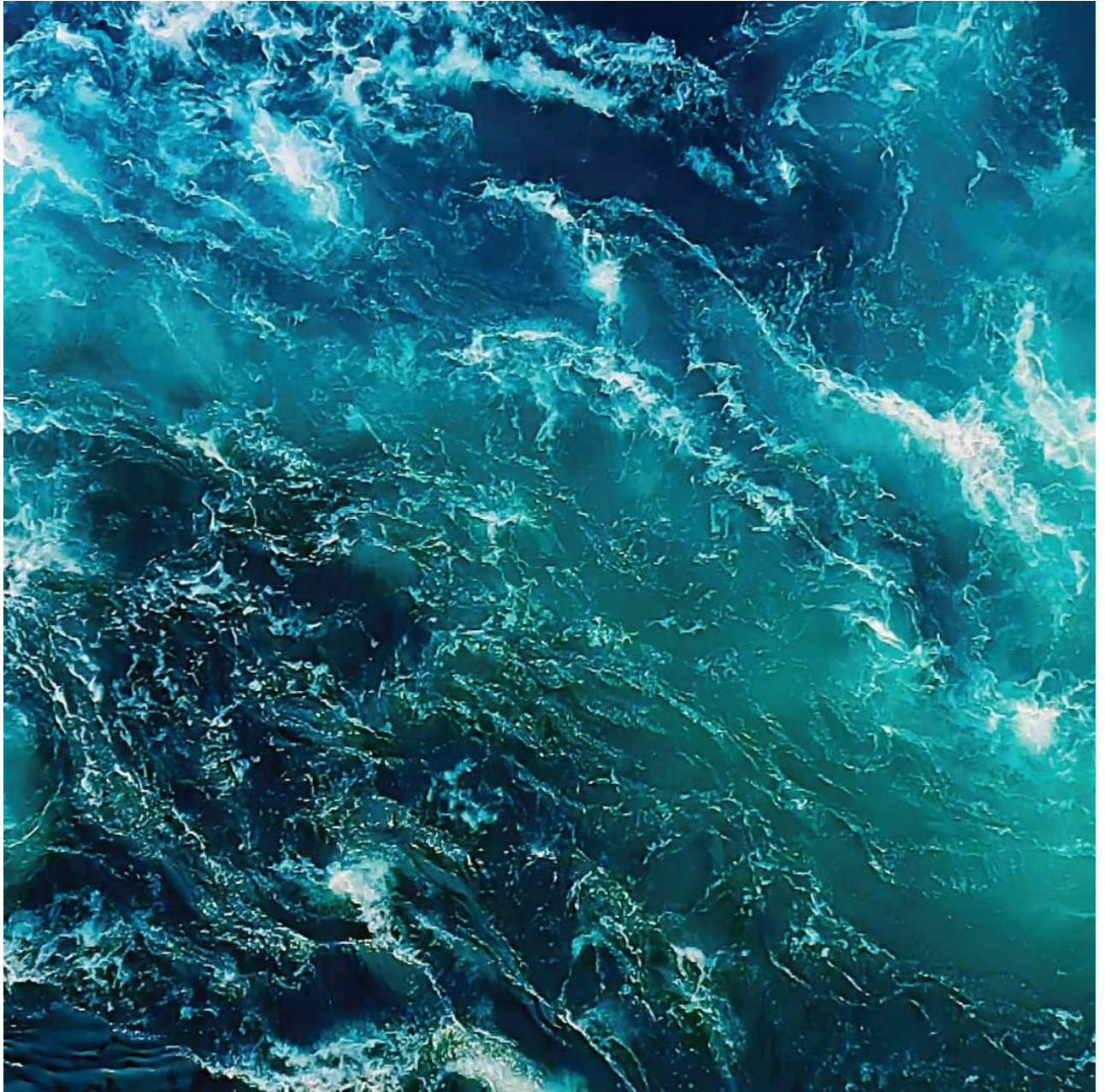


Nordfolda - modellering og vurdering av bærekraft

Akvaplan-niva AS Rapport: 2023 61681.01



Nordfolda - modellering og vurdering av bærekraft

Forfatter(e) Øyvind Leikvin, Hans Kristian Djuve, Anne Tårånd Aasen,
Evgeniy Yakushev, Achim Randelhoff

Dato 11.12.2023
Rapport nr. 2023 61681.01
Antall sider 105
Distribusjon Gjennom kunden
Kunde Cermaq Norway AS
Kontaktperson Silje Ramsvatn

Sammendrag

Modelleringen av bærekraft med en kombinasjon av den hydrodynamiske modellen FVCOM og spredningsmodulen FABM, samt terskelfjord- og bærekraftsmodellen FjordEnv er utført for fjordsystemet Nordfolda.

Vi har valgt å definere bærekraft i denne studien som et produksjonsnivå der bassengvann i dypområder ikke belastes med mer organisk materiale enn at oksygenminimum opprettholder seg i tilstandsklasse II (God) eller bedre, samt at siktedypet i overflatelaget ikke reduseres med mer enn 10%.

Målinger av temperatur, saltholdighet og oksygen i vannsøylen, i tillegg til strømmålinger på de viktigste terskler og i dypbassenget i Nordfolda, har støttet opp om og verifisert resultatene til den hydrodynamiske modellen og bærekraftsmodellen.

Dypbassenget i Mørsvikfjorden har sjelden utskiftning av vannmassene, og terskelfjordmodellen estimerer at det kan gå 4 - 6 år mellom hver gang nytt havvann kommer ned i dypet på snaue 530 m. Målinger sommeren 2021 har vist at oksygenminimum i bunnvannet før omrøringen tilsvarte tilstandsklasse IV, dårlig (2,0 ml/l). Derfor er dette dypbassenget sårbart, selv om volumet er relativt stort og har derfor stor kapasitet til å nedbryte tilført organisk materiale.

Spredningssimuleringer med FVCOM/FABM viser at omtrent halvparten av det organiske materiale fra dagens oppdrettsaktivitet ved Martnesvika går til dypbassenget under terskeldypet på ca. 180 m. Ifølge simuleringene med de tre modellene FVCOM, FABM og FjordEnv er mengden organisk materiale som blir tilført via oppdrettsaktivitet i samme størrelsesorden som naturlig tilførsel til dypbassenget i Mørsvikfjorden.

Angående næringssalter i overflatelaget til Mørsvikfjorden, så viser FjordEnv-modellen at produksjonsmengden til anlegget Martnesvika i 2020 – 2021 var godt innenfor akseptverdier for reduksjon av siktedyp.

Vinkfjorden har god kapasitet til å omsette organiske utslipp fra nåværende oppdrettsproduksjon, med tanke på tilførsler av organisk materiale vs. vannutskiftning i dypbassenget, samt belastning av næringssalter i overflatevannet.

Studien viser at Nordfolda har meget stor resipientkapasitet takket være at det er hyppig utskiftning av vannmasser og stort volum i dypbassenget.

Når man ser på den totale belastning av næringssalter fra fiskeoppdrett, kloakk og industri for hele fjordsystemet, viser bærekraftsmodelleringene kun en beskjeden reduksjon av siktedypet, og at denne er godt innenfor modellens veiledende akseptgrenser med nåværende maksimale produksjon.

Totalt sett har altså modelleringer og målinger vist at utslipp av organisk materiale og næringssalter fra oppdrettsaktivitet i 2020 – 2021 var markant, men godt innenfor bæreevnen for fjordsystemet Nordfolda, i både overflatelag og i bassengvann. Unntaket er dypbassenget i Mørsvikfjorden.

Godkjenninger


Øyvind Leikvin
Prosjektleder


Magnus Drivdal
Kvalitetskontroll rapport

Innholdsfortegnelse

FORORD	4
1 INNLEDNING.....	5
1.1 Prosjektbeskrivelse.....	5
1.2 Områdebeskrivelse.....	5
2 INSTRUMENTER OG METODE	10
2.1 Målinger.....	10
2.1.1Hydrografi.....	10
2.1.2Strøm	13
2.1.3Næringssalter.....	13
2.2 Modellering av hydrodynamikk med FVCOM.....	14
2.2.1Beskrivelse av modell og modelloppsett	14
2.2.2Inngangsdata	16
2.3 Modellering av sedimentering/Karbonavsetning med FVCOM.....	17
2.3.1Sedimenteringsmodellen	17
2.3.2Inngangsdata fra produksjon av laks	17
2.4 FjordEnv.....	18
2.4.1Inngangsdata til bærekraftsmodellen.....	19
2.4.2Simuleringer	22
2.5 Definisjon av bærekraft.....	23
3 RESULTATER.....	24
3.1 Målinger.....	24
3.1.1Hydrografi.....	24
3.1.2Strøm	29
3.1.3Temperatur, saltholdighet og oksygen fra strømmålere	46
3.1.4Næringssalter.....	49
3.2 Modellering	52
3.2.1Modellering av hydrodynamikk.....	52
3.2.2Modellering av sedimentering	55
3.3 Modellering av bærekraft.....	64
3.3.1Oksygen og organisk materiale i dybbasseng	64
3.3.2Næringssalter i overflatelaget.....	70
4 SAMMENFATTENDE VURDERINGER, BÆREKRAFT	73
4.1 Mørsvikfjorden	73
4.1.1Oksygenminimum i dybbasseng	73
4.1.2Reduksjon av siktedyp i overflatelag.....	74
4.2 Vinkfjorden	75
4.2.1Oksygenminimum i dybbasseng	75
4.2.2Reduksjon av siktedyp i overflatelag.....	76
4.3 Nordfolda	77
4.3.1Oksygenminimum i dybbasseng	77
4.3.2Reduksjon av siktedyp i overflatelag.....	77
4.4 Begrensninger, modellvalideringer og kommentarer til resultatene	78
4.5 Vurderinger og anbefalinger	80
5 REFERANSER.....	83
VEDLEGG A: VALIDERING AV HYDRODYNAMISK MODELL	87

Strøm, validering	87
Stasjon SM1	87
Stasjon SM2	89
Stasjon SM3	89
Hydrografi, validering	91
Temperatur	91
Saltholdighet	92
VEDLEGG B: MØRSVIKFJORDEN, HYDROGRAFIMÅLINGER, ANDRE PROSJEKTER	93
2020 – 2022	93
Salt, hovmøller-figur	93
Temperatur, hovmøller-figur	93
Tetthet, hovmøller-figur	93
Oksygen, hovmøller-figur	94
2010 – 2022	95
Salt, hovmøller-figur	95
Temperatur, hovmøller-figur	95
Tetthet, hovmøller-figur	95
Oksygen, hovmøller-figur	96
VEDLEGG C: BEREGNINGER AV OKSYGENFORBRUK	97
Oksygenforbruk vs. oppdrettsvirksomhet, Mørsvikfjorden, Nordland	97
VEDLEGG D: RIGGSKISSER	104

Forord

Akvaplan-niva AS har utført oseanografiske undersøkelser og hydrodynamiske numeriske modelleringer for Nordfolda og tiliggende områder i kommunene Steigen og Sørfold, Nordland fylke. Arbeidet er utført på bestilling fra Cermaq Norway AS. Hovedmålet er å vurdere den miljømessige bærekraften til fjordsystemet Nordfolda, med spesielt fokus på delbassengene Nordfolda, Vinkfjorden og Mørsvikfjorden.

Følgende har vært med å bidra betydelig til arbeidet med de oseanografiske undersøkelsene og modellarbeidet utført i denne studien:

<i>Øyvind Leikvin</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Prosjektleder, feltarbeid, dataanalyse, modellering (FjordEnv) og rapportering</i>
<i>Hans Kristian Djuve</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Modellering (FVCOM), rapportering</i>
<i>Evgeniy Yakushev</i>	<i>NIVA</i>	<i>Kjemiske analyser, rapportering</i>
<i>Stine Hermansen</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Feltarbeid</i>
<i>Anne Tårånd Aasen</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Databehandling, grafikk</i>
<i>Achim Randelhoff</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Validering</i>
<i>Anders Stigebrandt</i>	<i>Ancylus</i>	<i>Diskusjonspartner</i>
<i>Lars-Henrik Larsen</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Diskusjonspartner</i>
<i>Magnus Drivdal</i>	<i>Akvaplan-niva AS</i>	<i>Kvalitetskontroll</i>

Akvaplan-niva AS ønsker å takke for et meget interessant oppdrag og strålende hjelp i forbindelse med målekampanjen, samt konstruktiv dialog og konstruktive innspill i prosessen.

Tromsø 11.12.2023



Øyvind Leikvin

Prosjektleder

1 Innledning

1.1 Prosjektbeskrivelse

Cermaq Norway AS (Cermaq) ønsker et bedre faglig grunnlag for å vurdere hvordan oppdrettsaktiviteten påvirker fjordbassengene i Nordfolda. Analysene skal gi grunnlag for å vurdere miljørisikoforhold, planlegge optimal fordeling av produksjon i de ulike delene av fjordsystemet, og vurdere hvor det eventuelt kan være miljømessig bærekraftig å utvide produksjonen. Cermaq har derfor engasjert Akvaplan-niva til å utføre studier som kan belyse et bærekraftig produksjonsnivå i dette fjordsystemet.

Akvaplan-niva AS har benyttet et egenutviklet oppsett av en 3D hydrodynamisk modell for Nordfolda, basert på modellen FVCOM (Chen m.fl., 2003). Hydrodynamikk fra denne er knyttet sammen med en spredningsmodul ved hjelp av rammeverket FABM (Bruggemann & Bolding, 2014), og spredning av organisk materiale med hjelp fra dette oppsettet er lagt til grunn for vurderinger av bærekraft i denne studien, sammen med parametere fra terskelfjordmodellen FjordEnv (Stigebrandt, 2001). Det er søkelys på organisk materiale (karbon), oksygen og næringssalter som vurderingsparametere for bærekraft.

Målinger av bevegelse og egenskaper til vannmasser i fjordsystemet er blitt foretatt, hovedsakelig som valideringsgrunnlag til den hydrodynamiske modellen og terskelfjordmodellen, men også som forståelsesgrunnlag til dynamikken i fjordsystemet.

Hensikten med de numeriske modeller er å finne veiledende kvantifiseringer angående belastning av organisk materiale, oksygen og næringssalter som kan belyse bærekraften til fjordsystemet, med hovedfokus på Nordfolda-, Mørsvik- og Vinkfjorden-bassengene, og komme med faglige vurderinger av disse.

