og Tabell 4.2 viser intervallet på den modellerte konsentrasjonsøkningen for TN, TP, DIN og DIP i de nærliggende og mest påvirkede vannområdene: Sunnylvfjorden-ytre, Nordalsfjorden og Storfjorden ved Stranda. Geirangerfjorden påvirkes i veldig liten grad.

Gjennomsnittsendringene er størst for Nordalsfjorden og Storfjorden ved Stranda i løpet av sommeren, og for Sunnylvfjorden-ytre og Storfjorden ved Stranda om vinteren. Endringene gjør at WHS AS kommer til å stå for ca. 20-30 % av konsentrasjonen av TN og TP i vannområdene, 40-50 % av konsentrasjonen av DIN på vinteren og ca. 20 % av konsentrasjonen av DIP på vinteren

DIN og DIP, som er uorganiske næringsstoffer, vil bli inkludert i primærproduksjonen i fjorden. Konsentrasjonene vil derfor bli redusert betydelig om sommeren sammenlignet med bare modellert fortykning. Konsentrasjonene av sommer-DIN og -DIP kan derfor ikke brukes i den samlede analysen av de totale effektene.

Om vinteren har økning i næringsstoffer svært liten betydning for de økologiske prosessene i nærområdet, da primærproduksjonen er lav. Dette gjør at spredningsmetodikken som brukes er mindre usikker om vinteren og kan brukes med større sikkerhet for vurdering av utslipp.

Modellresultatene viser at bidraget av næringsstoffer fra anlegget risikerer å endre statusen om vinteren for TP, DIN og DIP i Sunnylvfjorden-ytre, Nordalsfjorden og Storfjorden ved Stranda. Dette betyr at flere av de fysiske-kjemiske støtteparameterne næringsforhold, som i dag anslås å være svært god om vinteren, endres til god i de tre vannområdene. I Sunnylvfjorden-ytre kan DIN om vinteren endres til minimum God. For TN vil det trolig være mulig å opprettholde svært god status både sommer og vinter.

Tabell 4.1 Konsentrasjonsøkning og beregnet klassifisering for de tre mest berørte vannområdene, Sunnlyvsfjorden-ytre, Nordalsfjorden, Storfjorden ved Stranda. Tabellen angir konsentrasjon og klassifisering i dag, modellert økning i konsentrasjon av næringsstoffene TN og TP og mulig fremtidig klassifisering for sommer- og vinterperioden. Skravur opplyser at innholdet ligger i grensen mellom klassene, dette skyldes dels usikkerheten i modellering, og dels at det modellerte innholdet i vannforekomsten varierer.

Sted	Antatt Sunnlyvsfjorden-ytre		Nordalsfjorden		Storfjorden ved Stranda	
	Tot-P	Tot-N	Tot-P	Tot-N	Tot-P	Tot-N
<b>Vinter</b>						
Vinter nå	16	180	16	180	16	180
Modellert tillegg	4-10	37-110	2-7	20-70	3-9	35-85
Vinter etter	20-26	217-290	18-23	200-250	19-25	215-265
<b>Sommer</b>						
Sommer nå	9	110	9	110	9	110
Modellert tillegg	3	25-30	3-4	30-36	3-4	25-35
Sommer etter	12	135-140	12-13	140-146	12-13	135-145

Tabell 4.2 Konsentrasjonsøkning og beregnet klassifisering for de tre mest berørte vannområdene, Sunnlyvsfjorden-ytre, Nordalsfjorden, Storfjorden ved Stranda. Tabellen angir konsentrasjon og klassifisering i dag, modellert økning i konsentrasjon av næringsstoffene DIN og DIP og mulig fremtidig klassifisering for sommer- og vinterperioden. Skravur opplyser at innholdet ligger i grensen mellom klassene, dette skyldes dels usikkerheten i modelleringen, og dels fordi det modellerte innholdet i vannforekomsten varierer. Den totale sommerkonsentrasjonen av DIN og DIP etter er ikke markert med farger da den ikke kan brukes siden DIN og DIP er veldig biotilgjengelige næringsstoffer.

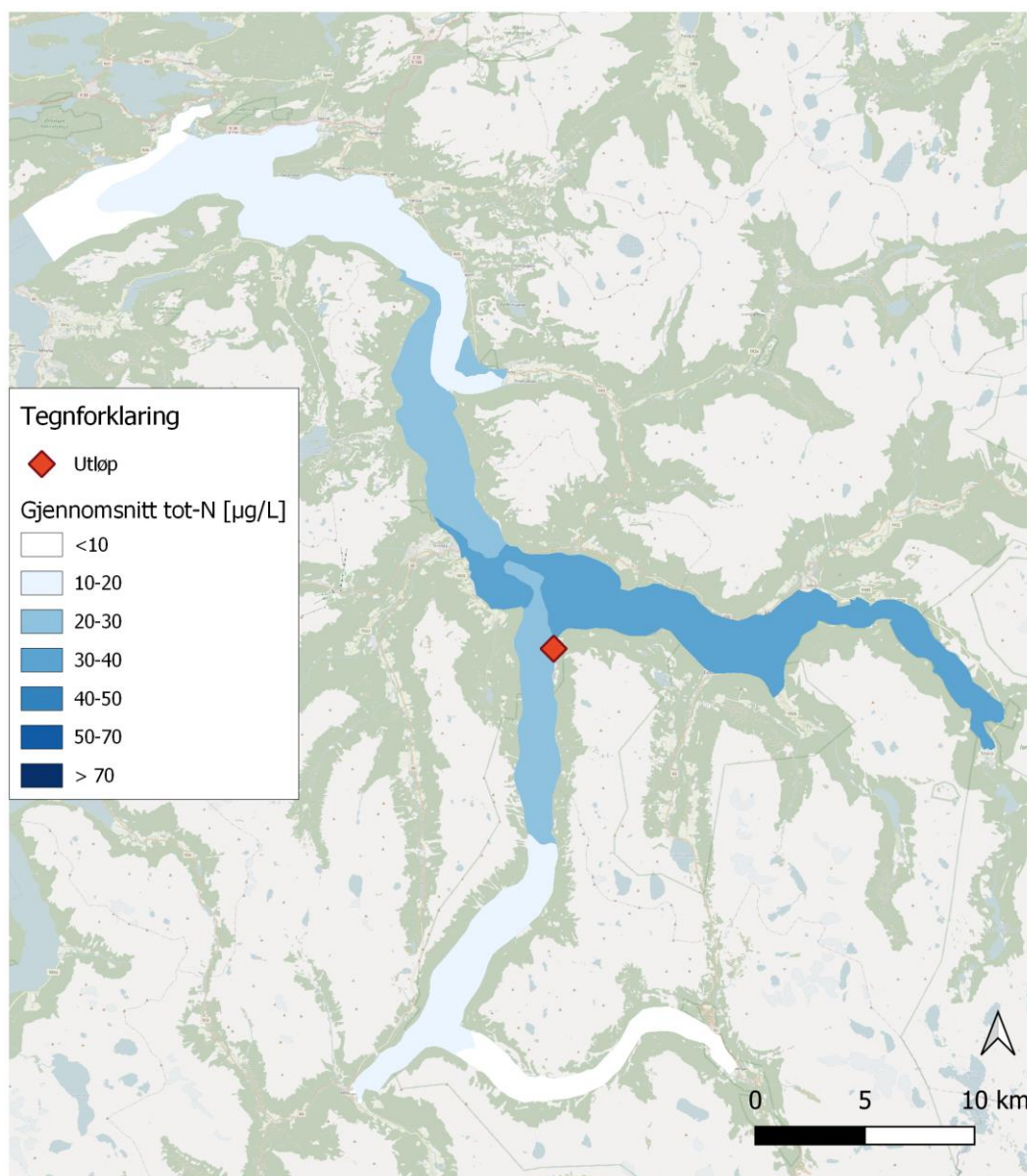
Sted	Antatt Sunnlyvsfjorden-ytre		Nordalsfjorden		Storfjorden ved Stranda	
	DIP	DIN	DIP	DIN	DIP	DIN
<b>Vinter</b>						
Vinter nå	11	76	11	76	11	76
Modellert tillegg	2-6	30-85	1-4	20-55	2-5	25-65
Vinter etter	13-17	106-161	12-15	96-131	13-16	101-141
<b>Sommer</b>						
Sommer nå	2	3	2	3	2	3
Modellert tillegg	2	19-23	2	23-27	2	19-27
Sommer etter	4	22-26	4	26-30	4	22-30

#### 4.2.2 TN konsentrasjoner

På sommeren (se Figur 4.1) kommer Nordalsfjorden og vannområdene som ligger lengre øst til å få den største påvirkningen utenfor Sunnylvsfjorden, mens nivåene flater ut til Geirangerfjorden samt ut mot Storfjorden-ytre. Bakgrunnskonsentrasjonen av TN på sommeren er rundt 160 µg/l, beregnet som et gjennomsnitt av Geirangerfjorden og Storfjorden-ytre.

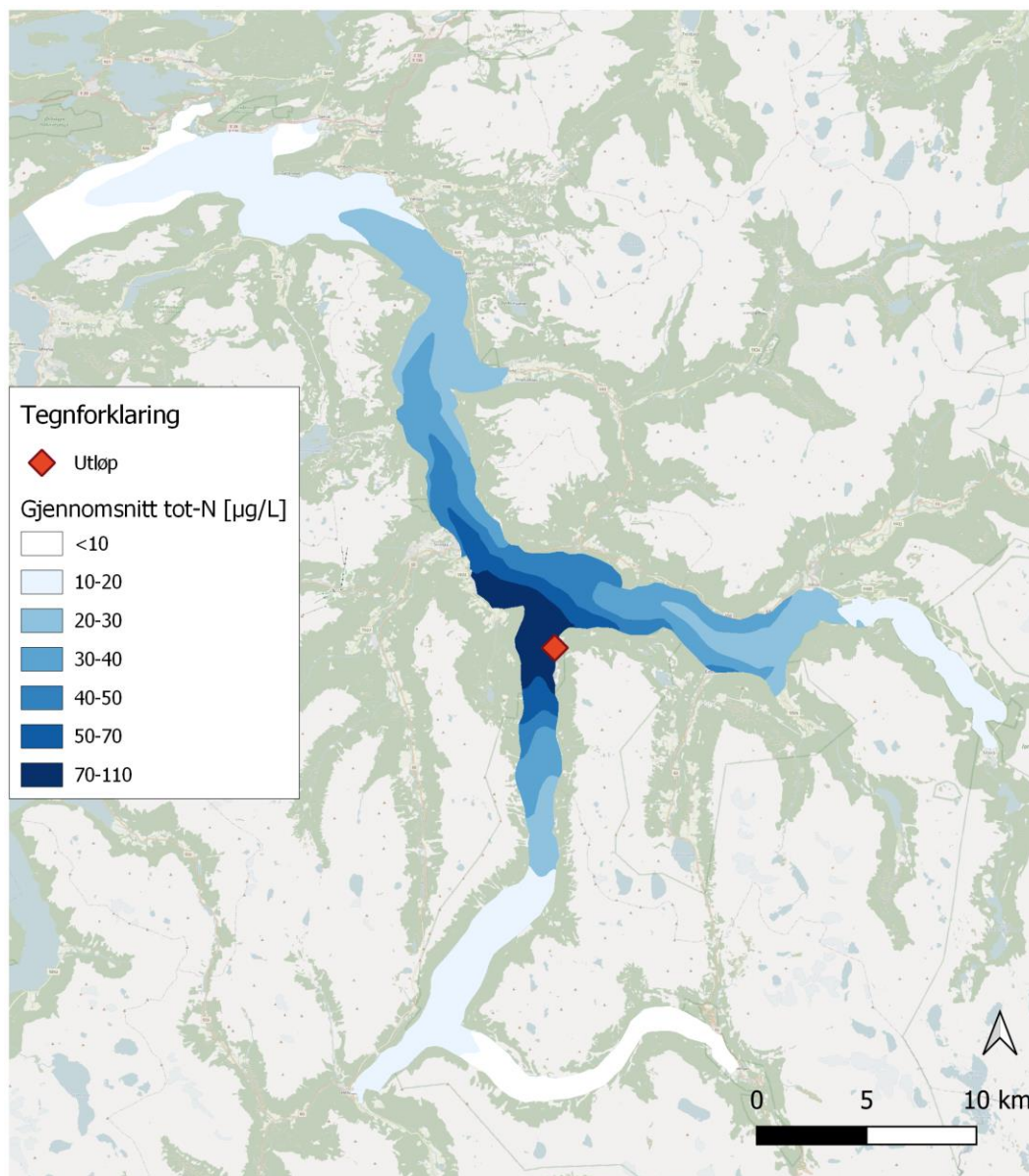
På vinteren (se Figur 4.2) blir den tilførte konsentrasjonsøkningen i Sunnylvsfjorden høyere enn på sommeren, og den største påvirkningen utenfor Sunnylvsfjorden er vannområdet Storfjorden ved Stranda. I Nordalsfjorden blir den modellerte konsentrasjonsøkningen lavere enn Storfjorden ved Stranda. Konsentrasjonen synker videre ut til Stordalsfjorden-ytre. Bakgrunnskonsentrasjonen til TN på vinteren er rundt 170 µg/l, beregnet som et gjennomsnitt av Geirangerfjorden og Storfjorden-ytre