Med bærekraft menes den miljømessige bærekraft i de ulike vannlag. I dypbassengene gjelder dette minimum oksygenkonsentrasjon. I overflatelaget gjelder dette reduksjon av siktedypet. Kriterier for bærekraftig miljø for disse parametere er vurdert i denne studien.

Det er tidligere utført vurderinger med terskelfjordmodellen FjordEnv for Mørsvikfjorden (Leikvin, 2010) og Vinkfjorden (Leikvin, 2011). Siden den gang har modellen FjordEnv blitt oppgradert og nøyaktigheten på inngangsdata har blitt bedre, som for eksempel mer nøyaktig oppmålt batymetri.

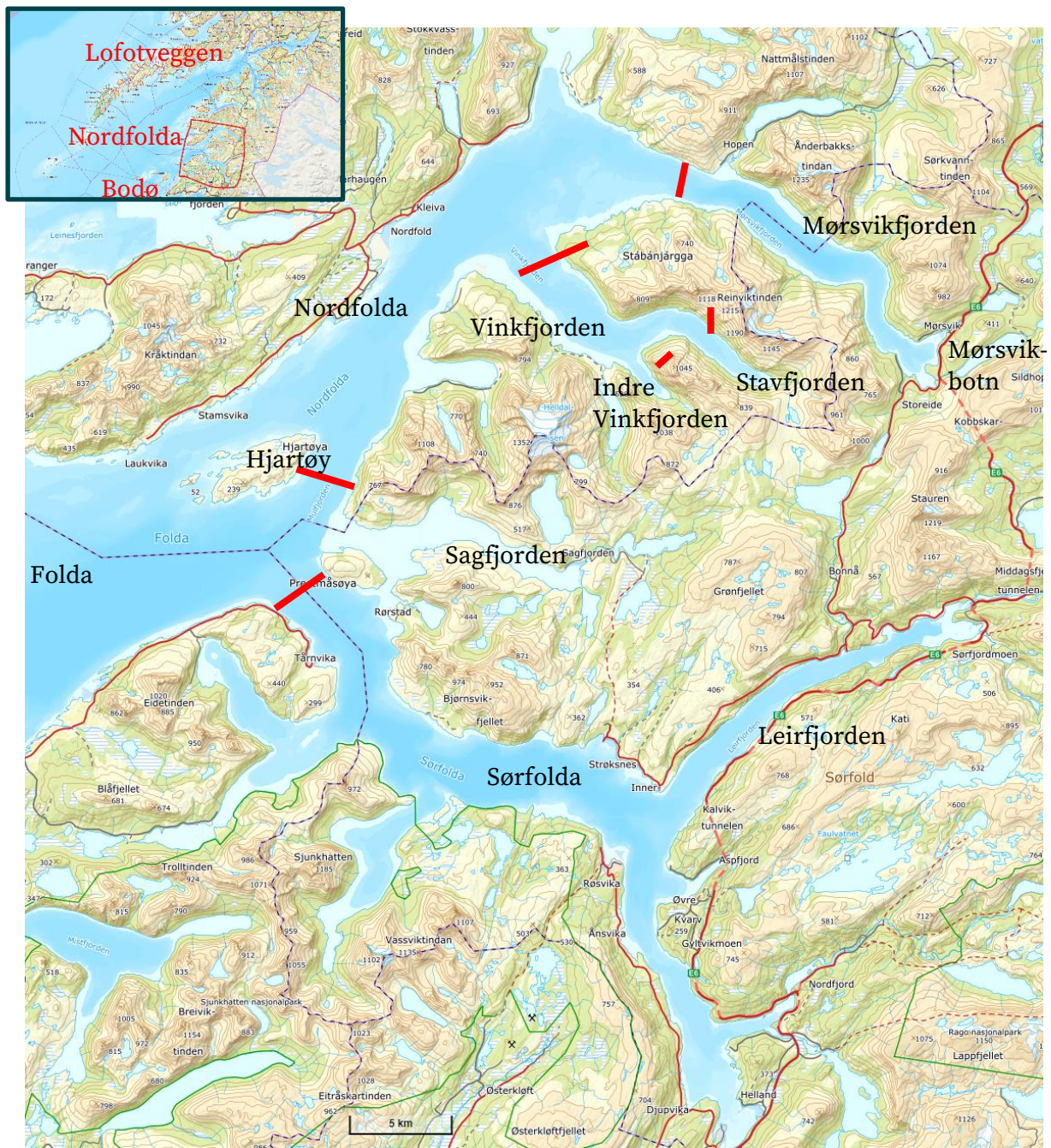
Det har ikke blitt benyttet 3D-modellering og spredningssimuleringer i sammenheng med FjordEnv-modellen for dette området før.

1.2 Områdebeskrivelse

Nordfolda er et fjordsystem i kommunene Steigen og Sørfold i Nordland, om lag 50 km nordøst for Bodø og 60 m sørøst for Lofotveggen, med flere markerte terskler innover mot og i fjordarmene (Figur 1).

Ytterst ligger Vestfjorden, som deler fastlandet fra øygruppa Lofoten. En terskel på omkring 300 m dyp befinner seg utenfor bassenget Folda med maksimaldyp på ca. 540 m som ligger i inngangen til fjordsystemet (Tabell 1). Videre innover deler fjorden seg i to, hvor Sørfolda går mot sørøst, og Nordfolda går mot nord-nordøst.

Terskelen inn til Sørfolda er på omkring 270 m, og maksimaldypet i Sørfolda er omkring 580 m.



Figur 1: Nordfoldas og Sørfoldas fjordsystem. I dette prosjektet er det hovedfokus på Nordfolda-delen. Hovedtersklene er omtrentlig markert med røde linjer. I øvre venstre hjørne er et regionalt kart, hvor fjordsystemene til Nordfolda og Sørfolda er innrammet i rødt (kilde for bakgrunnskart: www.norgeskart.no).

Terskelen inn til Nordfolda er omkring 229 m øst for Hjørtøy. Dypbassenget nord for Hjørtøy har maksimaldyp på ca. 300 m, og denne fjordarmen strekker seg mot nordøst drøye 20 km. Videre knekker fjorden omkring 90 grader mot høyre, og fjordarmen går over i Mørsvikfjorden med en terskel på omkring 180 m og et dypbasseng med maksimaldyp omkring 527 m. Fjordarmen fortsetter videre mot øst og sørøst, inn til Mørsvikbotn, med samlet lengde i denne sørøstlige retningen på ytterligere drøye 20 km.

Det er flere mindre fjordarmer på begge sider av Nordfolda og Mørsvikfjorden, hvorav den største, Vinkfjorden, er plassert som en avstikker mot sørøst i Nordfolda. Her er en terskel på omkring 135 m og et maksimaldyp på 220 m. Denne fjorden har ytterligere to forgreininger innover i fjorden, til Stavfjorden og Indre Vinkfjorden. Stavfjorden har terskel på ca. 99 m og maksimaldyp på ca. 150 m. Indre Vinkfjorden lenger sør har terskel på ca. 48 m og maksimaldyp på ca. 87 m.

Fjordsystemet er nesten hele veien omgitt av fjell opp mot 1000 m, foruten ytterst i nord ved tettstedet Nordfolda, hvor fjellene er noe lavere.

Det er flere middels store og mange mindre elver med utløp i fjordsystemet til Nordfolda og Mørsvikfjorden (Figur 3).

Viktigste elver med utløp i Mørsvikfjorden er Sildpollelva og Mørsvikelva innerst i Mørsvikbotn, samt elva fra Hopvatnet.

Viktigste elv i Vinkfjorden er Lappvasselva.

I Nordfolda er det Brattfjordelva, Lommerelva, Laksåelva og Forsdalselva som er størst.

Nedbøren til fjordsystemet i Nordfolda er beregnet til ca. 465 millioner m³/år.

Bebyggelsen omkring Nordfold nær kystlinja til Nordfolda (Figur 4) omfatter omtrent 450 innbyggere (Svalbjørg, 2022).

Det er ingen kjent industri med utslipp av organisk materiale av betydning til Nordfolda og Vinkfjorden, foruten akvakultur-virksomheten.

Bebyggelsen Mørsvikbotn innerst i Mørsvikfjorden har 82 innbyggere (Braaten, 2023). Her er i tillegg plassert et settefiskanlegg, Smolten AS, med utslipp av organisk materiale. Denne har en produksjonstillatelse på 1 000 tonn per år, med rensing på ca. 60% av partikulærmassen i utslippet (Skjevling, 2022). I 2021 var det en produksjon på 909 tonn (Figur 4).

Det er flere godkjente oppdrettslokaliteter for laks i fjordsystemet til Nordfolda, hvor alle er eide av Cermaq. Dette gjelder:

- Mulen
- Hjartøy Ø
- Flehammer
- Hellarvika
- Nordfoldleira
- Ånderbakk
- Martnesvika

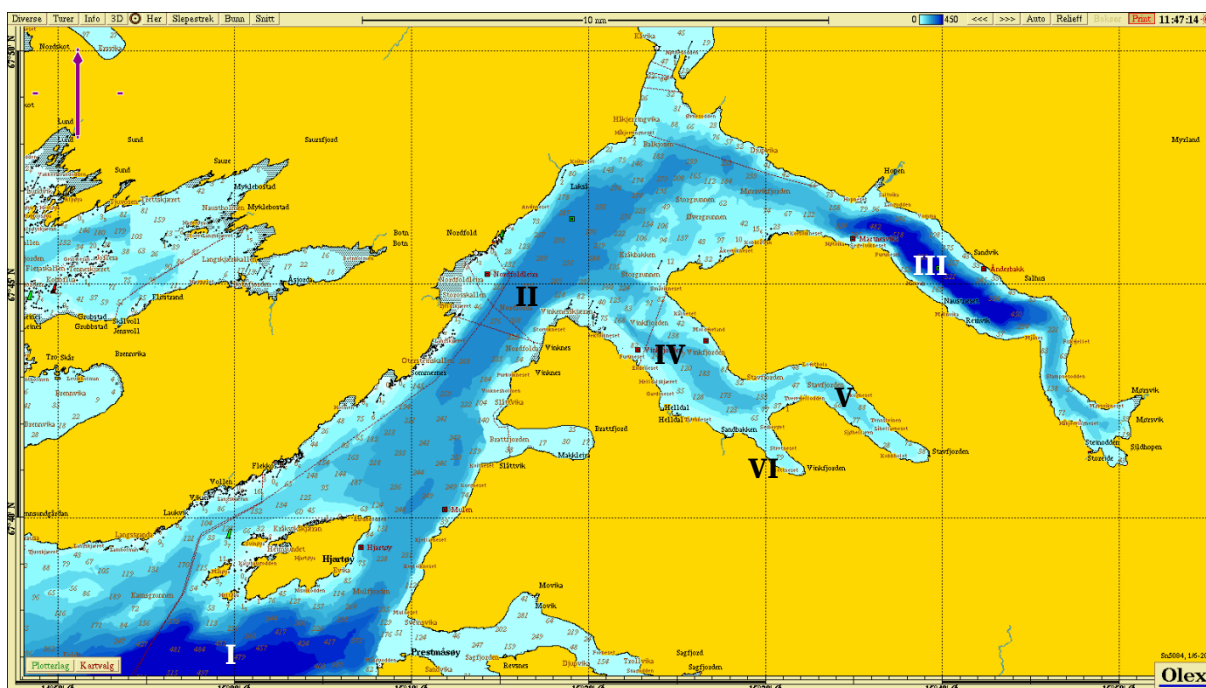
De aktive lokalitetene i løpet av perioden august 2020 til desember 2021 har vært (med lokalitetsnummer først og kapasitet for stående biomasse i parentes, jfr. Akvakulturregisteret (<https://sikker.fiskeridir.no/akvakulturregisteret/web/>)):

- 45004 Mulen (3600 tonn)
- 13931 Hjartøy Ø (5460 tonn)
- 11315 Hellarvika (5000 tonn)
- 13319 Martnesvika (6000 tonn)

Tabell 1: Geometriske egenskaper til delbasseng i fjordsystemet Nordfolda, samt omtrentlig overflateareal (beregnet med programvare fra Olex (www.olex.no) og ved hjelp av kartverktøy på nettsiden www.kystinfo.no).

Fjordbasseng	Overflateareal [km ²]	Terskeldyp [m]	Største dyp [m]	Omtrentlig basseng-volum [km ³]
I (Folda)	*	300	541	*
II (Nordfolda)	150	229	297	1,24
III (Mørsvikfjorden)	32	180	527	2,53
IV (Vinkfjorden)	23	136	203	0,16
V (Stavfjorden)	5,9	99	150	0,04
VI (Indre Vinkfjorden)	1,7	48	87	0,02

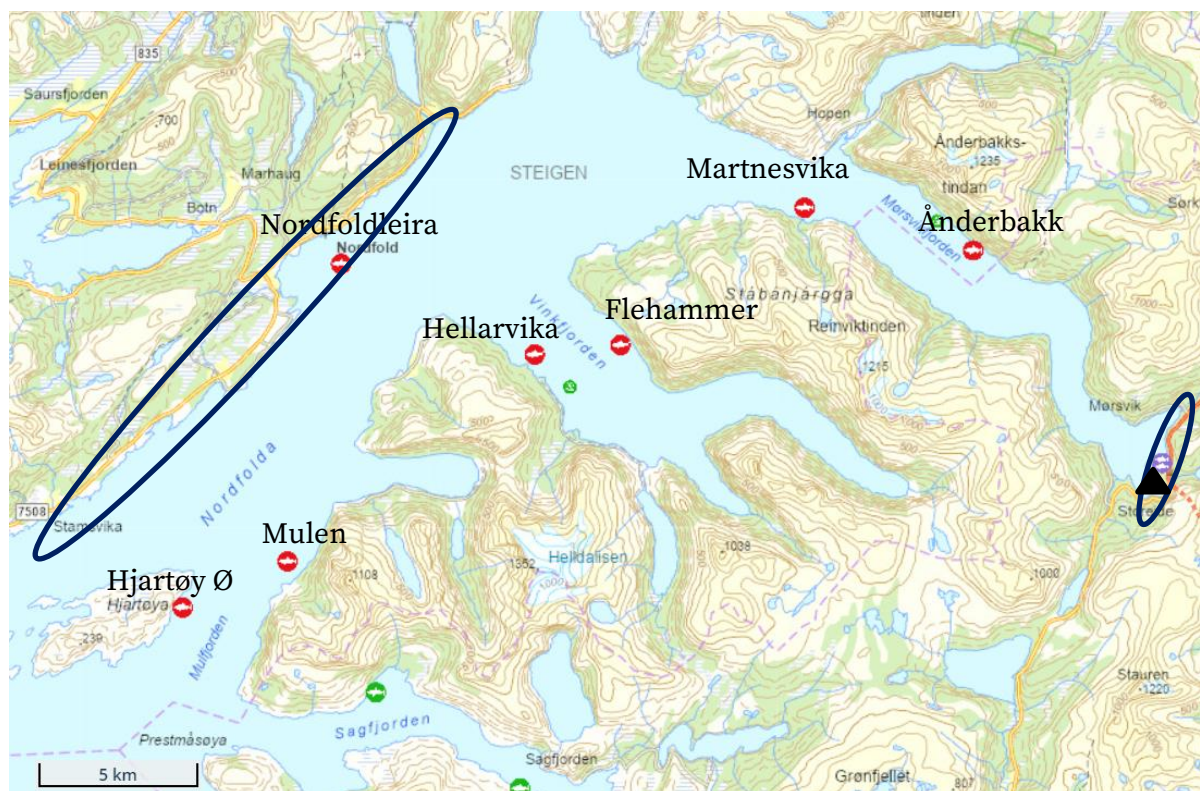
*har stort volum og inngår ikke i vurderingene i denne studien, derfor er disse beregninger utelatt.



Figur 2: Bunntopografi i Nordfoldas fjordsystem, med inndeling i delbassenger (I-VI) (kartkilde: www.olex.no).



Figur 3: Hovedelver med utløp til fjordsystemet til Nordfjella inntegnet i blått (definert som hovedelver jfr. nedbørfeltdatabasen REGINE, se www.nve.no). Kartkilde: <https://atlas.nve.no>.



Figur 4: Gyldige tillatelser pr 01.02.2023 for matfiskproduksjon av laks i Nordfjella (røde symbol) (kilde: www.fiskeridir.no). Sorte ellipser vise omtrentlige områder nær befolkning hvor spredte avløpsanlegg av beskeden størrelse befinner seg. Sort trekant viser utslippsområde fra settefiskanlegget Smolten AS, innerst i Mørsvikbotn.

2 Instrumenter og metode

2.1 Målinger

2.1.1 Hydrografi

Hydrografimålinger er foretatt for å identifisere eventuelle lagdelinger og grensesjikt i vannsøylen, samt for å brukes som validering til simuleringene med den hydrodynamiske modellen FVCOM og terskelfjordmodellen FjordEnv (se kapittel 2.2).

Instrumentet som ble brukt var en SAIV 208 CTD, med påbygde sensorer for måling av oksygen og turbiditet. Instrumentet ble senket til havbunnen, og det ble registrert konduktivitet, temperatur, trykk, oksygen og turbiditet hvert annet sekund mens instrumentet ble halt opp til overflaten med fart noe mindre enn 0,5 m/s. Fra konduktivitet, temperatur og trykk ble det beregnet saltholdighet og tetthet. Ved mistanke om forstyrrelser i målingene av turbiditet og oksygen nærmest havbunnen, er data fra målinger mens instrumentet var på vei ned mot havbunnen valgt i stedet.

Vertikale hydrografiprofiler ble målt ved 2 - 3 anledninger i løpet av våren og forsommeren 2021 på 10 stasjoner (Tabell 2). De viktigste dypbassenger og noen mindre fjordarmer er dekket av disse stasjoner, i tillegg til referansestasjon utenfor fjordsystemet, i Vestfjorden (Figur 5 og Figur 6).

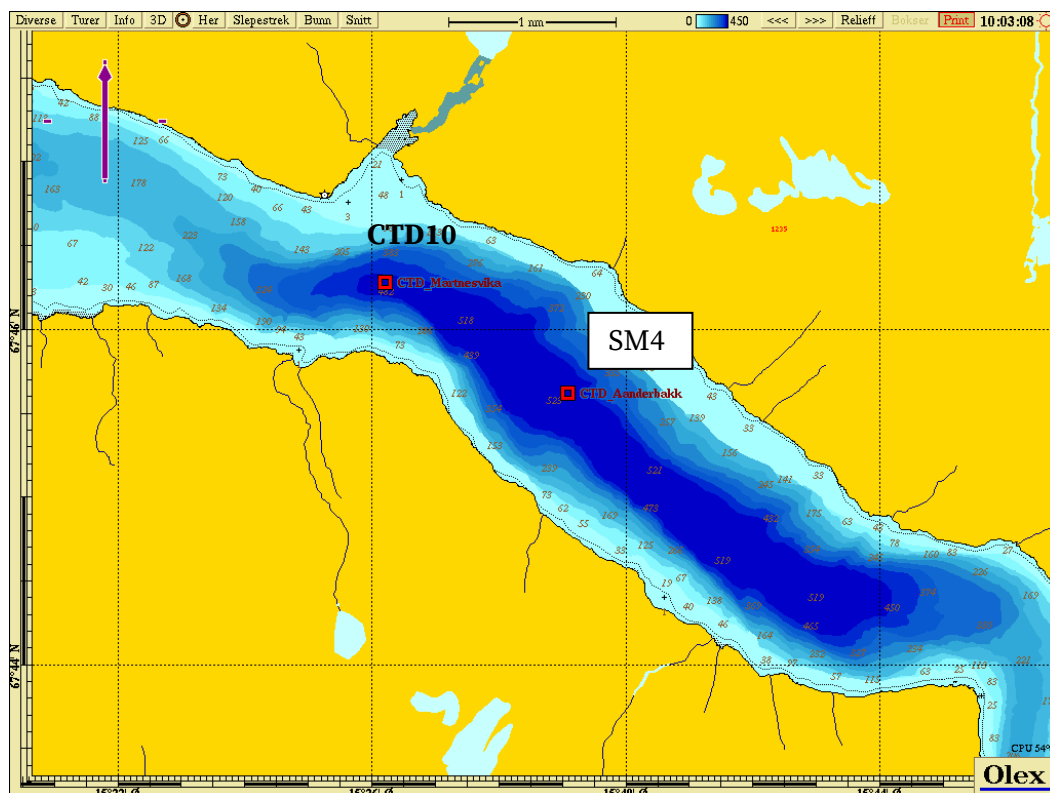
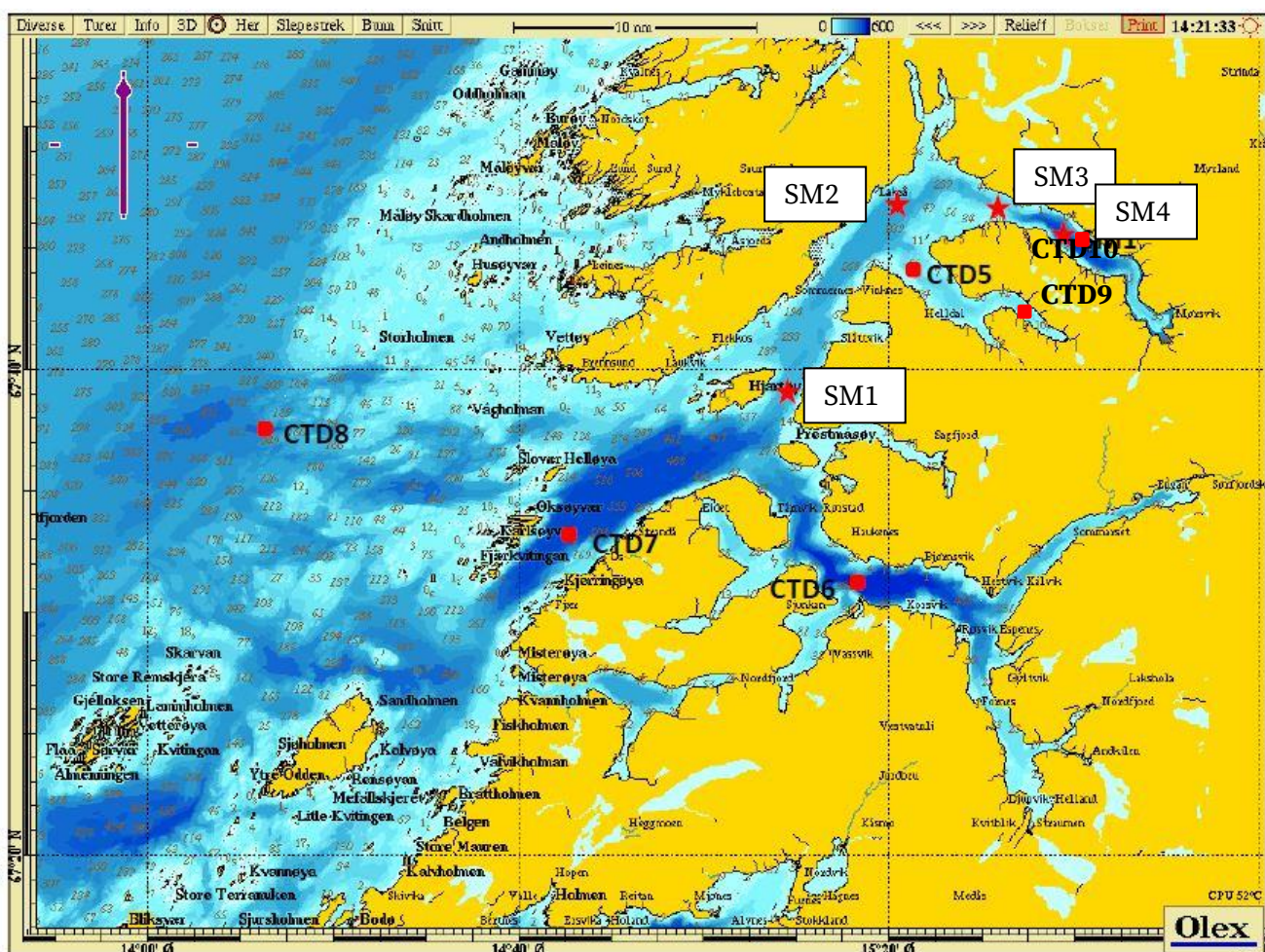
I tillegg er det parallelt, via andre prosjekter, målt hydrografiprofiler ofte og jevnlig ved oppdrettslokaliteten Martnesvika og i dypbassenget utenfor den inaktive lokaliteten Ånderbakk i Mørsvikfjorden i prosjektperioden mellom sommeren 2021 og sommeren 2022.

Det er også innhentet tidligere hydrografimålinger fra dypbassengene i Mørsvikfjorden (CTD4, Tabell 2) og Vinkfjorden.

Resultater fra hydrografimålinger fra prosjektet Marin overvåkning, Nordland er også studert (Brkljacic m.fl., 2016; Borgersen m.fl., 2017; Brkljacic m.fl., 2019).

Tabell 2: Strømmålinger utført våren 2021 og hydrografimålinger utført 2- 3 ganger i løpet av samme periode. Kart med stasjoner er vist i Figur 5 og Figur 6. Gjennom andre prosjekter er stasjon CTD2, CTD4 og CTD10 kartlagt hyppig før denne studien, og de to sistnevnte spesielt i løpet av 2021 – 2022. CTD4 er inkludert med måledatoer i tabellen.

Stasjon	Posisjon		Dyp for målinger: Rødt = strøm Blått = hydrografi	Dato for målinger: Rødt = strøm Blått = hydrografi
	Breddegrad	Lengdegrad		
SM1 Hjartøy	67°38,933'N	15°08,905'Ø	233 m og 230 – 170 m	25. mars – 8. juni 2021
SM2 Nordfolda	67°46,430'N	15°19,010'Ø	299 m	26. mars – 8. juni 2021
SM3 Mørsvikfjorden terskel	67°46,836'N	15°32,274'Ø	180 m og 177 - 117 m	26. mars – 8. juni 2021
SM4 Mørsvikfjorden	67°45,320'N	15°39,750'Ø	528 m	26. mars – 8. juni 2021
CTD1 Hjartøy	67°38,933'N	15°08,905'Ø	235	2021: 25. / 26. mars 5. mai 8. juni Tillegg (via tidligere Akvaplan-niva-prosjekter og andre prosjekter for Cermaq Norway AS): CTD4: 8. april 2010 24. mai 2011 21. september 2011 14. november 2016 15. desember 2016 25. september 2017 1. oktober 2018 11. oktober 2019 10. desember 2019 28. september 2020 27. oktober 2020 10. februar 2021 8. juni 2021 13. juli 2021 3. august 2021 9. august 2021 18. august 2021 31. august 2021 23. september 2021 28. september 2021 12. oktober 2021 26. oktober 2021 12. november 2021 25. november 2021 7. desember 2021 4. januar 2022 19. januar 2022 1. februar 2022 17. februar 2022 17. mars 2022 5. april 2022 27. april 2022 11. mai 2022 25. mai 2022 9. juni 2022 22. juni 2022 5. juli 2022 26. juli 2022
CTD2 Nordfolda	67°46,430'N	15°19,010'Ø	299	
CTD3 Mørsvikfjorden terskel	67°46,883'N	15°31,940'Ø	187	
CTD4* Mørsvikfjorden	67°45,621'N	15°39,083'Ø	530	
CTD5 Vinkfjorden	67°44,048'N	15°22,500'Ø	202	
CTD6 Sørfolda	67°31,216'N	15°16,202'Ø	580	
CTD7 Folda	67°34,323'N	14°45,950'Ø	548	
CTD8 Vestfjorden	67°37,503'N	14°12,475'Ø	441	
CTD9 Stavfjorden	67°42,796'N	15°33,470'Ø	154	
CTD10 Martnesvika	67°46,280'N	15°36,203'Ø	485	



2.1.2 Strøm

Det er målt strøm på fire posisjoner, og det er lagt spesiell vekt på å kartlegge forholdene nær havbunnen på tersklene inn til de to største dypbassengene i Nordfolda og Mørsvikfjorden (Tabell 2). Det har også vært plassert strømmåler i selve dypbassengene. Hovedhensikten er å kartlegge og vurdere strømforholdene på tersklene til og i de største dypbassengene, samt produsere datagrunnlag for validering av den hydrodynamiske modellen FVCOM (se Vedlegg A). Oksygensensor er inkludert på strømmålerne, og disse vil inngå i vurderinger av oksygenforhold, oksygenminimum og stå som valideringsgrunnlag til terskelfjordmodellen FjordEnv (se kapittel 2.4).