I kapittel 3 ble det anslått at konsentrasjonsøkningen som skulle til for at statusen for total nitrogen blir endret var på ca. 50 µg/l på sommeren og 100 µg/l på vinteren. Basert på dette vil det trolig være mulig å opprettholde svært god status for total nitrogen både sommer og vinter.



Figur 4.1 Gjennomsnittlig overkonsentrasjon av TN (totalt nitrogen) i sommerperioden (jun-aug) i de øvre 10 m av vannsøylen





Figur 4.2 Gjennomsnittlig overkonsentrasjon av TN (totalt nitrogen) i vinterperioden (des-feb) i de øvre 10 m av vannsøylen

### 4.2.3 DIN konsentrasjoner

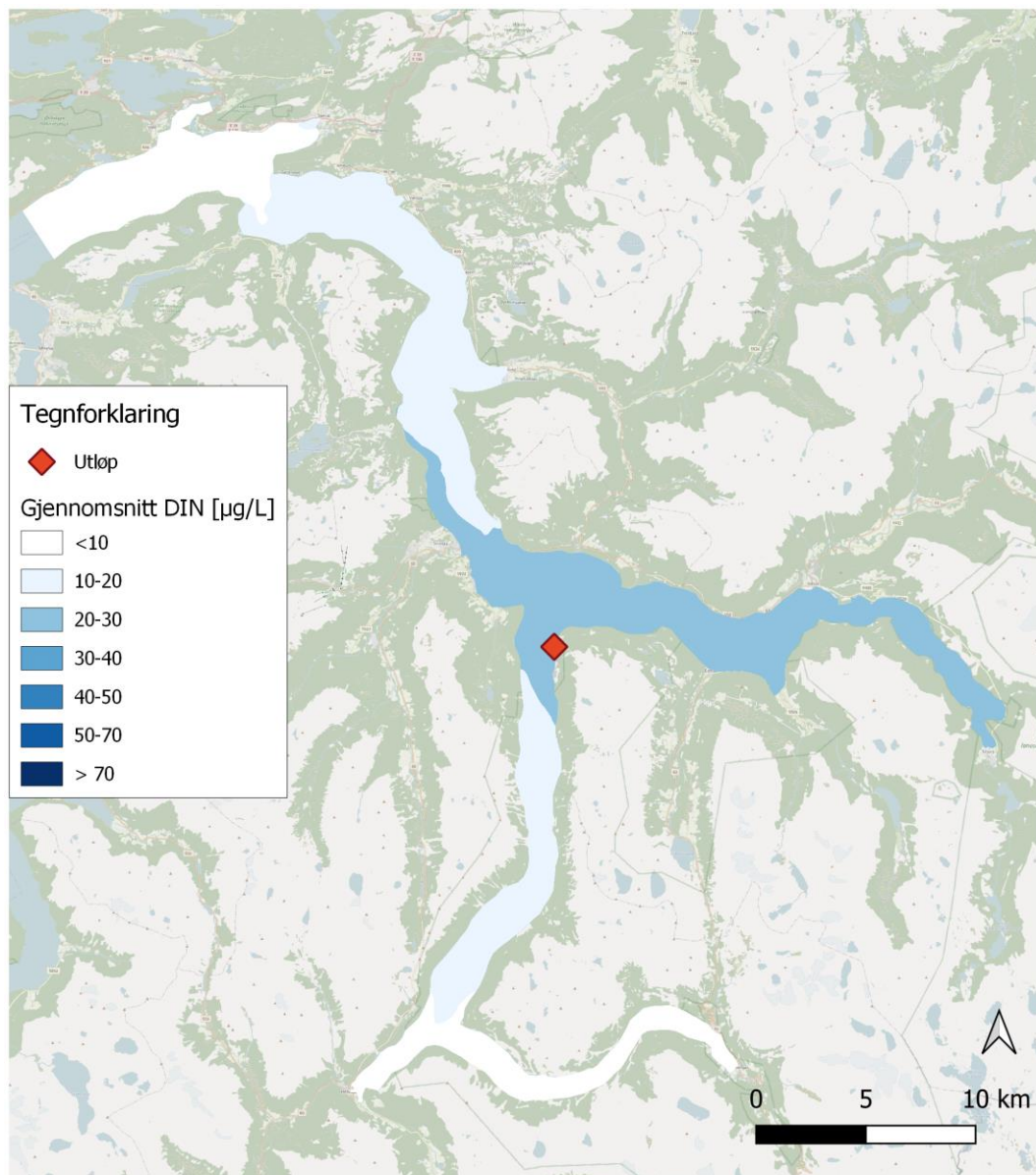
Om sommeren (Figur 4.3) kommer Nordalsfjorden og vannområdene som ligger lengre øst til å få den største påvirkningen utenfor Sunnlyvsfjorden, mens nivåene flater ut til Geirangerfjorden samt ut mot Storfjorden-ytre. Bakgrunnskonsentrasjonen av DIN på sommeren er rundt  $4 \mu\text{g/l}$ , beregnet som et gjennomsnitt av Geirangerfjorden og Storfjorden-ytre.

På vinteren (se Figur 4.4) blir den tilførte konsentrasjonsøkningen i Sunnlyvsfjorden høyere enn på sommeren, og størst påvirkning utenfor Sunnlyvsfjorden får man i vannområdet Storfjorden ved Stranda. I Nordalsfjorden blir den modellerte konsentrasjonsøkningen lavere enn Storfjorden ved Stranda. Konsentrasjonen synker

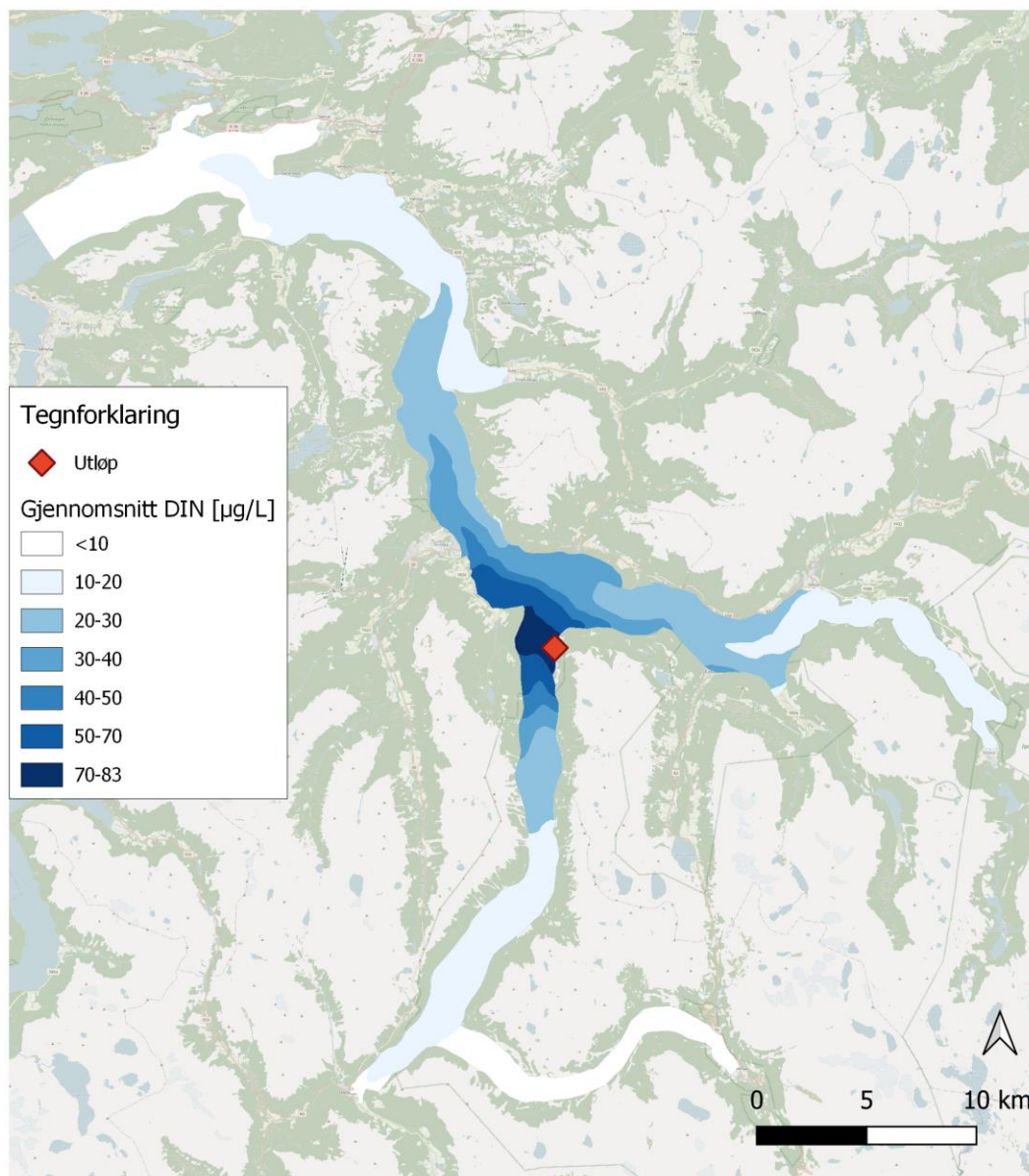
videre ut til Stordalsfjorden-ytre. Bakgrunnskonsentrasjonen av DIN på sommeren er rundt 72  $\mu\text{g/l}$ , beregnet som et gjennomsnitt av Geirangerfjorden og Storfjorden-ytre.

I kapittel 3 ble det anslått at konsentrasjonsøkningen som skulle til for at statusen for DIN blir endret var ca. 10  $\mu\text{g/l}$  på sommeren og 30  $\mu\text{g/l}$  på vinteren.

Den modellerte konsentrasjonen av DIN overstiger dette, men merk at sommer-overkonsentrasjonene av DIN ikke kan inkluderes direkte i vurderingen av effekten av utslippene ettersom en stor del av DIN vil bli inkludert i primærproduksjonen og tas opp av planteplankton. Om vinteren, når primærproduksjonen er lav og metoden mindre usikker, viser modelleringen at det er stor risiko for at klassifiseringen endres.