Det ble benyttet punktmålere fra Aanderaa (Seaguard I; <https://www.aanderaa.com/>) på alle de fire stasjoner og i tillegg profilerende målere fra Nortek (Aquadopp profilerende, 400 kHz; <https://www.nortekgroup.com/>) på de to tersklene.

Strømforhold ble målt over drøye 2 måneder fra 25./26. mars til 8. juni 2021.

Alle strømmålere målte vannmassenes hastighet ved hjelp av akustikk, nærmere bestemt ved hjelp av frekvensforskyvningen til det reflekterte lydsignalet (dopplereffekten) fra partikler i vannet. Alle måleinstrumentene var plassert nær havbunnen.

De profilerende instrumentene målte oppover i vannsøylen med cellediameterer på mellom 1 og 2,5 m og rekkevidde på ca. 40 – 50 m.

Punktmålerne målte strøm i samme dyp som de var utplassert.

Alle strømmålerne målte også temperaturen ved det vandypet de stod utplassert.

Punktmålerne målte i tillegg oksygen, foruten ved SM3 hvor målingene var feil.

Punktmålerne var plassert omtrent 1 m fra havbunnen, mens de profilerende målerne ved stasjon SM1 og SM3 var plassert ca. 2,5 m over havbunnen, alle med oppdriftskuler ovenfor. Se ellers riggskisser i Vedlegg D.

En oversikt over strømmålinger er gitt i Tabell 2, og stasjonene er vist i kart i Figur 5 og Figur 6.

2.1.3 Næringssalter

Vannprøver har blitt hentet inn med Ruttner 5 liter vannhenter (KC Denmark A/S, <https://www.kc-denmark.dk/>) på stasjonene SM1, SM2, SM3 og SM4 (Figur 5). Det er blitt hentet vannprøver fra 4-6 ulike dyp som dekker vannsøylen fra nær overflaten til nær havbunn, og er beskrevet i Tabell 3.

Vannprøvene er analysert kjemisk ved NIVAs laboratorier i Oslo, og følger akkrediterte metoder. Følgende næringssalter er analysert for:

- Oppløst oksygen (O_2)
- Fosfat (PO_4)
- Fosfor (oppløst organisk) (P_{org})
- Nitrat og nitritt ($NO_3 + NO_2$)
- Ammonium (NH_4)
- Nitrogen (oppløst organisk) (N_{org})
- Silikat (SiO_2)
- Karbon (oppløst organisk) (DOC)*

* beregnet fra P_{org} på grunnlag av Redfield ratio.

Tabell 3: Oversikt over stasjoner og dyp hvor det er hentet inn vannprøver som er analysert for næringssalter i denne studien. Stasjonskart er vist i Figur 5.

Stasjon	SM1	SM2	SM3	SM4
Dyp [m]	0,5	0,5	0,5	0,5
	30	30	30	30
	100	100	100	100
	230	300	180	300
				370
				530

2.2 Modellering av hydrodynamikk med FVCOM

2.2.1 Beskrivelse av modell og modelloppsett

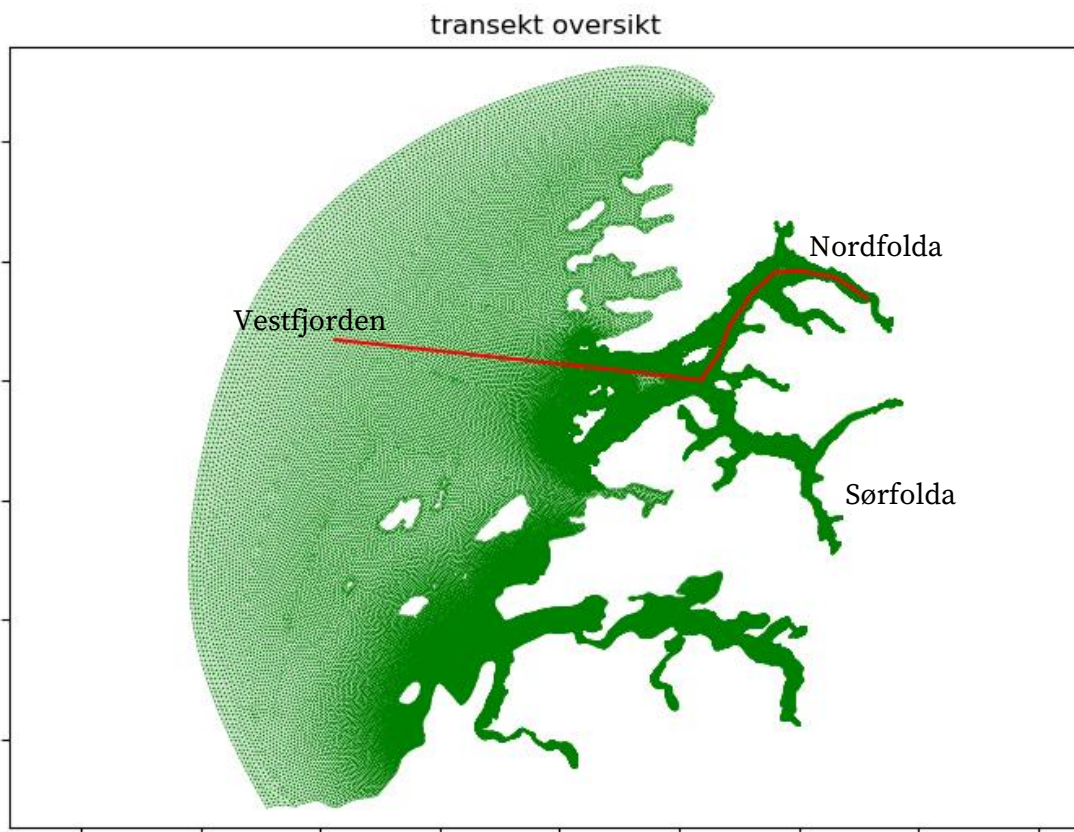
Den hydrodynamiske modellen som er benyttet i denne studien er The Finite Volume Community Ocean Model (FVCOM), utviklet ved Scripps Institution of Oceanography og University of Massachusetts-Dartmouth (Chen m.fl., 2003). Modellen løser Newtons bevegelsesligninger på et ustrukturert gitter, som betyr at detaljgraden i simuleringene kan økes der hvor det er behov for det. I denne studiens anvendelser av modellen økes detaljgraden i nærfeltet til oppdrettsanlegg og i områder med kompleks topografi. Detaljgraden kommer som følge av gitterets oppløsning. En oppløsning på 100 m betyr at man får informasjon om temperatur, saltholdighet og strømhastighet i tre dimensjoner for hver 100 m horisontalt.

I dette oppdraget er modellen satt opp for et regionalt område med god avstand fra rendene til Nordfolda, som er hovedinteresseområdet til denne studien (Figur 7). Det er brukt ned mot 15 m oppløsning i områder av Nordfolda-fjorden med kompleks batymetri og nært oppdrettsanlegg, og opp mot 400 m i midten av fjorden (Figur 9). I det åpne hav er oppløsningen ca. 800 m (Figur 8). I hvert punkt er verdiene til tilstandsvariablene beregnet i 34 lag vertikalt.

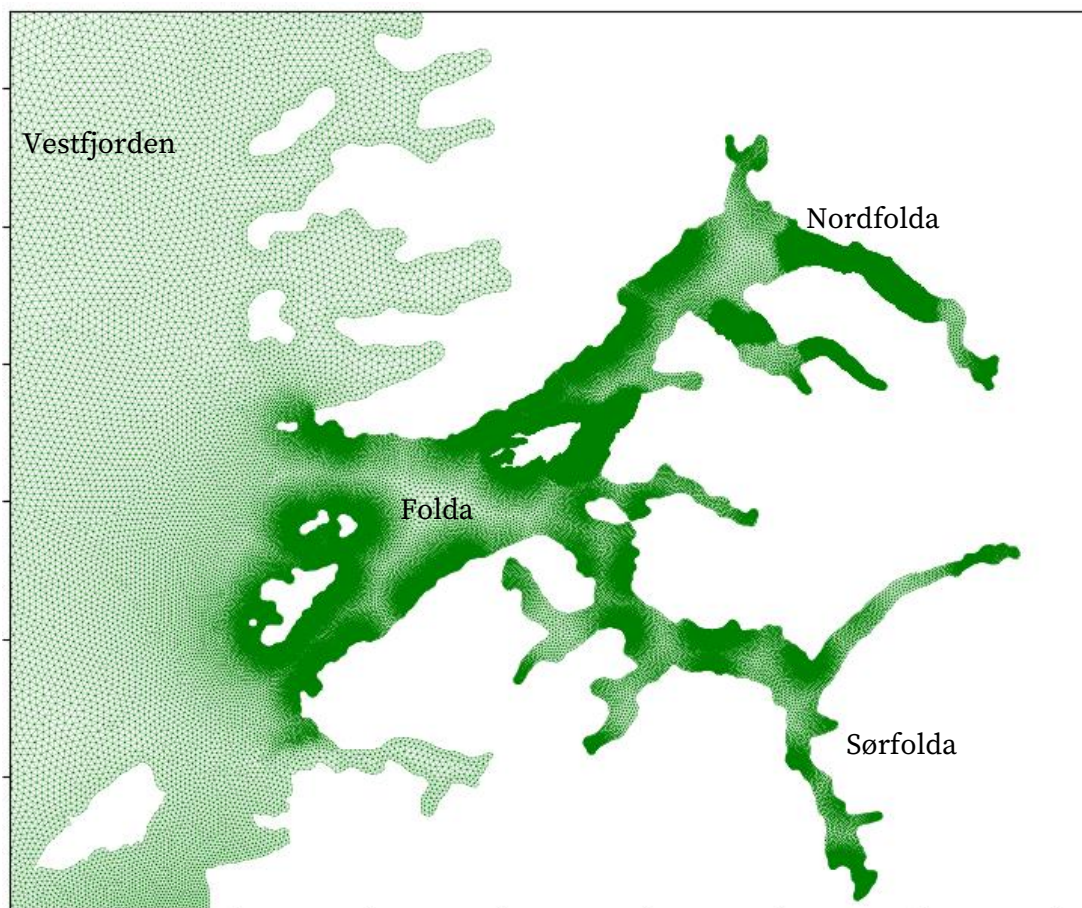
I tillegg, med bakgrunn i resultater fra denne hydrodynamiske modellen, er det kjørt med en sedimenteringsmodell bygget i modellrammeverket FABM (se kapittel 2.3).

Resultatene fra FVCOM påbygd med FABM er så benyttet som inngangsdata til modellen FjordEnv (se kapittel 2.4), en terskelfjordmodell som beregner oksygenforbruk i fjorden og oksygenminimum i forhold til utskiftningen av vannmasser. Modellen kan også beregne reduksjon av siktedyp i overflatelaget ved belastning av næringssalter. Når kjørt i lag, gir FVCOM, FABM og FjordEnv et estimat på spredning til dypbassenger og dermed et sikrere estimat av belastning angående oksygenforbruk i disse.

Sirkulasjonen i Nordfolda har blitt modellert fra 01.04.2020 til 31.12.2021. De første månedene må betraktes som "spin-up", som kan betegnes som tiden det tar for en slik havmodell å tilpasse seg en statistisk likevekt med gjeldende grensebetingelser. Det er da tidsrommet mellom 01.08.2020 og 31.12.2021 som er fokus-perioden i modellen. Det ble utført omfattende fysiske målinger i løpet av våren 2021 (se kapittel 2.1), som gjorde det mulig å få validert modellen.



Figur 7: Skisse av modellområdet som inkluderer Nordfoldas fjordsystem merket med rød strek fra ytterst i Vestfjorden og inntil nesten helt innerst i Mørsvikfjorden. Resultater fra vertikaltransekt illustrert med den røde streken er gitt i kapittel 3.2.1.



Figur 8: Oversikt over oppløsningen til FVCOM-griddet for fjordsystemet til Folda, Nordfolda og Sørfolda og ut mot Vestfjorden.

2.3 Modellering av sedimentering/Karbonavsetning med FVCOM

2.3.1 Sedimenteringsmodellen

FABM (Framework for Aquatic Biogeochemical Models) (Bruggemann & Bolding, 2014) er rammeverket som er benyttet for å koble sammen FVCOM med en sedimentmodul utviklet av Akvaplan-niva, som er tilpasset for å simulere sedimentering og spredningen av organisk avfall fra oppdrettsanlegg. Med dette oppsettet gir resultatene informasjon om hastighet, temperatur, salt osv. fra FVCOM sammen med mengde og posisjon til de ulike størrelsesklasser for partikler som slippes ut og etter hvert sedimenteres på havbunnen. Synkehastigheten for forskjellige typer og størrelser av organisk avfall er distribuert over 8 klasser (Bannister m. fl., 2016), og er oppgitt i Tabell 4.

Det antas et fôrspill på 2% av totalt produksjon/ produsert karbon. Av de resterende 98%, så antas det at 12,5% av karbonet omdannes til og skilles ut som fekalier.

Tabell 4: Synkehastighet og prosentvis fordeling av sporstoff i fekalier og fôr for 8 ulike klasser basert på synkehastighet

		Fekalie						Fôr	
Sporstoff nr.		1	2	3	4	5	6	7	8
Synkehastighet (cm/s)		0,25	0,75	1,75	2	3,75	7,5	8,8	12
Fiskens vekt	1-600g	5%	3%	3%	4%	21%	64%	100%	0%
	600- 1500g	5%	3%	3%	2%	9%	78%	0%	100%
	>1500g	7%	2%	3%	2%	27%	59%	0%	100%

2.3.2 Inngangsdata fra produksjon av laks

Produksjonsdata per måned om utsett, flytting, utslakting, fiskebeholdningens antall, størrelse, vekst, dødelighet og utfôring er levert fra oppdragsgiver.