Figur 4.3 Gjennomsnittlig overkonsentrasjon av DIN (oppløst uorganisk nitrogen) i sommerperioden (jun-aug) i de øvre 10 m av vannsøylen



Figur 4.4 Gjennomsnittlig overkonsentrasjon av DIN (oppløst uorganisk nitrogen) i vinterperioden (des-feb) i de øvre 10 m av vannsøylen

#### 4.2.4 TP konsentrasjoner

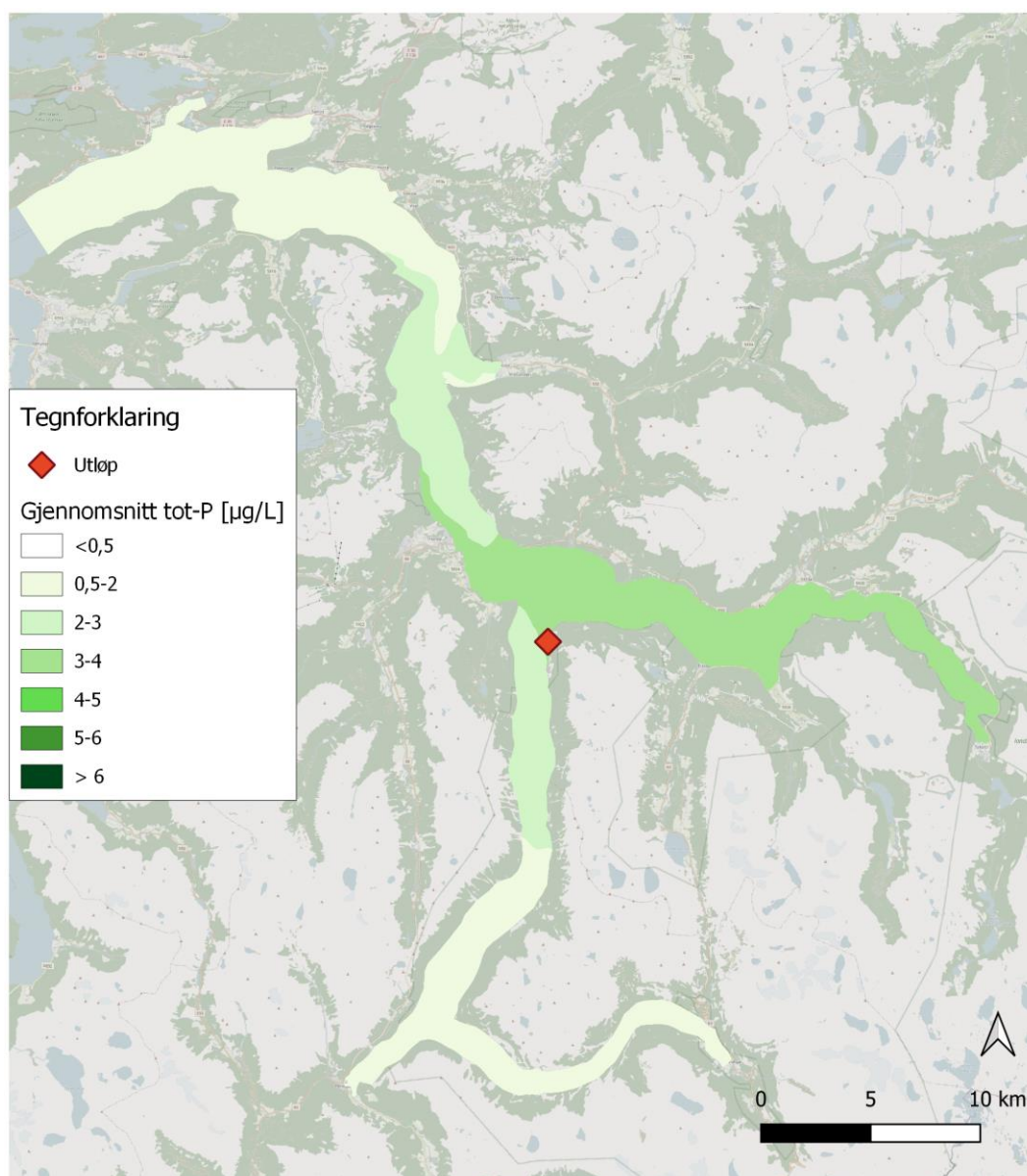
Om sommeren (se Figur 4.5) kommer Nordalsfjorden og vannområdene som ligger lenger øst til å få den største påvirkningen utenfor Sunnlyvsfjorden, mens nivåene flater ut til Geirangerfjorden samt ut mot Storfjorden-ytre. Bakgrunnskonsentrasjonen av TP på sommeren er rundt  $11 \mu\text{g/l}$ , beregnet som et gjennomsnitt av Geirangerfjorden og Storfjorden-ytre

På vinteren (se Figur 4.6) blir den tilførte konsentrasjonsøkningen i Sunnlyvsfjorden høyere enn på sommeren, og størst påvirkning utenfor Sunnlyvsfjorden får en i vannområdet Storfjorden ved Stranda. I Nordalsfjorden blir den modellerte konsentrasjonsøkningen lavere enn Storfjorden ved Stranda. Konsentrasjonen synker

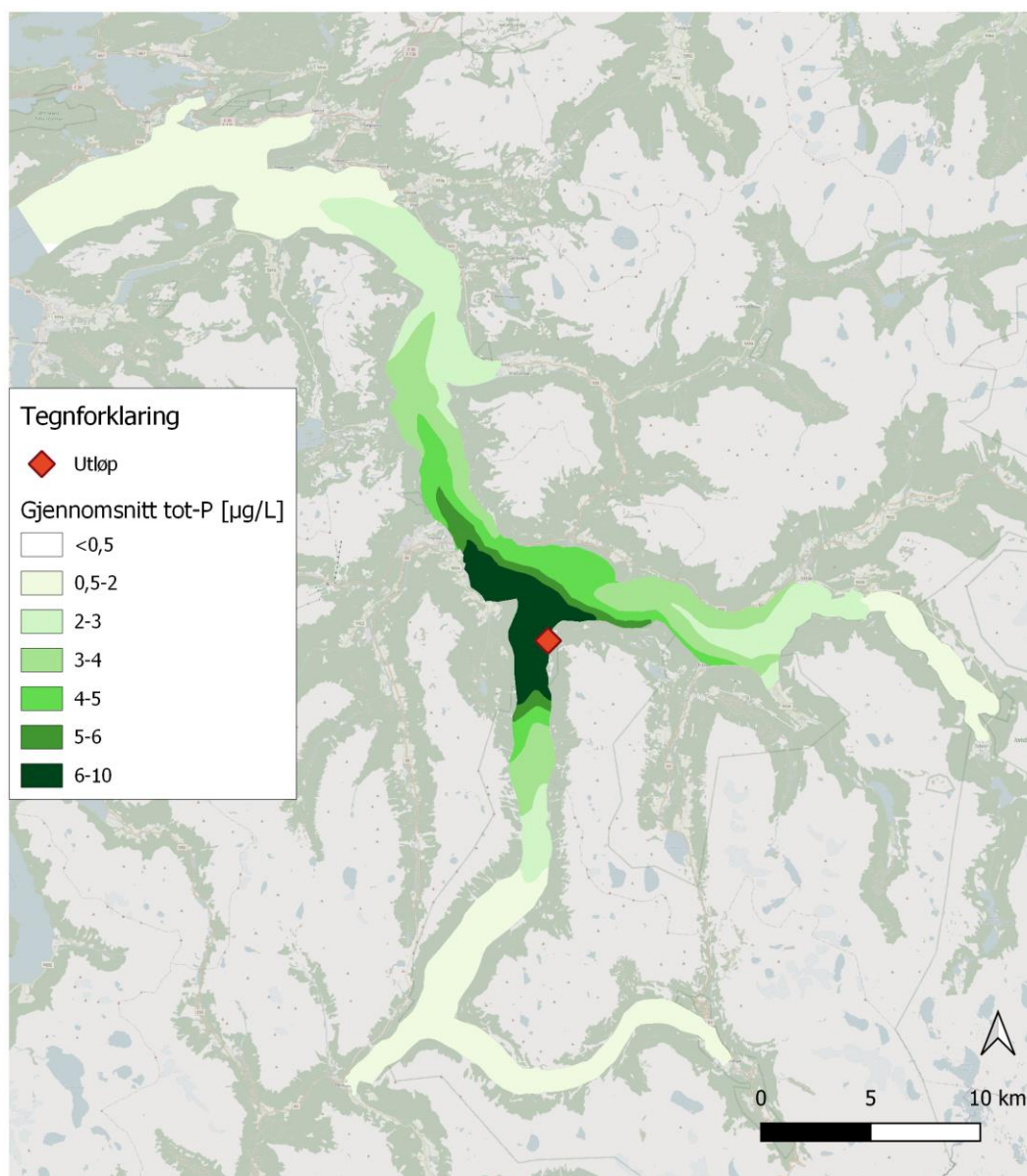


videre ut til Stordalsfjorden-ytre. Bakgrunnskonsentrasjonen av TP på sommeren er rundt 16  $\mu\text{g/l}$ , beregnet som et gjennomsnitt av Geirangerfjorden og Storfjorden-ytre

I kapittel 3 ble det anslått at konsentrasjonsøkningen som skulle til for at statusen til totalfosfor ble endret, var på ca. 5  $\mu\text{g/l}$  for både sommer og vinter. Basert på dette viser modellresultatene at det trolig er mulig å opprettholde en god status for total fosfor om sommeren, men at det om vinteren er risiko for endring av status fra Svært god til God for Sunnlyvsfjorden.



Figur 4.5 Gjennomsnittlig overkonsentrasjon av TP (total fosfor) i sommerperioden (jun-aug) i de øvre 10 m av vannsøylen.