Det er primært mengden biologisk tilgjengelig organisk karbon fra oppdrett som fører til økologiske endringer i bunnsubstrat under og ved anleggene (Hargrave m.fl., 2008). Keeley m.fl. (2013) viser at en modellering av sedimentenes økologiske respons på mengde utfôring i et oppdrettsanlegg kan vises i korte tidsserier fra driftsperioden på en til seks måneder. Det er i denne studien valgt å modellere karbonavsetning under og rundt anlegget for månedene med størst utfôring/ maksimal biomasse med FVCOM-modellen i sammen med FABM (kapittel 2.2 og 2.3.1). Dette gir et anslag for lokalitetens maksimale belastning med organisk tilgjengelig karbon. Modellresultatene blir da sammenlignbare med B-undersøkelser som også utføres omkring maksimal biomasse.

En matrise for karbonutslipp for hvert sporstoff for den måneden med størst utfôring ble benyttet for å regne ut spesielt for den aktuelle lokaliteten. Akkumulert avsetning av alle sporstoffer i hver av bunncellene i modelldomenet for de aktuelle månedene med størst produksjon av laks ble modellert, og sedimentering av karbon ble beregnet ved å multiplisere mengde karbon i hvert sporstoff med prosentvis avsetning av sporstoff i hver beregningscelle på havbunnen. Ved å midle disse verdiene over antall dager med utfôring ble karbonavsetning i gram karbon per dag funnet.

Resultatene blir vist i fargekoder i geografiske kart med karbonavsetning per dag i hver beregningscelle på havbunnen. Siden det for Nordfolda er særlig interessant å se på hvor mye masse som ender opp i bassengområdene under terskeldypene, er det i dette prosjektet også beregnet spredning til disse områdene spesifikt.

2.4 FjordEnv

Terskelfjordmodellen FjordEnv ble utviklet av Anders Stigebrandt og Jan Aure i Møreprosjektet (Aure & Stigebrandt, 1990). Modellen ble senere utvidet og forbedret av Anders Stigebrandt (Stigebrandt, 2001) for vurdering av miljøeffekter fra tilførsel av næringssalter og organisk materiale i fjorder, som tilførsel fra fiskeoppdrettsanlegg, bebyggelse, industri og elver. Det er versjon 4,0 som er benyttet i denne studien (Stigebrandt, 2015).

FjordEnv er en såkalt "boksmode", der fjordvannet betraktes som fordelt i tre lag innenfor en terskel: overflatelaget, intermediært lag over terskeldypet, og et bunnlag under terskeldypet. Overflatelaget består av en blanding av ferskvann og iblandet sjøvann, hvor ferskvannet stammer fra avrenning fra land og nedbør, og er typisk opptil noen få meter dypt og ikke alltid til stede. Modellen beregner gjennomsnittsførhold for hvert lag, basert på volumet i hvert lag og vanntransporten gjennom fjordmunningen, som bestemmes blant annet av tverrsnittsarealet til fjordmunningen.

Den intermediære sirkulasjonen drives av forskjeller i hydrostatisk trykk grunnet ulikheter mellom egenvekten til vannmassene i og utenfor terskelen til fjorden eller fjordsystemet.

Modellen beregner også sirkulasjon eller utskiftning av dypvannet under terskeldyp. Denne består først og fremst av tidevannsdrevet omblending i bassengvannet som følge av tidevannsinduserte indre bølger (Stigebrandt & Aure, 1989).

Andre parametere som beregnes er oppholdstid for vann over terskeldypet, nedsynkning av partikulært organisk materiale, oksygenforbruk ved nedbrytning av organisk materiale, samt hvor lang tid det tar for dypvannet i fjordbassenget å skiftes ut. Videre beregnes minimum oksygenkonsentrasjon i bassengvannet (oksygenminimum) og endring av siktedypet i overflatelaget. Disse parameterne brukes til å vurdere endring av vannkvalitet i fjorden ved varierende tilførsler av næringssalter, for eksempel ved ulike nivåer for produksjon ved fiskeoppdrett. FjordEnv er et verktøy for å vurdere miljøeffekter av relative endringer i belastning av fjorden. Modellen kan ikke brukes til å angi bestemte områder inne i fjorden med spesielt gode/dårlige forhold, og den kan ikke beregne horisontale gradienter i vannsøylen. Modellen bruker dessuten gjennomsnittsverdier over ett år, og tar ikke hensyn til årstidsvariasjoner.

Begrensninger med modellen er at den derfor ikke kan ta hensyn til årstidsvariasjoner i vannføring eller fiskeproduksjon, hvor det er variasjon i utføret mengde og fysiologisk variasjon (vekst) i løpet av både året og produksjonssyklusen. Derfor må spesielle situasjoner som for eksempel vårflom og/ eller intensivt sommerfôrering i fiskeoppdrettsanleggene modelleres/ vurderes særskilt. Det blir heller ikke tatt hensyn til eventuelle lokale forsenkninger i sjøbunnen, der organisk materiale kan samles opp og gi oksygenkriske forhold lokalt. Det tas heller ikke hensyn til spesielle hendelser som for eksempel algeoppblomstringer eller plutselige innsig av pelagisk stimfisk (f.eks. sild) i fjordsystemet

Modellen er kalibrert for terskelfjorder med terskeldyp fra 50 m og grunnere, og vil således bli noe unøyaktig for Nordfolda-bassenget, Mørsvikfjorden, Vinkfjorden og Stavfjorden, hvor tersklene er dypere (Tabell 1). Hovedårsaken er at en større andel av synkende fôrspill og spesielt fekalier, samt næringssalter og organisk materiale fra primærproduksjonen vil nå å skiftes ut fra terskelfjorden innen dette synker ned til dypbassenget. I så måte blir modellsimuleringene noe konservative.

Dersom det er terskelfjorder innenfor den aktuelle fjorden, bør modellen kjøres eksplisitt for disse. Resultatet fra kjøringene for de indre fjordene gir en inngangsverdi til den ytre fjorden, via parameteren "Power supply from interior sills". Ved modellsimulering av den ytre fjorden inkluderes også ferskvann og næringssalter som tilføres fra de indre fjordarmene.

2.4.1 Inngangsdata til bærekraftsmodellen

2.4.1.1 Topografi

Modellberegningene er utført stykkvis for de ulike delfjordene Mørsvikfjorden og Vinkfjorden. Vinkfjorden inkluderer igjen resultater fra Stavfjorden og Indre Vinkfjorden ("Power supply from interior sills"). Disse resultatene for Mørsvikfjorden og Vinkfjorden går så på samme måte inn i modellberegninger for Nordfolda-bassenget som ligger ytterst i fjordsystemet Nordfolda (Figur 2).

Viktige mål for modelleringen med FjordEnv er bassengareal i ulike dybdenivåer, samt bredde i fjorden på ulike dybdenivåer på tersklene. Det er brukt kartverktøy fra www.kystinfo.no og Olex programvare (www.olex.no) for å utføre disse beregningene.

2.4.1.2 Drivkrefter for sirkulasjon

Utskifting av og oppholdstid for vann både over og under terskeldypet drives primært av tidevannet, tetthetsforskjell mellom fjord- og kystvann, samt ferskvannstilførsel fra land (estuarin sirkulasjon). I tillegg påvirker fjordarmene denne sirkulasjonen.

Parametere for tetthetsdrevet vannutskifting er hentet fra databasen som inngår i modellen FjordEnv. Tidevannsamplituden brukt i beregningene er 1,1 m (forskjellen mellom flo og fjære blir da 2,2 m), og er også basert på modellens database. Denne verdien er sjekket mot målinger fra nærmeste faste målestasjon for vannstand (Bodø) (www.kartverket.no/sehavniva), og er funnet til å være en representativ verdi.

Regime-enhetene med serienummer 168 dekker fjordsystemet i Nordfolda. Ved å benytte NVEs (Norges Vassdrags- og Energidirektorat) kartverktøy på nettsiden <http://atlas.nve.no>, har tilsig til de ulike delfjordene blitt estimert, og årlige gjennomsnittlige ferskvannstilførsler blitt beregnet. Nordfolda og Mørsvikfjorden har de desidert største tilførsler, med 14-15 m³/s hver i gjennomsnitt og totalt tilsig på henholdsvis 465 og 434 millioner m³/år (Tabell 5). Dette er årsgjennomsnitt, og gir konservative verdier mht. ferskvannstilførsel og miljøtilstanden i fjorden angående næringssalter. I snøsmeltingsperioden om våren og i perioder med intens nedbør vil avrenningen til Nordfoldas fjordsystem øktes betraktelig. Dette vil fortynde næringssaltverdiene og generelt gi bedre miljøtilstand i overflatelaget.

Tabell 5: Tilsig og ferskvannstilførsel for delfjordene i fjordsystemet til Nordfolda. Kartverktøy fra NVE er benyttet i beregningene (<http://atlas.nve.no>).

Fjordbasseng	Tilsig [millioner m ³ /år]	Gjennomsnittlig ferskvannstilførsel [m ³ /s]
Nordfolda	465	14,8
Mørsvikfjorden	434	13,8
Vinkfjorden	90	2,9
Stavfjorden	37	1,2
Indre Vinkfjorden	32	1,0

Effekter av vind er tatt med som bidrag til blandingen i dypvannet i beregningene med modellen FjordEnv. Beregnet estuarin sirkulasjon øker med oppgitt vindhastighet. I beregningene brukes vindhastigheten 5 m/s.

Beregnet effekt på siktedypet avhenger av typisk siktedyp sommerstid i Nordfolda med kun naturlige tilførsler. Siktedypet er satt til 5 m og er en standardverdi i modellen for Nordland, hentet fra modellens database. Dersom man velger lavere verdi, vil reduksjonen av siktedyp på grunn av fiskeoppdrett bli mindre.

Oksygenkonsentrasjon i ”nytt” bassengvann før nedbrytning av organisk materiale starter, er satt til 6 ml/l, som også er en standardverdi for Nordland hentet fra modellens database. Dette tilsvarer 8,52 mg/l (omregningsfaktor 1,42 jfr. Miljødirektoratet (2018)). Dette ser fornuftig ut sammenliknet med måledata fra denne studien, som varierer mellom 7 og 9,5 mg/l for de intermediære vannmasser (kapittel 3.1.1.4). Denne oksygenverdien tilsvarer 90% metning for sjøvann med temperatur på ca. 9,5°C, i modellen. Verdien antas å være noe konservativ, fordi kaldere vann gir høyere løsningssevne for oksygenet. I måledata fra Nordfolda fra slutten av mars til begynnelsen av juni våren 2021 var temperaturen noe kaldere, med typiske verdier mellom 4 og 8°C (kapittel 3.1.1.1).

Oksygenkonsentrasjonene i ml/l kan omregnes til% oksygenmetning. Oksygenmetning på 100% tilsvarer en oksygenkonsentrasjon på 6,7 ml/l eller 9,5 mg/l, ved temperaturen 9,5°C

Til sammenlikning ville oksygenkonsentrasjonen tilsvarende 90% oksygenmetning for sjøvann med temperatur på 2°C være ca. 6,9 ml/l eller 9,8 mg/l (Aure m.fl., 2009).

2.4.1.3 Tilførsel av organisk materiale og næringssalter

Det aller meste av den naturlige tilførselen av næringssalter til fjordsystemet i Nordfolda skjer med passiv transport (adveksjon) via havstrømmer fra områder utenfor Nordfolda. Tilførselen av næringssalter muliggjør algeproduksjon i overflatelaget (primærproduksjon). I modelleringen er det brukt en vertikal bakgrunnsfluks på 5,5 g C/m² per måned ned til dypbassenget, som bestemmende for tilførsel fra denne naturlige primærproduksjonen. Denne verdien er steds-spesifikk, og er hentet fra modellens database basert på studier av Stigebrandt m.fl. (1996) langs vestkysten av Norge. Ut fra dette beregnes en typisk mengde organisk materiale (karbon) som synker ned i dypbassenget, samt gjennomsnittlig oksygenforbruk under terskeldypet.

Det samlede antall personenheter fra tettstedene Nordfold og Mørsvikbotn (Figur 4) er henholdsvis ca. 450 (Svalbjørg, 2022) og 82 (Braaten, 2023). Det antas da at fjorden blir tilført næringssalter tilsvarende ca. 550 pe, enten som direkte fra kloakkutslipp eller som tilsig fra septiktanker. 550 pe tilsvarer en årlig tilførsel av om lag 0,36 tonn fosfor (P) og 2,4 tonn nitrogen (N) (omregningstall fra Mosevoll m.fl., 1999).

Det er minimalt med husdyrhold i fjorden, og tilførsler av næringssalter fra dette vurderes som neglisjerbart.

Bakgrunnsavrenning fra elver som følge av snøsmelting inneholder også en del fosfor og nitrogen. NIVA har kartlagt dette med modellen TEOTIL (Tjomsland & Bratli, 1996). Beregninger for 2021 med TEOTIL hentet fra nettside (Sample, 2023) viser naturlig tilførsel til fjordsystemet i Nordfolda som helhet via avrenning på ca. 95 tonn nitrogen og ca. 1,7 tonn fosfor. Avrenningsområdet tilsvarer Regine-enheter med nr. 168, som dekker et stykke utenfor terskelområdet til Nordfolda-systemet. Derfor er disse verdiene noe forhøyede, og årlig tilførsel via naturlig avrenning av næringssalter på ca. 89 tonn nitrogen og ca. 1,6 tonn fosfor er mer korrekt, basert på kun arealet som ligger innenfor hovedterskel ved Hjartøy.

Angående industrivirksomhet, så har Smolten AS inne ved Mørsvikbotn utslipp av næringssalter (Figur 4). Anlegget har tillatelse til maksimalt forbruk på 1000 tonn per år. Bruk av filter vil redusere hvor mye av dette som slipper ut i havet, men det er ikke funnet eller oppgitt tall på hvor mye. Det legges da inn produksjonstall på lik linje med oppdrettsaktiviteten som beskrevet nedenfor, hvor samme rate forspill og fekalier er benyttet.

Som beskrevet i kapittel 1.2, har Cermaq hatt produksjon på flere lokaliteter i løpet av modelleringsperioden fra midten av 2020 og ut 2021. Oversikt over anleggene og produksjonen som er gjennomført er gitt i Tabell 6, og lokalitetene er plassert på kart i Figur 4. Total produksjon i løpet av de 12 måneder med maksimal produksjon på hvert individuelle anlegg, gir 23 202 tonn for hele fjordsystemet.

Fiskeoppdrett medfører økt tilførsel av nitrogen og fosfor til fjorden via fekalier fra fisken, fiskefôr som ikke blir spist (overskuddsfôr), samt oppløste næringssalter som utskilles gjennom gjellene til fiskene. Ved å bruke fôr med mer fett og mindre protein kan utslippet fra gjellene minskes mht. fosfor og nitrogen (Stigebrandt m.fl., 2004). Oppdragsgiver har oversendt en grov oversikt over det vanligste fôret som har blitt benyttet i prosjektperioden (Ramsvatn, 2023). Fôret som benyttes består av 32 – 35% fett og 35 – 38% protein når fisken er mellom 1 og 2,5 kg stor, mens det består av 36 - 40% fett og 34 – 37% protein for større fisk enn dette. Simuleringer med modellen MOM3 (Stigebrandt m.fl., 2004) gir følgende:

- Med fiskevekt 100 g gir foret Intro Tuning 100, med 23,5% fett, 43,5% protein og 12% NFE, utslipp av 17 kg nitrogen og 3 kg fosfor per 1 tonn av fiskeproduksjon.
- Med fiskevekt 1000 g gir foret Power 1000, med 33,5% fett, 36,5% protein og 17% NFE, utslipp av 6 kg nitrogen og 1 kg fosfor per 1 tonn av fiskeproduksjon.
- Med fiskevekt 2500 g gir foret Power 2500, med 38% fett, 35,5% protein og 16% NFE, utslipp av 4 kg nitrogen og 1 kg fosfor per 1 tonn fiskeproduksjon.

Det legges til grunn for modelleringene med FjordEnv at 1 kg fosfor og 7 kg nitrogen per tonn fiskeproduksjon tilføres overflatelaget fra gjellene (Stigebrandt, 2015), og dette vurderes å være representativt for det faktiske valget av fôr gjennom prosjektperioden.

Det antas et fôrspill på 3% i modellen FjordEnv. Av de resterende 97%, så antas det at 12% av dette omdannes til og skilles ut som fekalier. Dette gir 15% av total utfôring/produksjon som synker mot havbunnen, og er i samme størrelsesorden til det som benyttes i FVCOM/FABM-modelleringa (kapittel 2.3.1). I FjordEnv benyttes samme karbon-innhold for fekalier som fôrspill, og derfor vil FjordEnv generelt gi noe mer karbon som synker mot havbunnen sammenliknet med FVCOM. FjordEnv vil da være på den konservative side mht. spredning mot havbunnen, da den vil vise noe forhøyet andel karbon mot havbunnen. Eksempelvis betyr dette at i FjordEnv modellen vil 15% eller ca. 3 480 tonn av den totale maksimale produksjonen i fjordsystemet til Nordfolda på 23 202 tonn synke mot havbunnen.

Overskuddsfôret og fekalier fra fisken vil synke ned mot bunnen under anlegget. Dette organiske materialet vil påvirkes av strømforholdene mens det synker, og spres over et større område før det sedimenteres. Organisk materiale som sedimenteres i grunnområder, vil normalt ikke ha negativ innvirkning på oksygenforholdene i terskelfjorden på grunn av relativt rask vannutskiftning. Nedbrytning av organisk materiale som sedimenteres dypere enn terskeldypet, kan derimot føre til oksygenkrisiske forhold dersom tilførselen av "friskt" bunnvann ikke er god nok.

Hydrodynamisk modellering med støtte fra FABM-modulen kan simulere sedimenteringen av overskuddsfôret og fekalier (kapittel 2.3), mens FjordEnv beregner oksygenforbruket vs. vannutskiftning. På denne måte kan oksygenminimum beregnes for bassengvannet, og vurdering av bærekraft, som er definert i 2.5, kan utføres.

I forbindelse med en eventuell overbelastning av næringssalter i fjordsystemet til Nordfolda, kan vannkvaliteten reduseres. Som regel reduseres siktedypet, algeoppblomstring kan finne sted og det kan være risiko for lokal overbelastning av næringssalter i strandsonen resulterende i eutrofiering. Perioden når slike effekter kan inntreffe er i sommerhalvåret (april-oktober) når primærproduksjonen er på sitt kraftigste. Sommerstid vil det ofte være mer intensiv fôring i oppdrettsanlegg, og mer utslipp av fôrspill som gir økte mengder næringssalter. Modellen beregner også en slik reduksjon av siktedyp for overflatelaget (Stigebrandt, 2001), og vurdering av bærekraft med hensyn på denne parameteren som er definert i kapittel 2.5, kan utføres.

Tabell 6: Oversikt over oppdrettslokaliteter i Nordfolda, deres produksjonstall for interesseperioden mellom 1. august 2020 og 31. desember 2021 og andre relevante data.

Lokalitet	Tillatelse, stående biomasse [tonn]	Produksjon i løpet av prosjektperioden [tonn]	Maksimal produksjon i løpet av sammenhengende 12 måneder	Dyp under anlegget [m]	Minste avstand til strandlinje [m]	Kommentar
Martnesvika	6 000	7 436	6 931	45 - 290	210	Aktiv i vurdert periode
Hellarvika	5 000	6 692	5 236	38 - 90	240	Aktiv i vurdert periode
Mulen	3 600	5 138	4 595	110 - 246	380	Aktiv i vurdert periode
Hjartøy Ø.	5 460	7 380	6 440	32 - 150	130	Aktiv i vurdert periode
Ånderbakk						Inaktiv i vurdert periode
Flehammer						Inaktiv i vurdert periode

2.4.1.4 Bidrag fra de indre dypbassenger

Tilstanden og dynamikken til de indre fjordbassengene vil påvirke de ytre bassengene. Likeledes vil vannmiljøet i de ytre vannmasser naturligvis påvirke de indre fjordarmene.

Fjordarmene modelleres separat i modellen FjordEnv, og eventuelle bidrag vil inkluderes for ytre deler av Nordfoldas fjordsystem.

Resultatet fra kjøringene for de indre fjordene gir en inngangsverdi til den ytre fjorden, som heter "Power supply from interior sills" i modellen. Dette gir et ekstra bidrag til vertikal omrøring fra indre tidevannsbølger i den ytre fjorden. Effekten kommer av terskelens og bassengets utforming vs. kreftene som kommer fra tidevannsdrevet sirkulasjon.

Når den ytre delfjorden modelleres, som i dette prosjektet er Nordfolda, inkluderes vannarealer til de indre fjordarmene som er ovenfor deres respektive terskeldyp.

I Tabell 1 er de viktigste geometriske karakteristika for alle de seks største bassengene gitt.

2.4.2 Simuleringer

Det er simulert med kun naturlig belastning, for alle delbasseng utover i Nordfolda (Tabell 5).

I tillegg er det modellert med antropogene utslipp inkludert, for Mørsvikfjorden, Vinkfjorden og Nordfolda. Dette gjelder:

- Utslipp av kloakk
- Utslipp fra eventuelt husdyrhold etc.
- Utslipp av evt. organisk materiale fra industri
- Utslipp fra oppdrettsanlegg (fisk, fôrspill og fekalier)

Utslipet fra oppdrettsanlegg som er benyttet i modellsimuleringene er basert på høyeste produksjonstall i løpet av 12 sammenhengende måneder innenfor de 17 månedene fra og med august 2020 til og med desember 2021.

Typisk varighet til en generasjon som vokser opp fra smoltstadiet til det utslaktes er 12 – 18 måneder.

2.5 Definisjon av bærekraft

Med bærekraft i denne studien menes en oppdrettsproduksjon som forventes å påvirke resipienten i et omfang mindre enn definerte grenseverdier for tilstand i utvalgte indikatorer, som her er oksygeninnhold i bunnvann og reduksjon av siktedyp i overflatelaget.

Denne definisjonen er inspirert av definisjonen i Stigebrandt (2011), der bærekraft defineres som den maksimale stående biomassen av den dyrkede arten som ikke leder til overskridelse av tillatt påvirkning på verken de dyrkede dyrene eller på miljøet. Denne definisjonen tar også hensyn til fiskevelferden i selve anleggene, mens dette ikke blir vurdert i denne studien.

For dypbassenget er oksygenminimum valgt som en hensiktsmessig indikator i modellverktøyet FjordEnv. Med oksygenkonsentrasjon under et visst nivå, vil det kunne ha negativ påvirkning på livet i vannmassene. Det er ulike meninger om hva denne grenseverdien skal være. Buhl-Mortensen m.fl. (2009) fant at en slik verdi uten negative effekter på det marine liv var 3,0 ml/l oksygen langs norskekysten i Skagerrak-området, som tilsvarer 4,3 mg/l. Direktoratgruppen (2018) har generelt en nedre grense på klasse II når det gjelder akseptabel miljøtilstand i vannmassene, og denne nedre grensen i klasse II er på 3,5 ml/l, tilsvarende 5,0 mg/l og 50% metning med saltholdighet 33 og temperatur på 6°C).

Bærekapasiteten til vannforekomsten vedrørende dypbassenget i denne studien defineres da av hvor stor økning av akvakulturproduksjon med tilhørende tilførsel av karbon som dypvannet tåler, med fortsatt akseptabelt oksygenminimum (3,5 ml/l).

Merk at dette gjelder årsgjennomsnitt, og det er ingen romlige gradienter innenfor bassenget i modellen.

I overflatelaget er reduksjon av siktedypet valgt som den relevante indikator i modellverktøyet FjordEnv. Dersom antropogen påvirkning i form av tilførsel av næringssalter påvirker vannforekomsten slik at reduksjonen i siktedypet forventes å komme over 10%, vil dette være en uakseptabel påvirkning (Aure & Stigebrandt, 1990). Det er algevekst som vil være årsaken til reduksjonen i siktedyp.

Bærekapasiteten til vannforekomsten vedrørende overflatelaget i denne studien defineres da av hvor stor økning av akvakulturproduksjon med tilhørende tilførsel av næringssalter som overflatelaget beregnes å kunne tåle, med fortsatt akseptabel reduksjon av siktedyp i forhold til ingen produksjon (< 10%).

3 Resultater

3.1 Målinger

3.1.1 Hydrografi

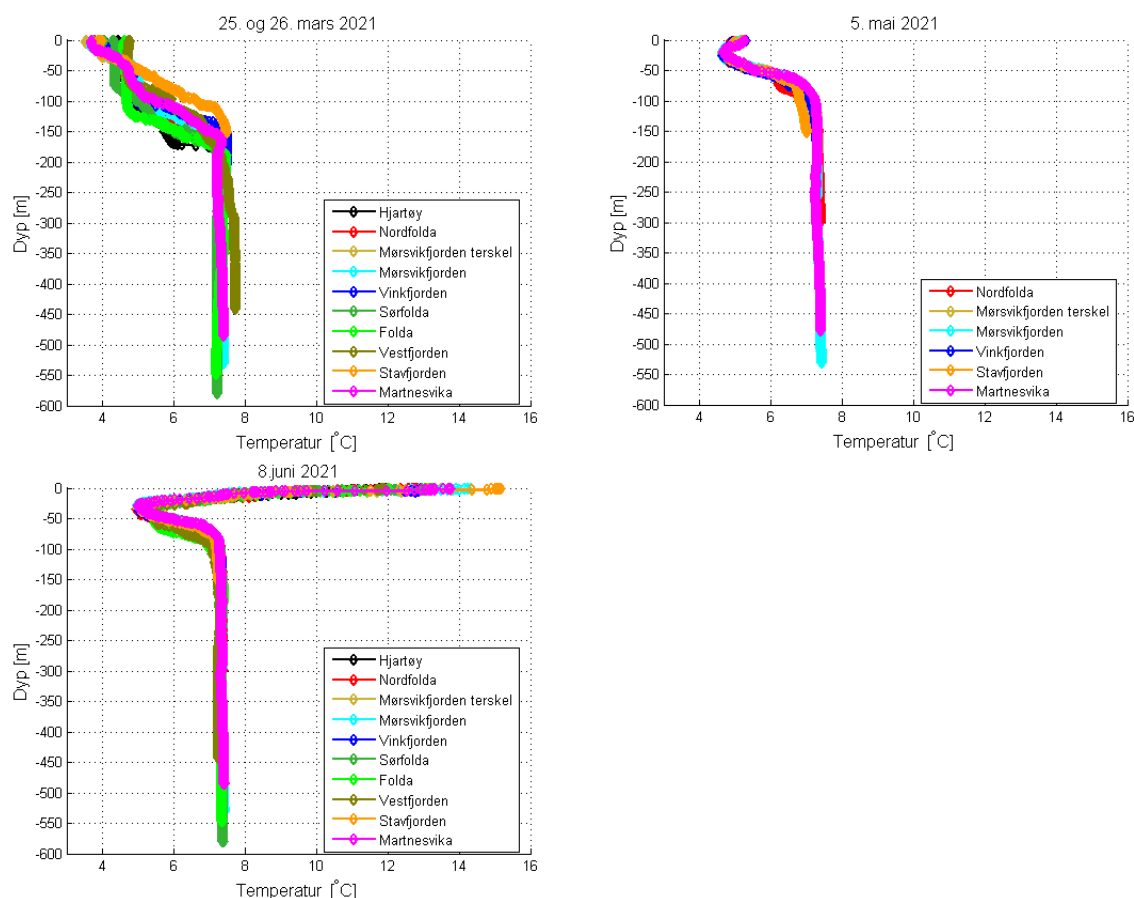
3.1.1.1 Temperatur

I profilene fra slutten av mars 2021 var det kaldest vann nær overflaten, med 3,5 – 5°C, hvor de kaldeste profilene var hentet inne i fjordene sammenliknet med de som var lenger ute mot og i Vestfjorden (Figur 10) (se stasjonskart i Figur 5). Profilen fra Stavfjorden markerte seg som markant varmere enn de andre profilene fra 50 – 130 m. Fra om lag 180 m dyp var det noenlunde samme verdier for alle profilene, men stasjonen i Vestfjorden peker seg ut som noe varmere.

I begynnelsen av mai var overflatevannet noe varmere, omkring 5°C. Det ble ikke tatt prøver fra ytre deler av fjordsystemet denne runden. Det kaldeste vannet ble funnet på ca. 25 m, med litt under 5°C. Videre nedover i vannsøylen økte temperaturen raskt til omkring 7,5°C på 150 m dyp. Dypere enn dette var temperaturen noenlunde konstant.