Figur 4.6 Gjennomsnittlig overkonsentrasjon av TP (totalt fosfor) i vinterperioden (des-feb) i de øvre 10 m av vannsøylen

#### 4.2.5 DIP konsentrasjoner

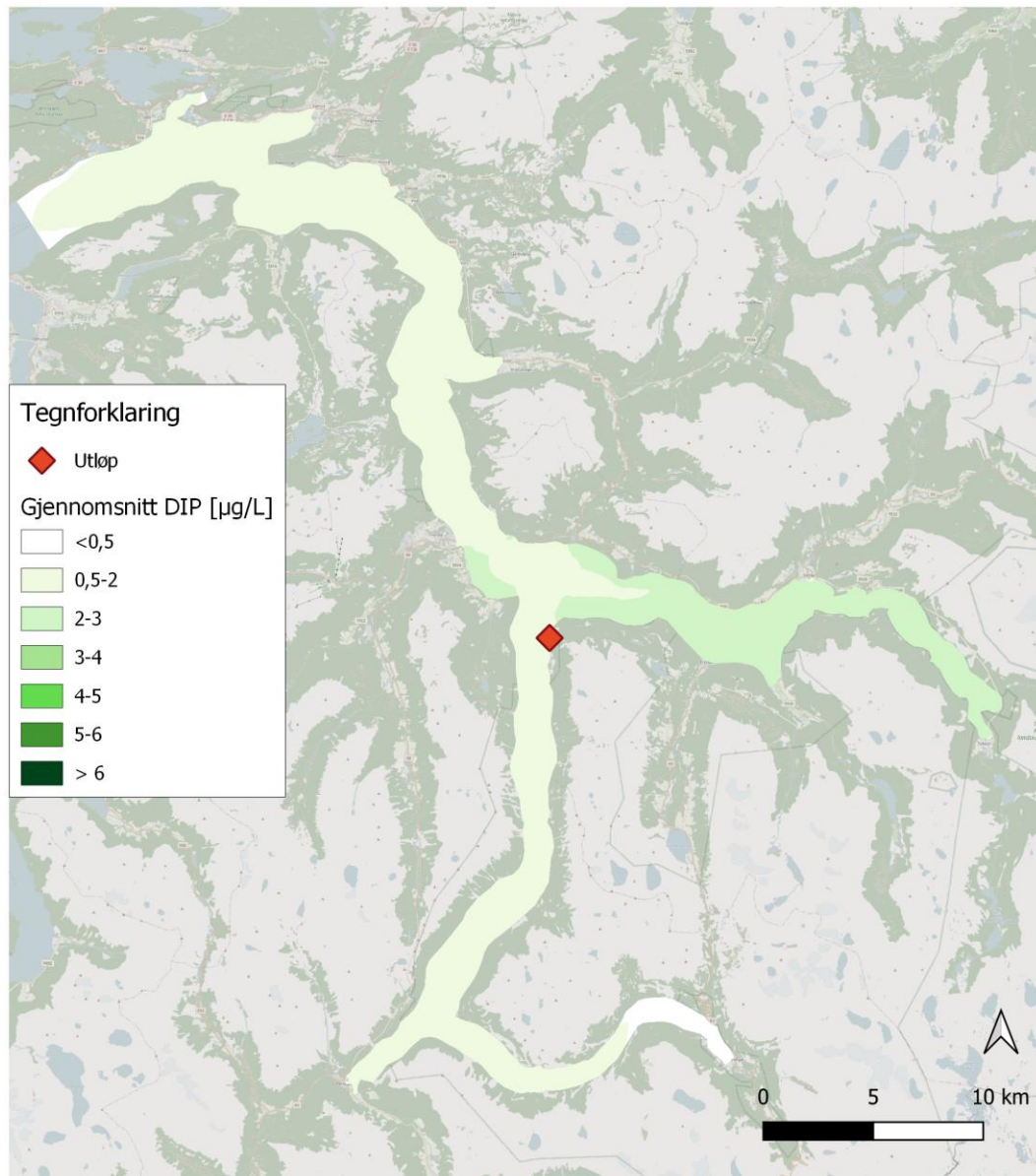
Om sommeren (se Figur 4.7) kommer vannområdene nordøst for Sunnlyvsfjorden til å få den største påvirkningen utenfor Sunnlyvsfjorden, mens nivåene flater ut til Geirangerfjorden samt ut mot Storfjorden-ytre. Bakgrunnskonsentrasjonen av DIP på sommeren er rundt  $4\ \mu\text{g/l}$ , beregnet som et gjennomsnitt av Geirangerfjorden og Storfjorden-ytre

På vinteren (se Figur 4.8) blir den tilførte konsentrasjonsøkningen i Sunnlyvsfjorden høyere enn på sommeren, og størst påvirkning utenfor Sunnlyvsfjorden får man i vannområdet Storfjorden ved Stranda. I Nordalsfjorden blir den modellerte konsentrasjonsøkningen lavere enn Storfjorden ved Stranda. Konsentrasjonen synker videre ut til Stordalsfjorden-ytre. Bakgrunnskonsentrasjonen av TN på sommeren er rundt  $13\ \mu\text{g/l}$ , beregnet som et gjennomsnitt av Geirangerfjorden og Storfjorden-ytre

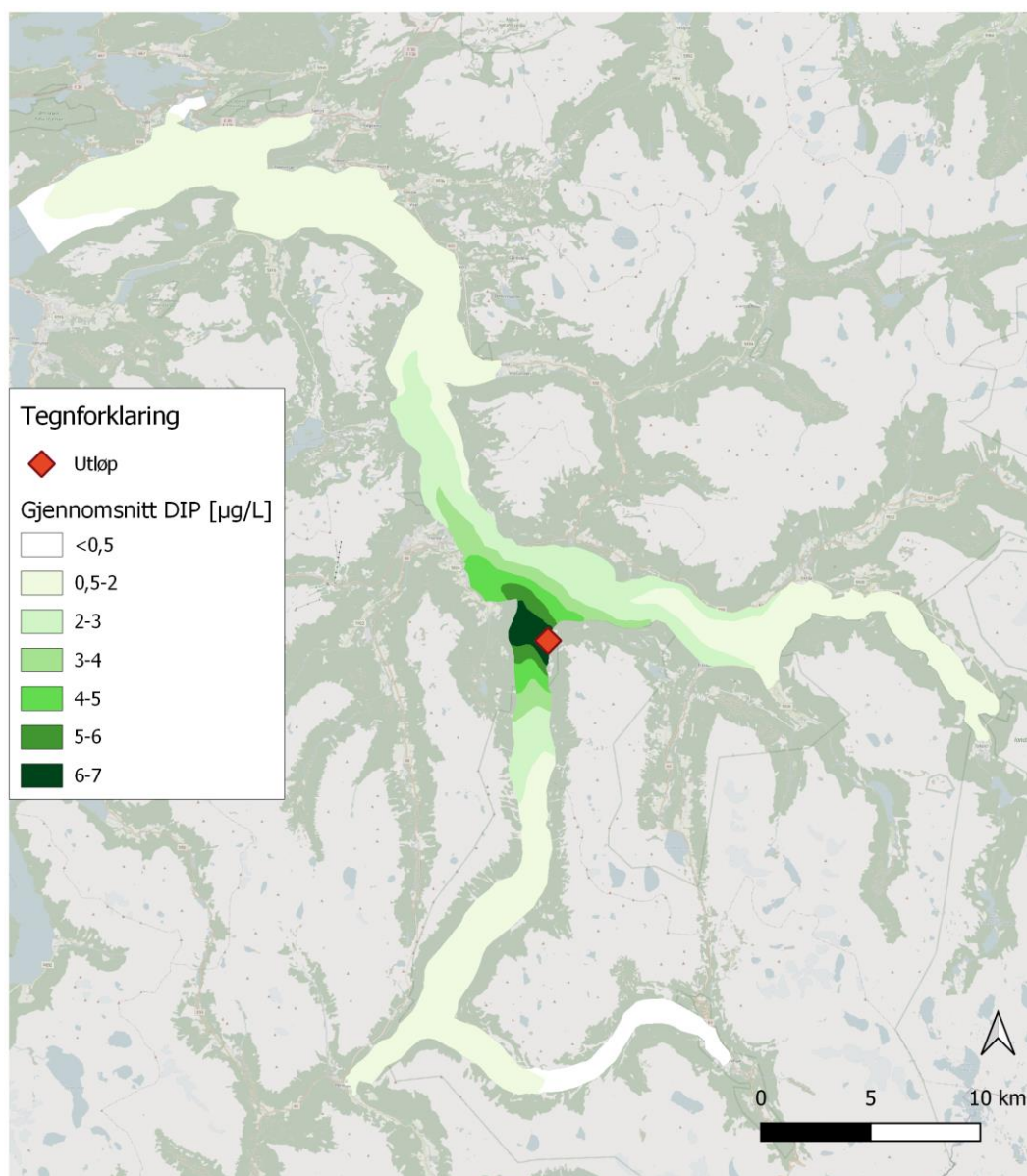


I kapittel 3 ble det anslått at konsentrasjonsøkningen som skulle til for at statusen for DIP blir endret var ca. 5  $\mu\text{g/l}$  på sommeren og 2  $\mu\text{g/l}$  på vinteren.

Merk at sommer-overkonsentrasjonene av DIP ikke kan inkluderes direkte i vurderingen av effekten av utslippene, da en stor del av DIP vil bli inkludert i primærproduksjonen og vil bli tatt opp av planteplankton. Den modellerte konsentrasjonen av DIP på vinteren, når primærproduksjonen er lav, og metoden er mindre usikker, indikerer at det er stor risiko for at klassifiseringen endres.



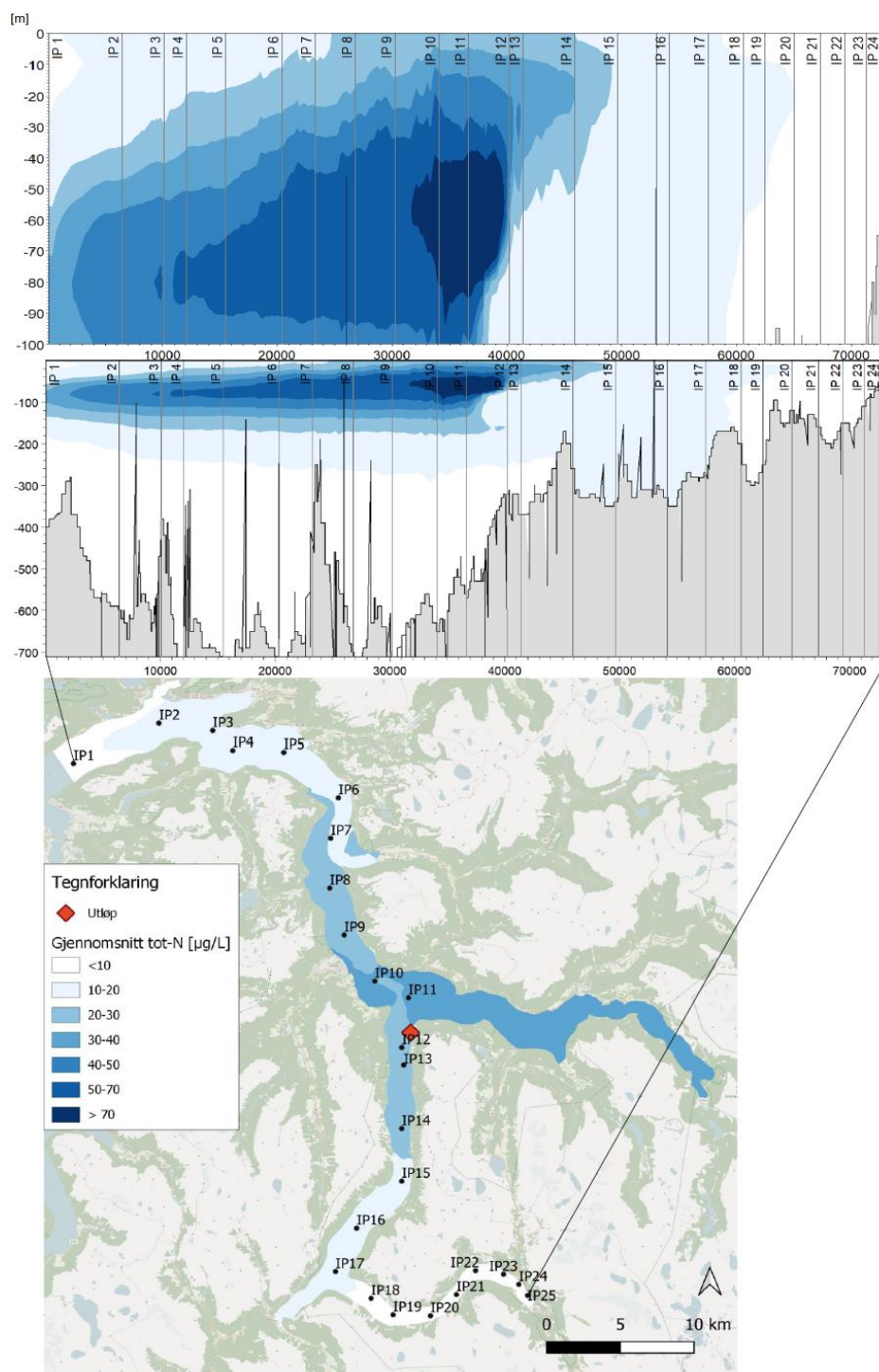
Figur 4.7 Gjennomsnittlig overkonsentrasjon av DIP (oppløst uorganisk fosfor) i sommerperioden (jun-aug) i de øvre 10 m av vannsøylen



Figur 4.8 Gjennomsnittlig overkonsentrasjon av DIP (oppløst uorganisk fosfor) i vinterperioden (des-feb) i de øvre 10 m av vannsøylen

## 4.2.6 Dybdefordeling av utslippet

I Figur 4.9 vises hvordan overkonsentrasjonen av TN er fordelt i vannmassens dybde i sommerperioden (juni-aug). Ettersom utslippet skjer under sprangsjiktet, vil hoveddelen av næringsstoffene ikke nå overflatevannet (0-10m).