Det ble registrert noe varmere temperatur i Stavfjorden og Vinkfjorden i dyp mellom 80 og 150 m.

8. juni var det kraftig temperaturgradient i og nær overflaten. Varmest vann var det på stasjonen i Stavfjorden, med drøye 15°C i overflaten. Felles for alle profilene var at temperaturen sank raskt til omkring 5°C på ca. 35-40 m dyp. Dypere enn dette økte temperaturen raskt til omkring 7,5°C på ca. 100 m dyp. Dypere enn dette var temperaturen noenlunde konstant.



Figur 10: Temperaturprofiler fra 10 ulike stasjoner i og ved Nordfolda i løpet av våren 2021.

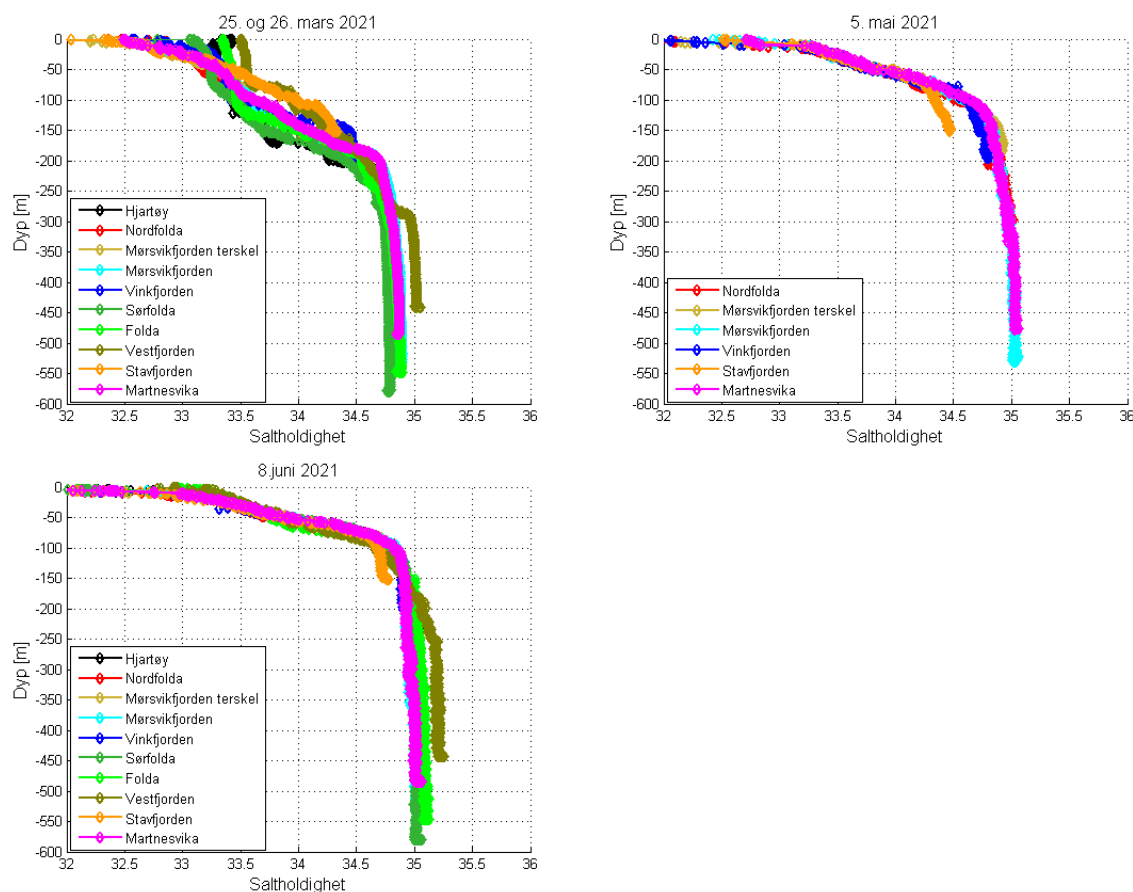
3.1.1.2 Saltholdighet

Saltholdigheten var lavest nær overflaten for stasjonene lenger inne i fjordsystemet i slutten av mars 2021 med noe under 32, og høyest ute i Vestfjorden, med ca. 33,5 (Figur 11) (se stasjonskart i Figur 5). Saltholdigheten økte noenlunde raskt og jevnt for alle stasjonene, til omkring 250 m dyp, til omkring 34,7. Herfra og ned til havbunnen på nesten 600 m økte saltholdigheten marginalt, til omkring 34,85. Eneste unntak er stasjonen ute i Vestfjorden, som hadde en høyere saltholdighet på omkring 35 fra omkring 300 m dyp og ned til havbunnen på ca. 450 m.

Vestfjorden, Stavfjorden og Vinkfjorden pekte seg noe ut med litt høyere saltholdighet mellom 50 og 150 m dyp.

5. mai var det omtrent samme resultater for saltholdighet som i slutten av mars, men det var mindre avvik mellom de ulike stasjonene. Kun Stavfjorden pekte seg litt ut, med noe lavere saltholdighet mellom 100 og 150 m dyp. Generelt var det noe høyere saltholdighet med dypet fra ca. 50 m dyp og nedover i vannsøylen, sammenliknet med i mars. Nå hadde alle de dype profilene en saltholdighet på omkring 35, de samme som kun Vestfjorden-stasjonen hadde i slutten av mars.

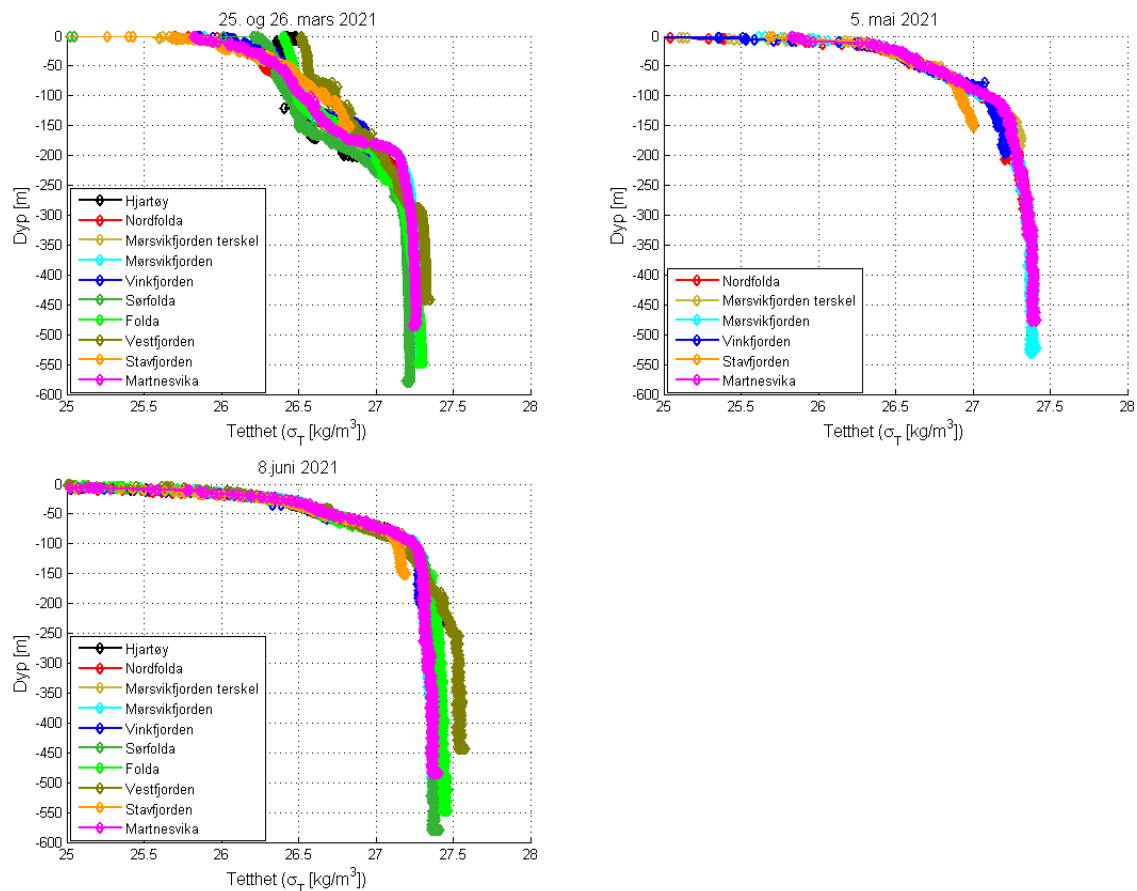
8. juni var trekkene i saltholdighetsprofilen svært lik den fra 5. mai. Her var imidlertid ikke Stavfjorden-profilen annerledes i dyplaget enn de andre. Profilene fra Folda og Vestfjorden hadde imidlertid fått noe økt saltholdighet, til henholdsvis 35,1 og 35,2.



Figur 11: Saltholdighetsprofiler fra 10 ulike stasjoner i og ved Nordfolda i løpet av våren 2021.

3.1.1.3 Tetthet

Tetthetsprofilene fulgte noenlunde samme mønster som saltholdighetsprofilene i kapittel 3.1.1.2 (Figur 12). Det er tydelig at det er saltholdigheten som er viktigste parameter for tettheten og stabiliteten i vannsøylen.



Figur 12: Tetthetsprofiler (σ_t) fra 10 ulike stasjoner i og ved Nordfolda i løpet av våren 2021.

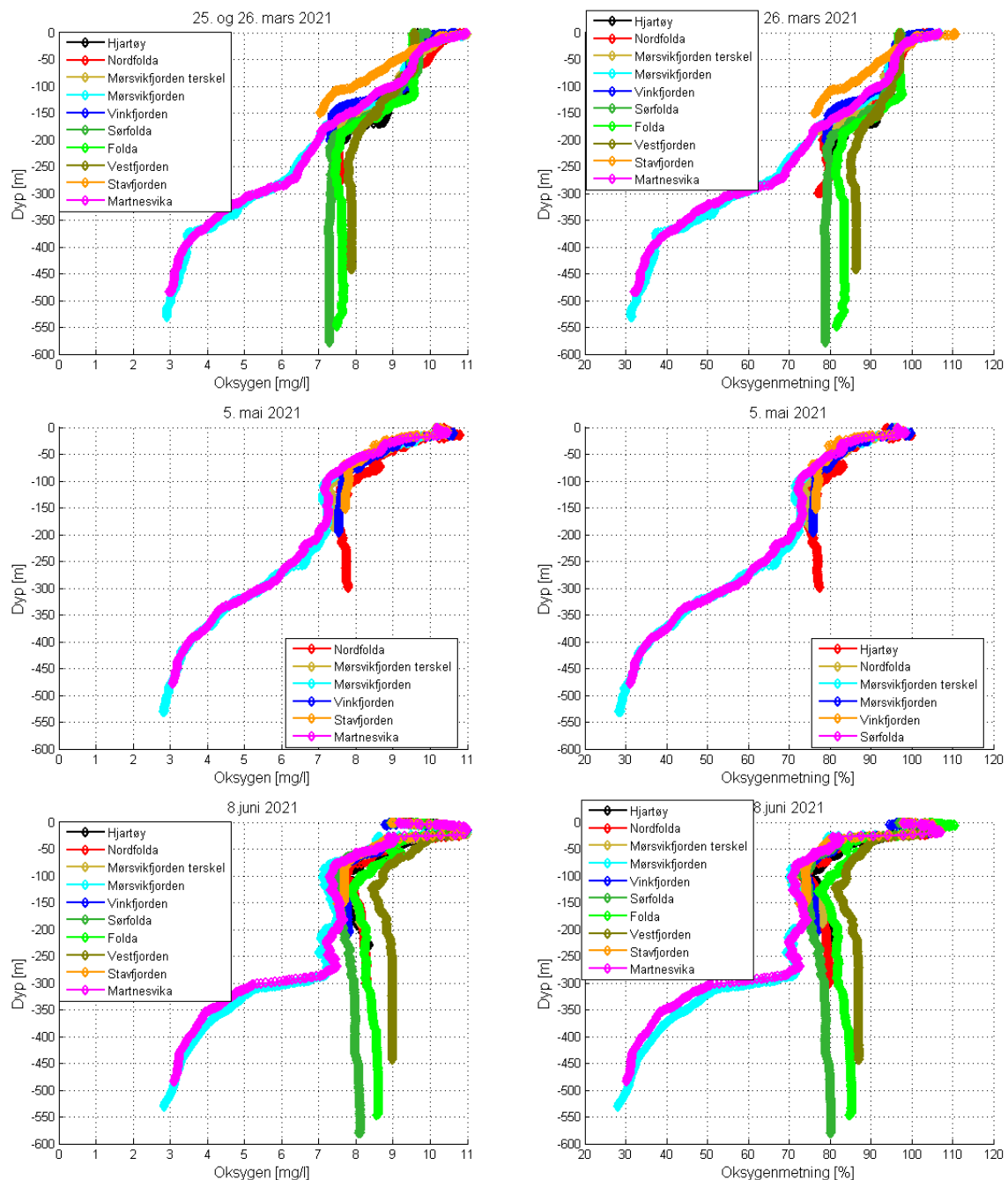
3.1.1.4 Oksygen

Oksygenmålingene i slutten av mars 2021 viste høye verdier mellom 9,5 og 11 mg/l nær overflaten (Figur 13). På alle stasjonene minket oksygenet med dypet ned til ca. 150 m, hvor oksygeninnholdet var mellom 7 og 9 mg/l (se stasjonskart i Figur 5). Unntaket var Stavfjorden som pekte seg litt ut med markert lavere oksygeninnhold dypere enn ca. 50 m.

Fra omkring 150 m og ned til havbunnen var oksygeninnholdet mer eller mindre konstant, og de dype stasjonene hadde oksygeninnhold mellom 7 og 8 mg/l. Unntaket var de dype stasjonene i Mørsvikfjorden, hvor oksygenet fortsatte å minke med dypet, helt til havbunnen på omkring 500 m dyp. Her var oksygeninnholdet under 3 mg/l. Dette tilsvarer litt over 30% oksygenmetning.

Oksygenmålingene fra 5. mai viste noenlunde tilsvarende resultater som i slutten av mars. Denne gangen pekte imidlertid ikke Stavfjorden-stasjonen seg ut. Det er verdt å merke seg at oksygennivået dypest i Mørsvikfjorden var marginalt lavere enn i slutten av mars 2021.