Figur 4.9 Gjennomsnittlig overkonsentrasjon av TN (total nitrogen) i sommerperioden (juni-aug) langs et tverrsnitt gjennom fjorden. Øverst er 0-100m zoomet inn, mens hele vannsøylen er vist under. Posisjonene langs tverrsnittet er angitt med svarte prikker i oversiktskartet. Konsentrasjonene i oversiktskartet representerer de øverste 10 m av vannsøylen, de samme som i Figur 4.1.

## 5 Konklusjon

For utførelse av strømodellering, er det satt opp en robust lokal strømningsmodell av fjordområdet rundt Raudbergvika og Sunnlyvsfjorden, med god dekning i både tid og sted. Modellen har inkludert forseringer i form av meteorologiske felter fra CFSV2 (Climate Forecast System), elveavrenning og 3D grensebetingelser fra DHIs regionalmodell. Modellen er validert mot eksisterende målinger for strøm, salinitet og temperatur i lokalområdet og viser en god sammenligning med målingene.

I dette notatet har vi modellert overkonsentrasjoner av næringsstoffene DIN, DIP, TN og TP som en konsekvens av utslipp av næringsstoffer beskrevet i kapittel 1. I modellsimuleringen betraktes næringsstoffene som konservative stoffer. Det betyr at prosesser som fjerner næringsstoffer fra vannmassen ikke er inkludert. Innholdet av stoffet i vannet er kun avhengig av transport med strømmingene og fortykning pga. blandingen i vannet. Andre faktorer som f.eks. vanntemperaturen har kun en indirekte effekt gjennom sin innvirkning på de hydrodynamiske prosessene.

Utslipp av næringsstoffer har en påvirkning på den fysisk-kjemiske støtteparameteren næringsforhold. Screening viser at utslippene risikerer å endre klassifiseringen av næringsforhold for TP i de tre nærliggende vannområdene; Sunnlyvsfjorden-ytre, Nordalsfjorden og Storfjorden ved Stranda fra Svært god til God. Klassifiseringen av DIP om vinteren risikerer også å endre seg til God. DIP om sommeren er ikke vurdert, pga. tidligere nevnte usikkerheter.

Utslipet av TN vill ikke medføre at nåværende klassifisering, Svært god, endres for noen av de nærliggende fjordområdene verken sommer eller vinter. Derimot risikerer klassifiseringen av DIN om vinteren å minimum endres til God. DIN om sommeren er ikke vurdert, pga. tidligere nevnte usikkerheter.

Ettersom den økologiske statusen i vannområdet først og fremst baseres på målinger av bunnfauna kommer denne ikke påvirkes. På lengre sikt kan en mulig økt primærproduksjon i overflatevannet lede til endring av habitater for bunnfauna.

Denne rapporten viser kun overkonsentrasjoner, og dersom man skal analysere den økologiske påvirkningen i detalj må det eventuelt gjøres en økologisk modellering.



## 6 Bibliografi

- Akvaplan-Niva, 2021. *Økokyst – delprogram Norskehavet Nord I, Årsrapport 2020*, s.l.: Miljødirektoratet.
- Birkeland, M. J., Møhlenberg, F., Arenas, J. A. & Brinchmann, K., 2018. *Risk Modelling - Dispersion Potential and Propagation of Pacific Oyster*, s.l.: s.n.
- DHI, 2020. *MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation*. Hørsholm: DHI.
- DHI, 2021. *MIKE 21 FLOW Model, Advection-Dispersion Module, Scientific Documentation*, s.l.: s.n.
- Direktoratsgruppa, 2018. *Veileder 02:2018: Klassifisering av miljøtilstand i vann: Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver*, s.l.: Direktoratets gruppa.
- Miljødirektoratet/NIVA, 2018. *ØKOKUST -delprogram Norskehavet Sør (I), årsrapport*, s.l.: s.n.
- Multiconsult, 2019. *Resipientundersøkelse i Ålesund og Sula kommune*, s.l.: s.n.
- NIVA, 2015. *Contaminants in coastal waters of Norway 2014*, s.l.: s.n.
- Norconsult, 2013. *Resipientundersøkelse i Ålesund og Sula kommuner 2012*, s.l.: s.n.
- Vann-nett, 2021. *Vann-nett*. [Internett]  
Available at: <https://vann-nett.no>



## VEDLEGG A – Validering av den hydrodynamiske modellen

## A Validering av den hydrodynamiske modellen

I dette vedlegget er valideringen av den hydrodynamiske modellen presentert. Her er MIKE 2020 (DHI, 2020) brukt til beregningene.

### A.1 Input til modellen

Til prosjektet er to typer modeller benyttet; en hydrodynamisk modell til beregning av strømmingen i Raudbergvika og de omkringliggende fjordene, og en transportmodell brukt til partikkelspredning. Simuleringsperioden er 1. januar 2014 til 1. januar 2015.

Til forsering av den hydrodynamiske modellen er det brukt atmosfæriske forhold som påvirker Raudbergvika-systemet både regionalt og lokalt; regionalt gjennom de åpne grensene (hentet ifra en operativ DHI-modell, som tidligere er blitt validert (Birkeland, et al., 2018)) og lokalt gjennom vindspenning, lufttrykkvariasjoner, nedbør / fordampning og varmevekslingsprosesser som virker direkte på vannoverflaten og påvirker dermed sirkulasjon, blanding, stratifisering og vannbalanse.

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

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

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

Merk at den hydrodynamiske modellen beregner fordampningen internt i varmevekslingsmodulen.

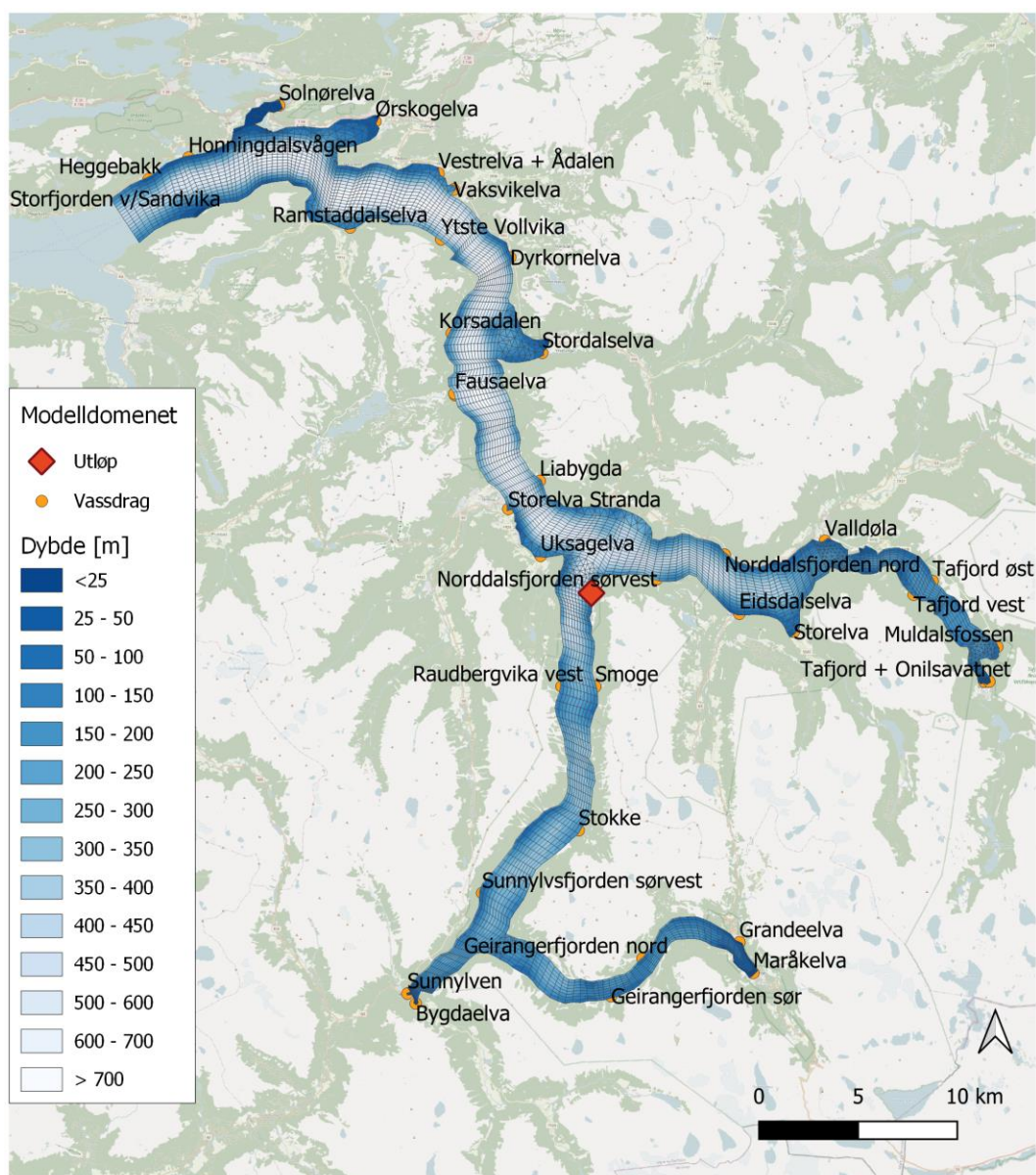
De meteorologiske dataene kommer fra CFSV2 (Climate Forecast System) (regional WRF (Weather Research and Forecasting)), en modell med en oppløsning på 1 time i tid og  $0,2^\circ$  i det geografiske domenet for vind, lufttemperatur og skydekke, og  $0,5^\circ$  for de andre parameterne.

I den hydrodynamiske modellen er det lagt til et utslipp i «Utløp» i Figur A-1, som ligger i innlagringsdybden på -60 m dybde. Utslipet fra anlegget er på  $87,5 \text{ m}^3/\text{min}$  og med en saltholdighet som det omkringliggende vannet. Dette er beskrevet i kapittel A.2.1. WHS AS sine to inntak er ikke inkludert i modellen, men det er gjort en måneds test om det ville ha noen påvirkning på nettostrøm og partikkelspredning, hvilket det ikke hadde.

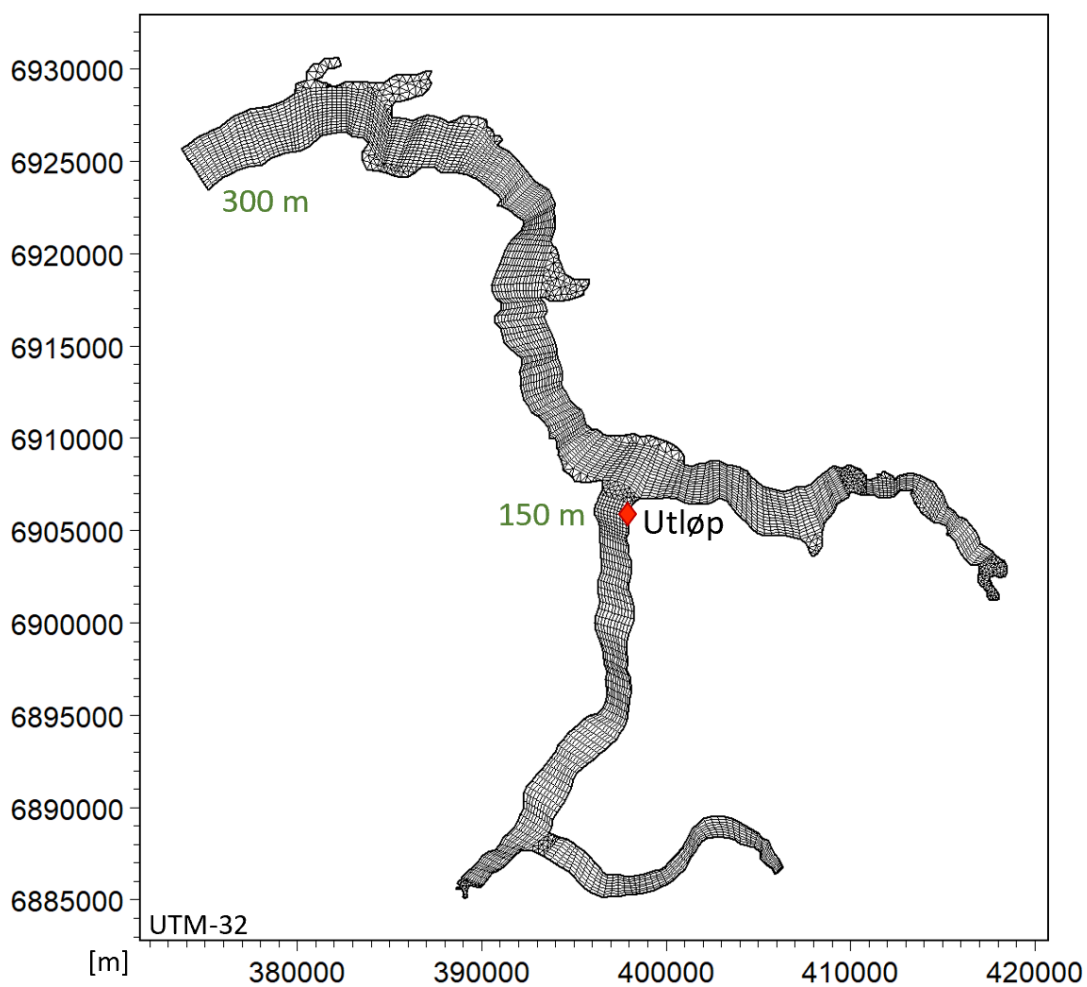
Avrenningen til fjorden er representert ved de viktigste 39 elvene/kraftverkene, som er inkludert i modellen som ferskvannskilder. Tidsseriene for vannføring og vanntemperatur er hentet ut fra NVEs database Hydra II. Driftsvannføring fra Tafjord 1 og 4 er estimert basert på vannføringsdata fra nabovassdrag og kraftverkens slukeevne. Det er antatt at det ikke går overløp ved Zakariasdammen og Onilsavatnet, slik at alt tilsig som er større en kraftverkens slukeevne blir lagret i kraftverkens magasin. Dette er antagelser som introduserer usikkerhet i vannbalansen innerst i Tafjorden. Flere av elvene i modellen har ingen målte data på vannføring og for disse er det konstruert kunstige tidsserier basert på data fra nærliggende målestasjoner.

## A.2 Modellområde og -opløsning

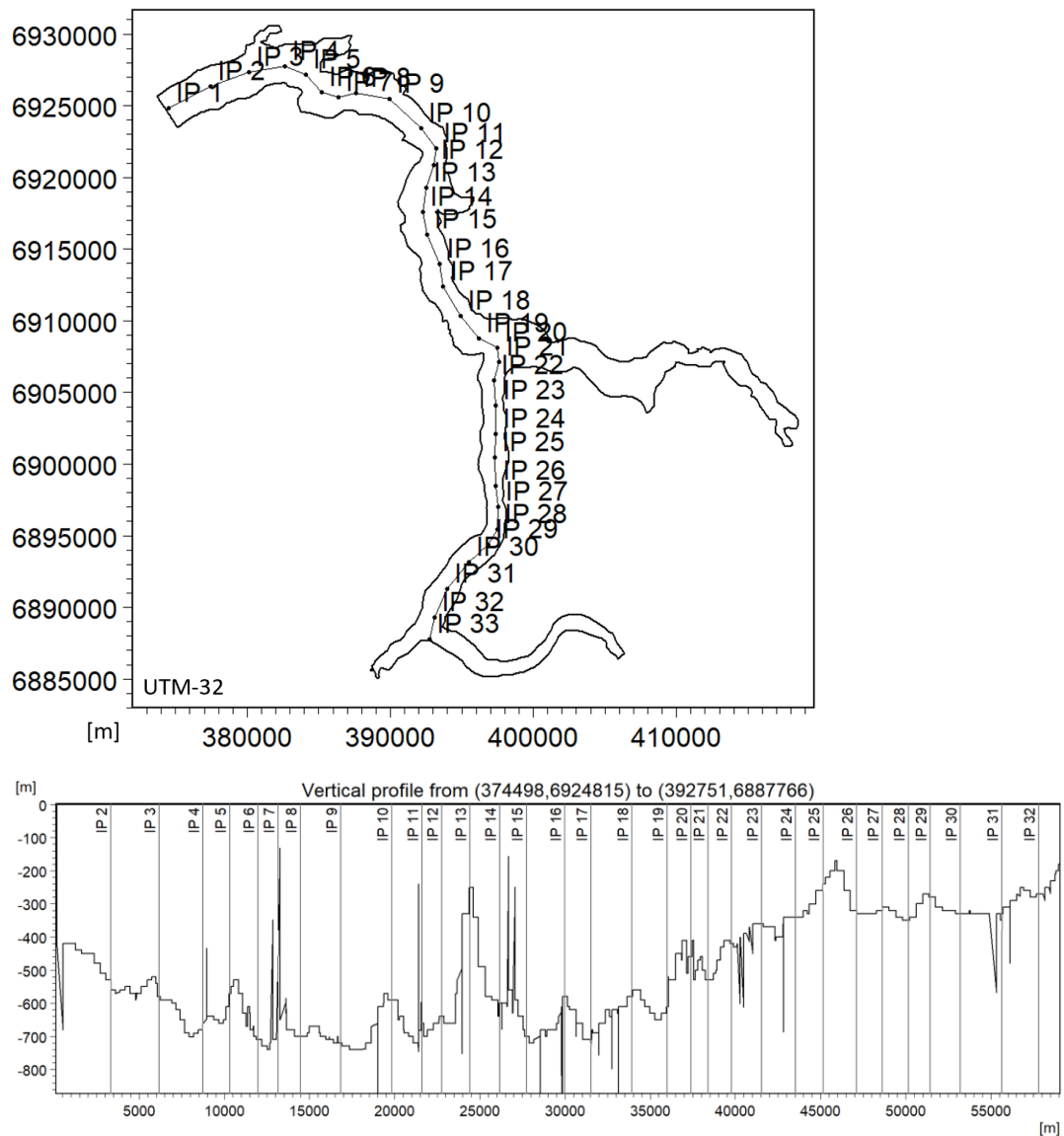
Modellområdet og avrenningskilder er vist i Figur A-1, og modellopløsningen er vist for henholdsvis horisontal og vertikal retning i Figur A-2 og Figur A-4. Oppløsningen i modellområdet varierer mellom 150 – 300 m horisontalt, og mellom 2,5-10 m (2,5-5 m i interesseområdet) vertikalt. I Figur A-3 er en tverrgående transekt gjennom fjordsystemet vist.



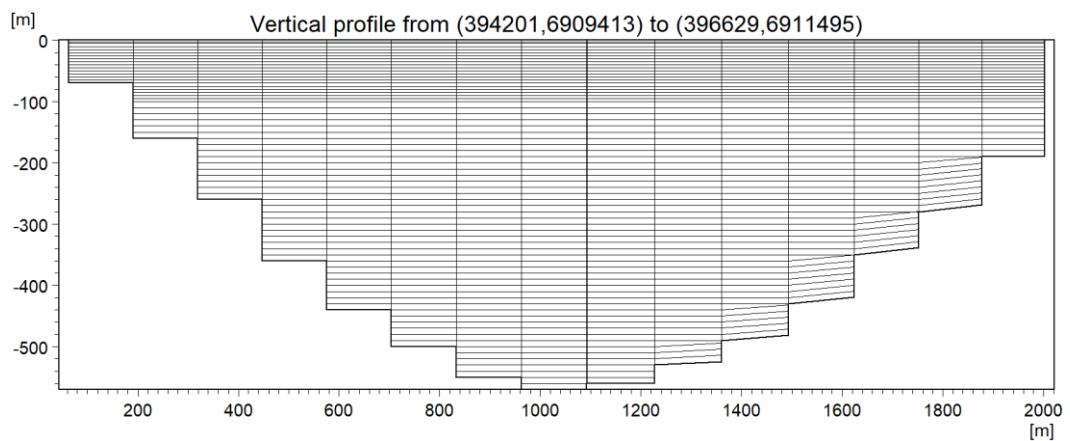
Figur A-1 Modellområde og avrenningskilder.



Figur A-2 Horizontal modeloppløsning, varierende mellom 100 – 300 m.



Figur A-3 Tverrgående transekt gjennom Raudbergvika-systemet.



Figur A-4 Vertikal modelloppløsning, varierende mellom 2,5 - 10 m, tatt ca. ved IP18 i Figur A-3.



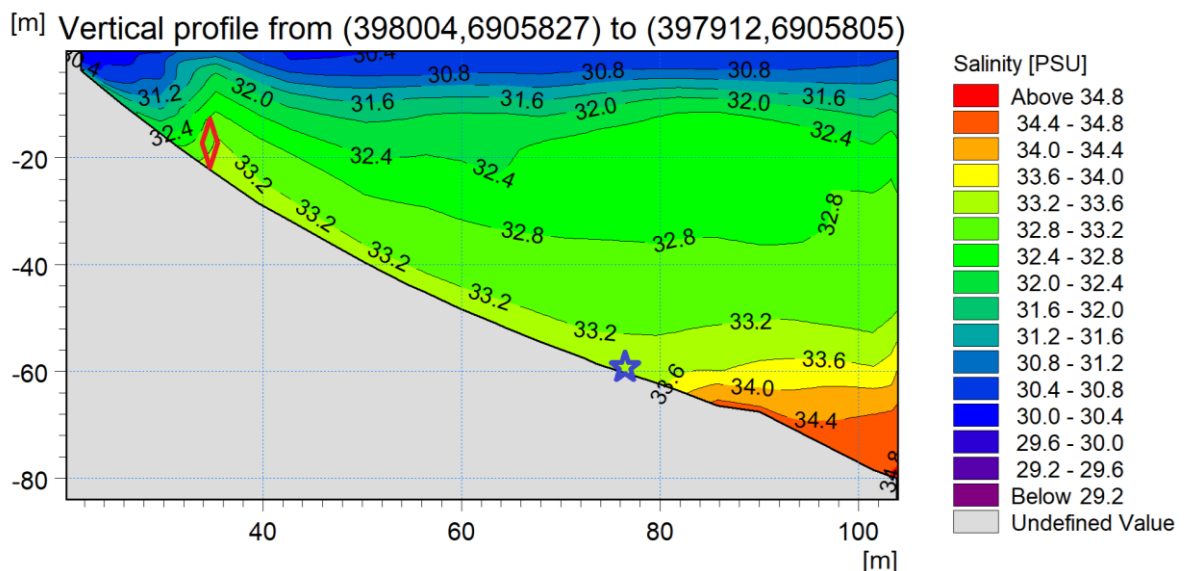
## A.2.1 Utløp

Det undersøkte utløpet antas å bestå av en 8x8 m utløpsport på 20m vanddyb (se beskrivelsen i kapittel 1). Vi antar at utløpet er orientert vekk fra land. Vannføringen i utløpet forventes å være 87,5 m<sup>3</sup>/s, som gir en hastighet i utløpstunnelen på ca. 1,4 m/s. Siden utløpsvannet består av sjøvann hentet på hhv 40 m og 80 m dybde, vil det være tyngre (større massetetthet) enn det omkringliggende vannet på 20 m dybde pga. større saltholdighet ved et større vanddyb. Det må derfor forventes at det dannes en tung bunnstrøm fra vannet fra utslippet som beveger seg i «nedoverbakke» til et dypere nivå før det innlagres i fjordens omgivende strømning. Den resulterende innlagringsdybden er viktig å kjenne til for å representere utløpet på en realistisk måte i strømningsmodellen (fjordmodellen).

For å estimere innlagringsdybden er det etablert en forenklet høyoppløst 3D lokalmodell med horisontal oppløsning på ca. 8 m og lagtykkelser på ca. 1 m i 20 m vanddybde. I denne modellen beskrives utløpet av 8 modellkilder, slik at utløpsarealet blir ca. 8x8 m<sup>2</sup>. Kildene er orientert bort fra kysten og spesifisert med total vannføring på 87,5 m<sup>3</sup>/s og en utløpshastighet på 1,4 m/s. Saltholdigheten i utslippet (S-utløp) er estimert til 34 PSU basert på målte gjennomsnitt fra 40 m og 80 m dybde og en antagelse om at 50% av vannet hentes fra hver dybde (S-utløp = 0.5 \* 33 PSU + 0.5 \* 35 PSU = 34 PSU). Til sammenligning er saltholdigheten i det omkringliggende vannet på 20 m vanddybde ca. 32,5 PSU.

Lokalmodellen er etablert med en gjennomsnittlig lagdeling basert på målte saltholdighets- og temperaturprofiler. Modellen utføres uten omgivelsesstrøm og i kvasi-stasjonær tilstand (modellperiode på 1 dag).

I Figur A-5 er det kvasi-stasjonære resultatet fra lokalmodellen vist. Basert på modellresultatet er utløpets innlagringsdybde estimert til 60 m dybde. I strømningsmodellen (fjordmodellen) er utløpskilden dermed plassert på 60 m dybde.

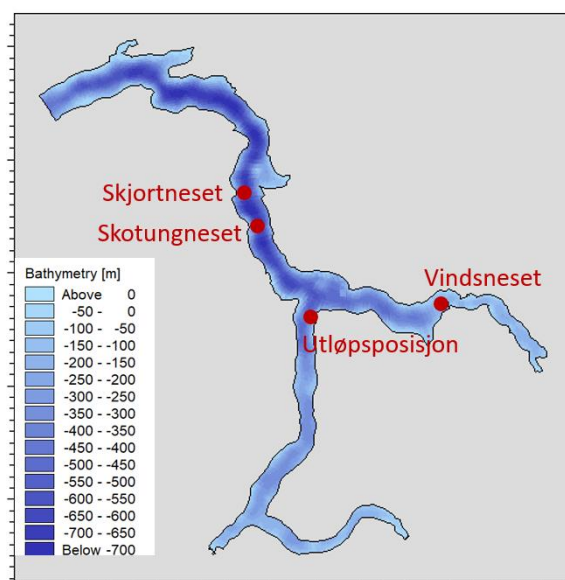


Figur A-5 Øyeblikksbilde av vertikal profil fra høyoppløst 3D lokalmodell av utløpets "nærfelt". Utløpet på 20 m vanddyb er markert med rød diamant og innlagringspunktet på 60 m vanddyb med blå stjerne. På grunn av høyere saltholdighet i utløpet dannes det en tung bunnstrøm som beveger seg i "nedoverbakke", mens den trekker med seg omkringliggende vann. I ca. 60 m dybde har utløpsvannet oppnådd en saltholdighet på ca. 33,4 PSU, hvilket svarer til det omkringliggende vann, derfor vil utløpsvannet innlagres i den omkringliggende strømningen.

Som et sideresultat indikerer den høyoppløselige lokalmodellen at strømningshastighetene i den dannede tunge bunnstrømmen er betydelige (mellom gode 1 m/s tett på utløpet og 0,2-0,3 m/s i innlagingspunktet). Videre indikerer den høyoppløselige lokalmodellen at det dannes en betydelig returstrøm (opp til 0,5-0,6 m/s eller høyere) bak utløpet på grunt vann. Hvis disse genererte strømmene og deres effekter (f.eks. lokal erosjon) skal undersøkes videre, kreves det et mer detaljert modellstudie.

## A.3 Modellvalidering

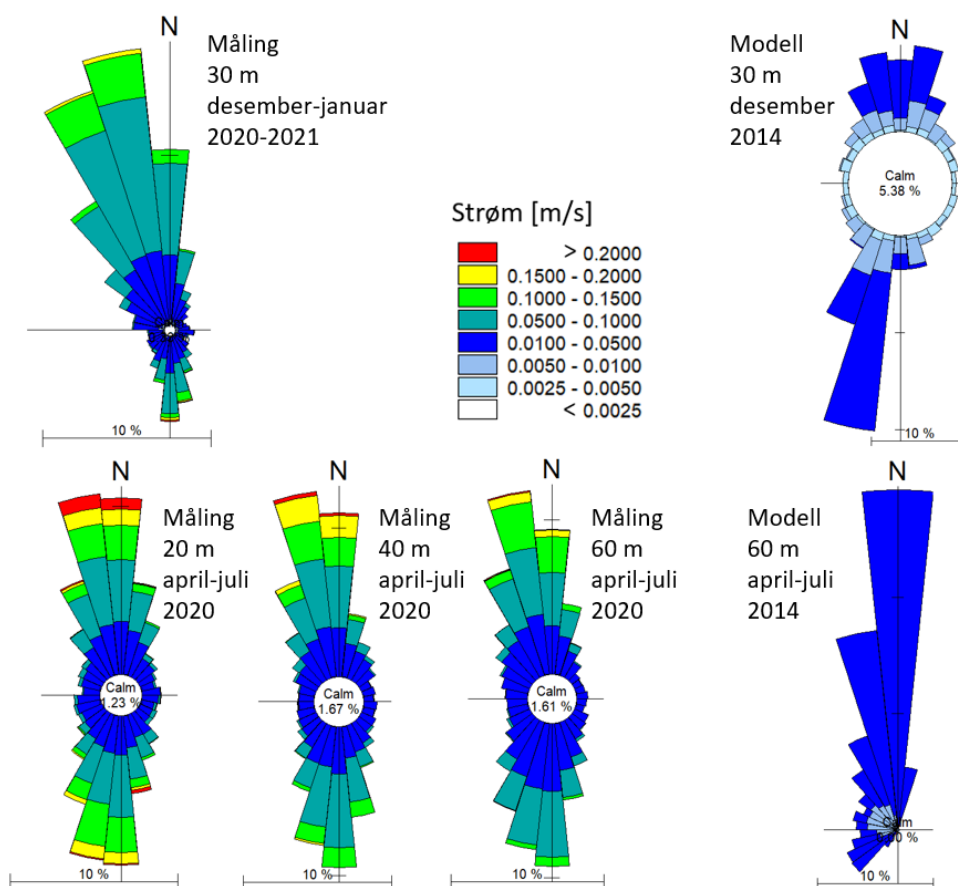
Strømningsmodellen er kalibrert og validert mot tilgjengelige, relevante målinger for området (målinger av vannstand, saltholdighet, temperatur, strøm i ulike posisjoner), for å sikre at sirkulasjon og vannutskiftning for simuleringsperioden beskrives riktig. Modellen settes opp til å simulere en periode på ett år, fra 1. januar 2014 til 1. januar 2015. Denne perioden er valgt for å sikre at sesongvariasjonene er inkludert. Posisjonen til målestasjonene er vist i Figur A-6.



Figur A-6 Posisjoner hvor det er gjennomført målinger.

### A.3.1 Strøm

Det er utført strømmålinger ved utslippet ved -20, -40 og -60 m april – juli 2020 og -30 m desember-januar 2020-2021. Siden målingene og modellen er for to forskjellige år er de ikke helt sammenlignbare, men en kan se fra strømsosene i Figur A- 7, at modellen gir noe lavere hastigheter. Når det gjelder retningen på -60 m er har modellen hovedretning nordover, mens målingene er litt mer varierende, men har også de sterkeste strømmingene nordover. Som vist i Figur 2.3 så er det rundt -60m at nettostrømretning i Norddalsfjorden at det lag som har hver sin netto strømningsretning, så valg av lag (over eller under -60 m) har trolig stor påvirkning; i tillegg til at modellen har lag på 5 m, som kan være noe grovt for å få korrekt strømse. På -30 m er det nord-sør strømretning, men modell og måling viser motsatt hovedretning. Som figurene viser har modellen en lavere variabilitet enn målingene og gir mer en representasjon av overordnede strømsituasjonen, som vi anser som realistisk. I tillegg er modellen relativt grovt oppløst horisontalt, i forhold til helt lokale prosesser, som også kan være grunnen for forskjellene. Det samme gjelder vindfeltene som er på 0,2°, hvilket ikke fullt oppløser de variable vindforholdene på fjordene.



Figur A-7 Strømroser ved utslippspunktet for målt og modellert strøm på -20, -30, -40 og -60 m.

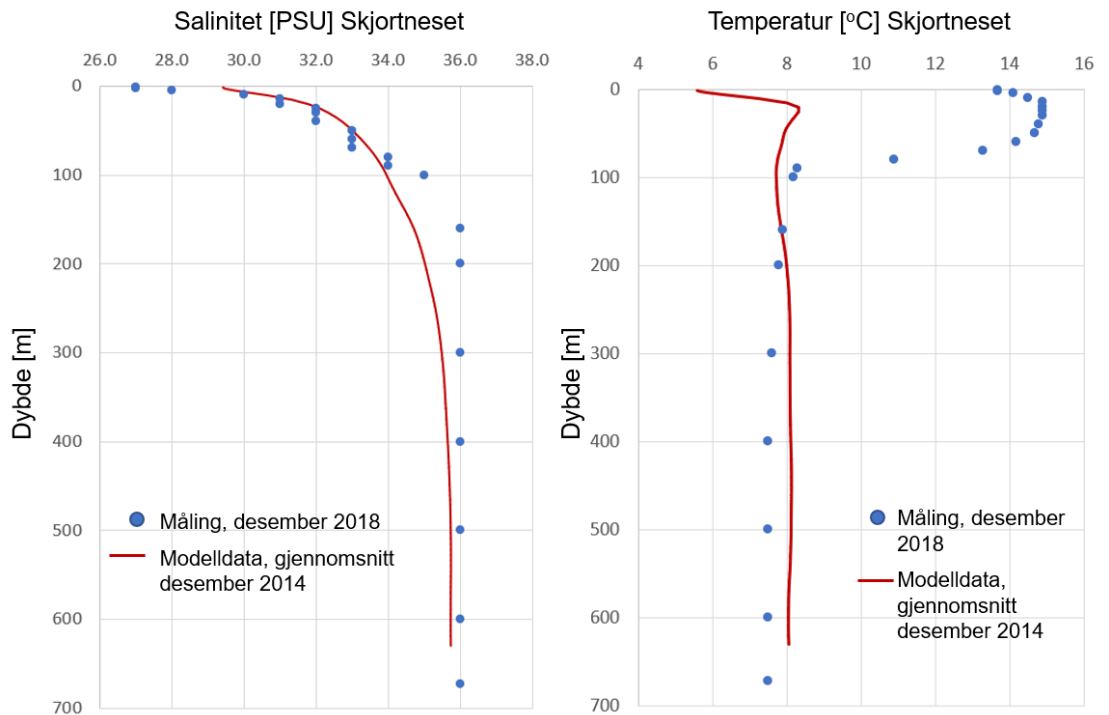
### A.3.2 Temperatur og salinitet

Lagdelingen i fjorden er karakterisert ved markante vertikale gradienter i de øverste 150 m av vannsøylen, og dypere er det et relativt homogent bunnlag med svake gradienter. Disse karakteristikene kan en se i både målingene og modellresultatene.

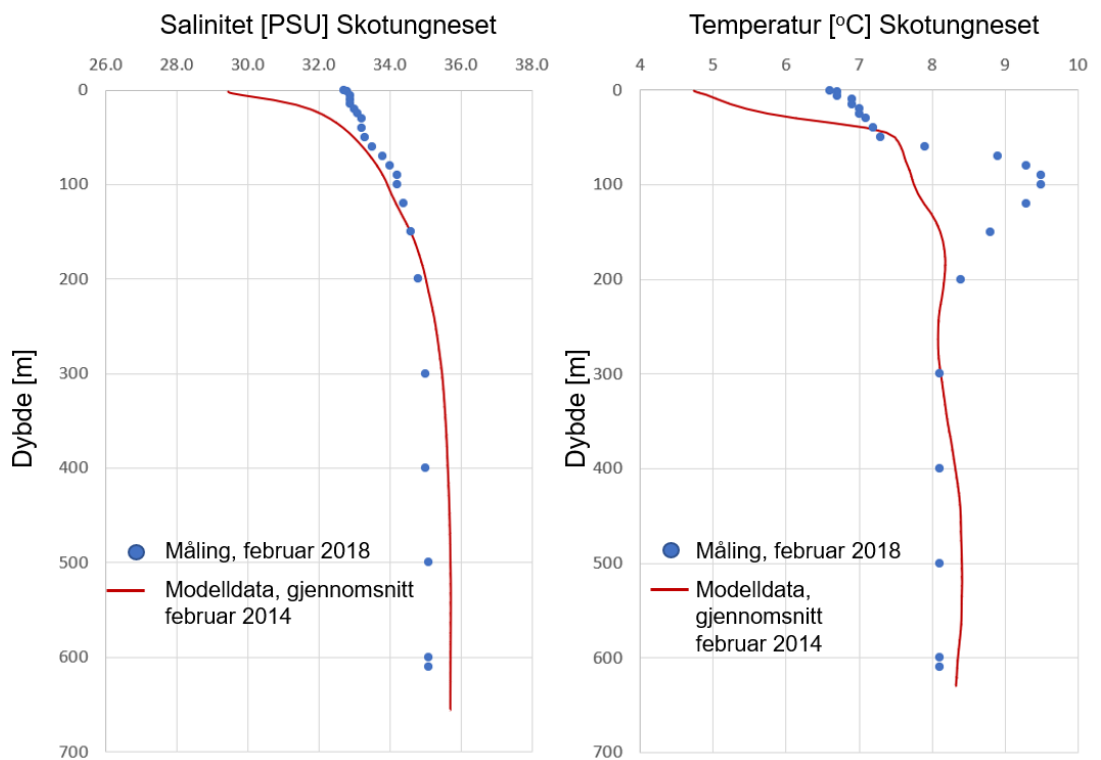
Det er utført måling av temperatur- og salinitetsprofil ved Skjortneset, Skotungneset og Vindsneset. For å sjekke lagdelingen i modellen er modellresultatet sammenlignet med måledataene. For Skjortneset og Skotungneset er modellresultatene sammenlignet med målinger i 2018, mens Vindsneset er sammenlignet i 2013. Sammenligningene er vist i Figur A-8-Figur A-10, her kan man se at lagdelingen ser fornuftig ut sammenlignet med målingene.

Ingen av målingene er gjort i modellperioden, men en kan se for salinitet at de sammenligningene gir en relativt god korrelasjon, spesielt for i det litt dypere vannet, som er det som er sammenlignbart; siden det skiftes saktere ut og ikke er like påvirket av ferskvannskildene.

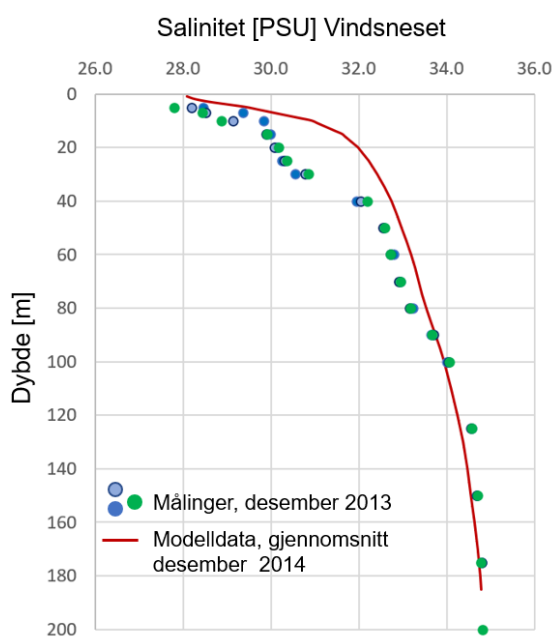
For temperatur kan en se at for dypvann gjengir modellen målingene bra, mens det øverste laget av vannsøylen, som er sterkt påvirket av varmeutveksling med atmosfæren og ferskvannsavrenning og dets temperatur, er modellen ganske forskjellig fra målingene. Men dette er ikke overraskende, da dette er for to forskjellige år.



Figur A- 8 Salinitet og temperatur ved Skjortneset desember 2018.



Figur A- 9 Salinitet og temperatur ved Skotungneset februar 2018.



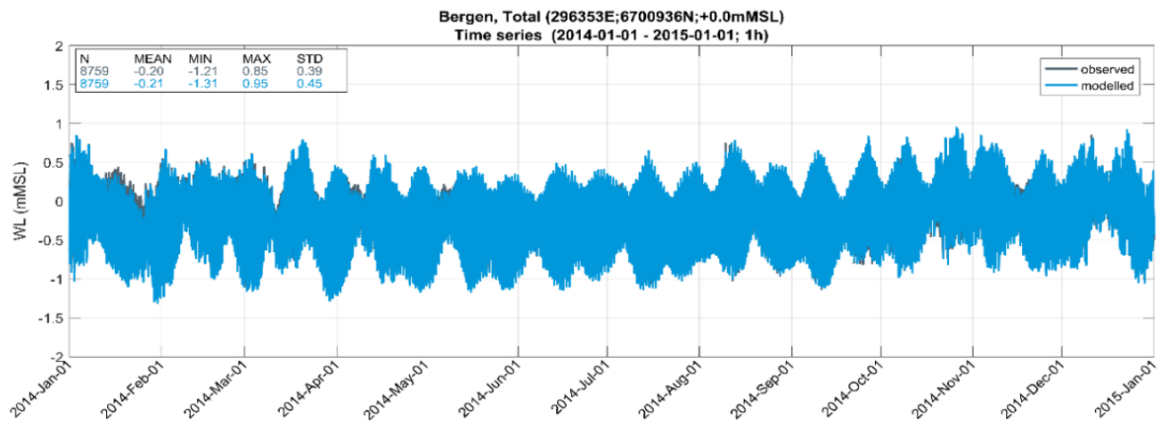
Figur A- 10 Salinitet ved Vindsneset desember 2013.



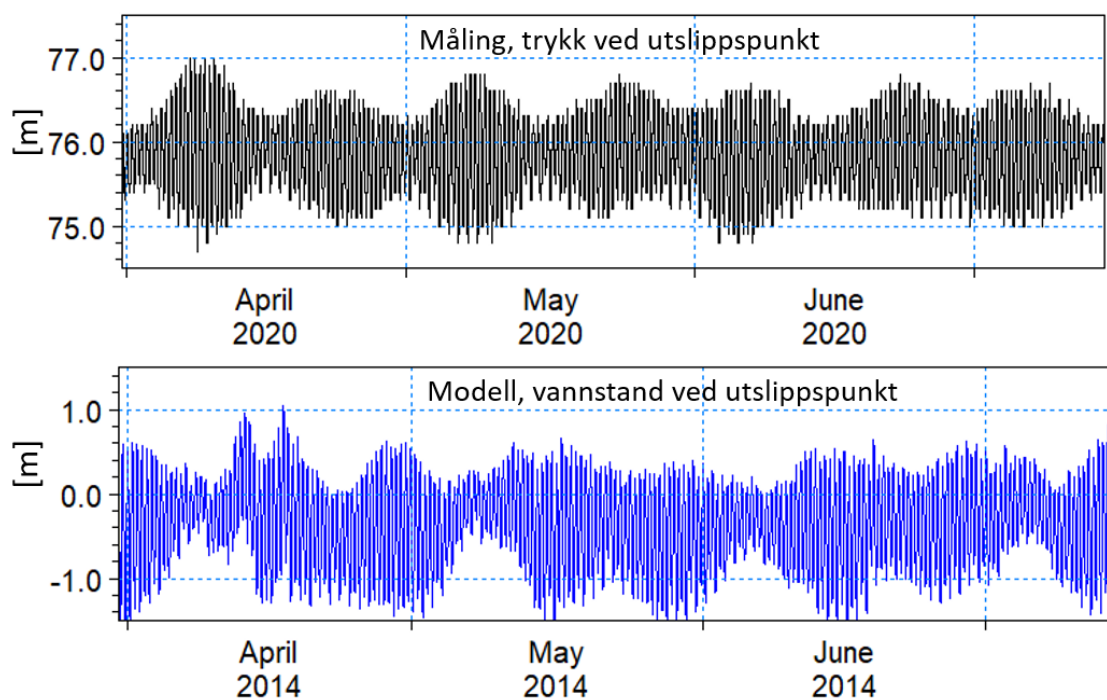
### A.3.3 Vannstand

Vannstanden i fjorden er styrt av tidevann og residuale prosesser som skiftende værssystemer, som gir variasjoner i middelvandstanden.

Det har ikke vært tilgang på vannstandsdata i modellområdet i 2014, men den regionale modellen som lager grensene til lokalmodellen i fjordsystemet er validert for vannstand. I Figur A-11 er valideringen for nærmeste stasjon, Bergen, vist (Birkeland, et al., 2018). Man kan se i figuren at regionalmodellen reproduserer den målte vannstanden godt, derfor kan en også anta at også lokalmodellen har en god representasjon av vannstanden. I 2020 ble trykket målt ved utslippspunktet, dette er vist i Figur A- 12 og sammenlignet med modellert vannstand i samme periode i 2014. Disse er selvsagt ikke identiske, men en kan se at amplitudene og variabiliteten (tidevann med flo og fjære, springflo og nippflo, og residuale prosesser) er noenlunde like.



Figur A-11 Sammenligning mellom regionalmodell og målt vannstand i Bergen 2014 (Birkeland, et al., 2018).



Figur A- 12 Målt dybde basert på trykk ved utslippspunktet i april – juli 2020 er vist i den øverste figuren, og modellert vannstand for april – juli 2014 er vist i den nederste figuren.