8. juni var hovedtrekkene noenlunde de samme som tidligere på våren, men stasjonene lenger ute i fjordsystemet hadde vesentlig høyere oksygeninnhold sammenliknet med slutten av mars. I tillegg var det en gradering med høyest oksygeninnhold ute i Vestfjorden på omkring 9 mg/l, videre til 8,7 mg/l i Folda-bassenget og 8 mg/l i Sørfolda helt ned til 580 m dyp. Igjen hadde oksygennivået i dypbassenget til Mørsvikfjorden sunket noe helt ned mot havbunnen, til oksygeninnhold omkring 2,8 mg/l og ca. 28% oksygenmetning. Dette tilsvarer 2,0 ml/l oksygen, og tilsvarer tilstandsklasse IV, Dårlig, jfr. Miljødirektoratet (2018). Det er også tydelig at oksygenverdiene mellom 200 og 300 m i Mørsvikfjorden hadde økt fra mellom 6 og 7 mg/l til godt over 7 mg/l, slik at det var en kraftig oksygengradient dypere enn 300 m. På bare noen titalls metere sank oksygenverdiene fra over 7 mg/l til under 5 mg/l.



Figur 13: Oksygenprofiler (oksygen-konsentrasjon i mg/l i venstre kolonne og oksygenmetning i høyre kolonne, fra 10 ulike stasjoner i og ved Nordfolda våren 2021.

3.1.2 Strøm

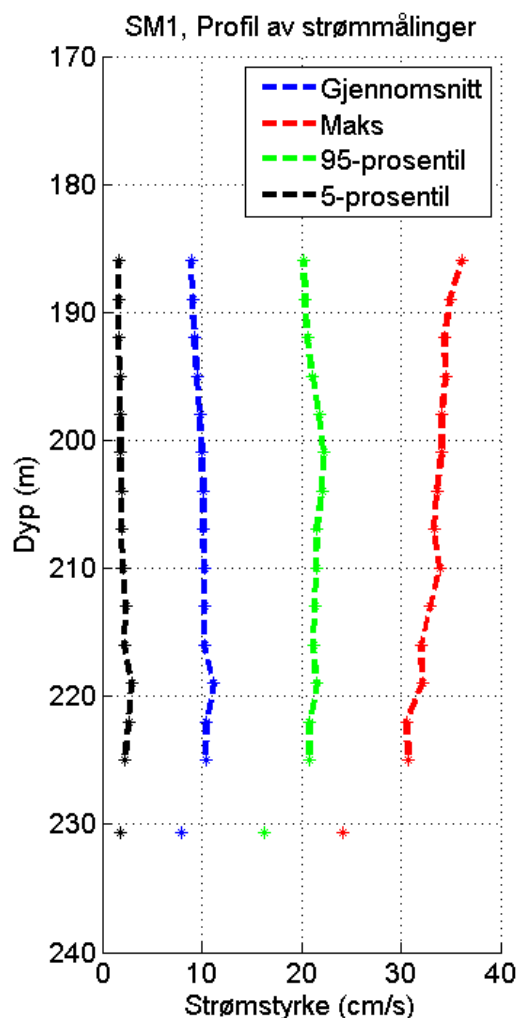
3.1.2.1 SM1

Strømmålingene fra den profilerende måleren ved stasjon SM1 på terskelen inn til Nordfoldabassenget illustrerte en hovedstrømakse i nord-sør-retningen, hvor det var hyppigst og kraftigst strøm og vanntransport mot nord-nordøst i de nedre 50 m mot havbunnen (Figur 15, Figur 16, Figur 18). Den gjennomsnittlige strømfarten var størst ca. 10 m over havbunnen, med 10,4 cm/s (Figur 14). Den ble gradvis lavere nedover i vannsøylen, til 8,9 cm/s på 186 m dyp, og 8,1 cm/s ved den dypeste målecellen på 231 m (Figur 14, Figur 17, Tabell 7).

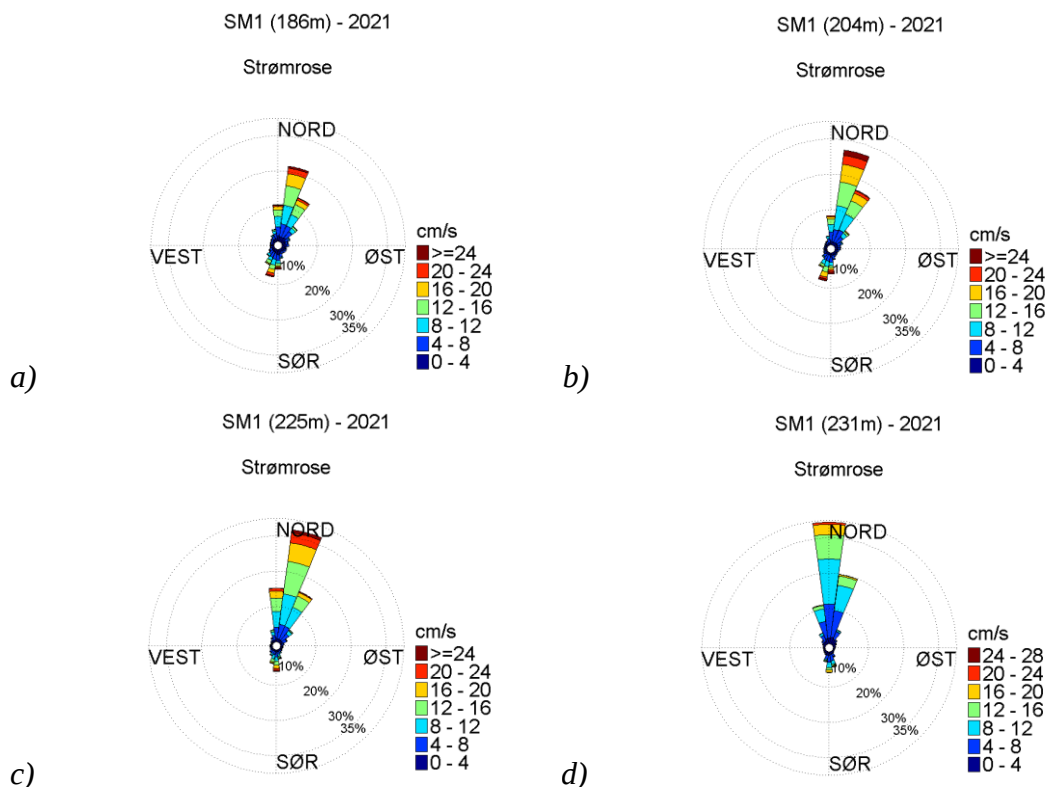
Maksimalfarten til strømmen økte fra 24,1 cm/s nærmest havbunnen til 36,2 cm/s på 186 m dyp.

Residualstrømmen var i retning mot nord-nordøst i alle måledyp, og hadde størst verdi ca. 10 meter over havbunnen med 6,6 cm/s. Øverste målecelle på 186 m hadde en residualstrøm på 3,6 cm/s. Det var altså en markert sterkere og hyppigere strøm mot nord.

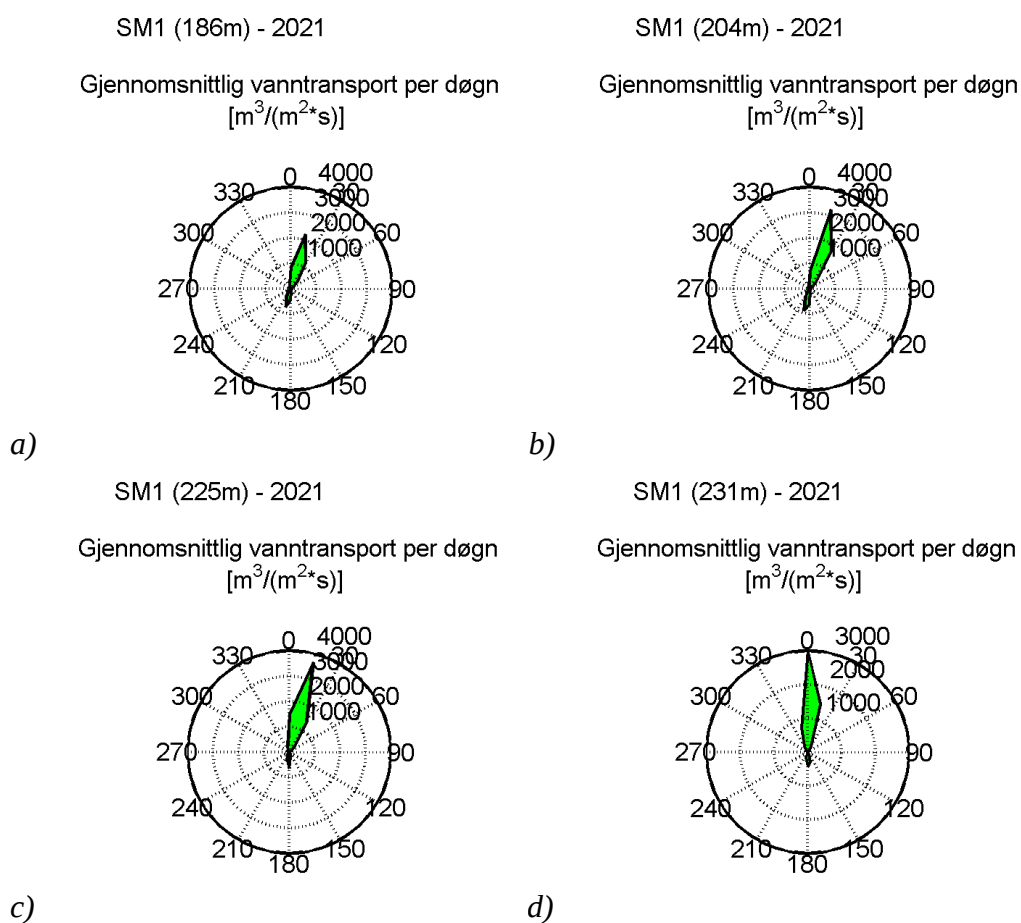
Det var moderat påvirkning fra tidevannskrefter i disse målingene som dekket de nederste 50 meter ned mot havbunnen (Figur 19). Variansbidrag fra tidevannet i nord-sør-retning økte fra ca. 38% nærmest bunnen (231 m) til 48% på 186 m.



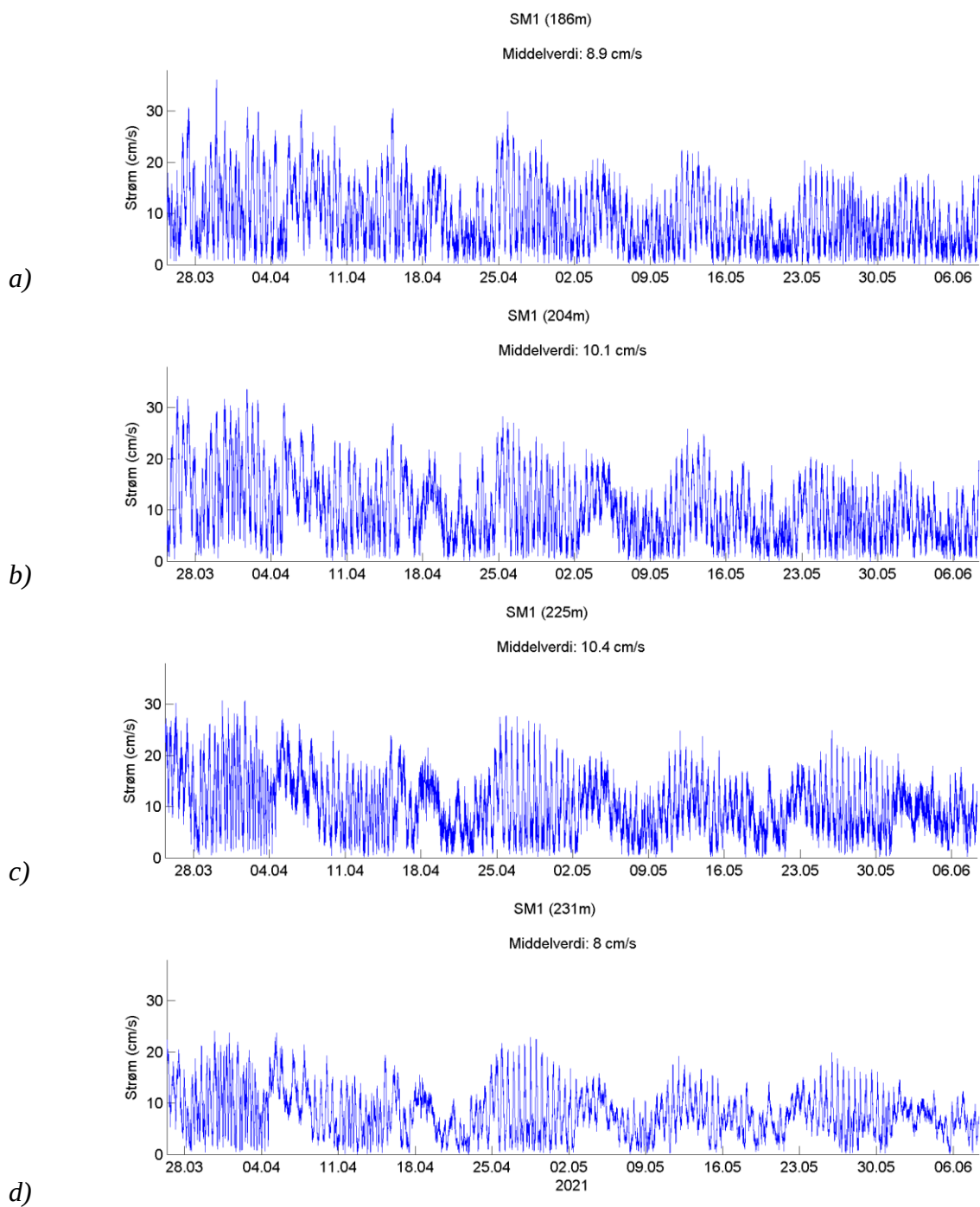
Figur 14: Vertikalprofiler med statistiske verdier for strømfarten til tidsserier fra strømmålingene mellom 26. mars og 8. juni 2021 ved stasjon SM1 for dypene fra nærmest havbunnen på 232 m og opp til ca. 186 m.



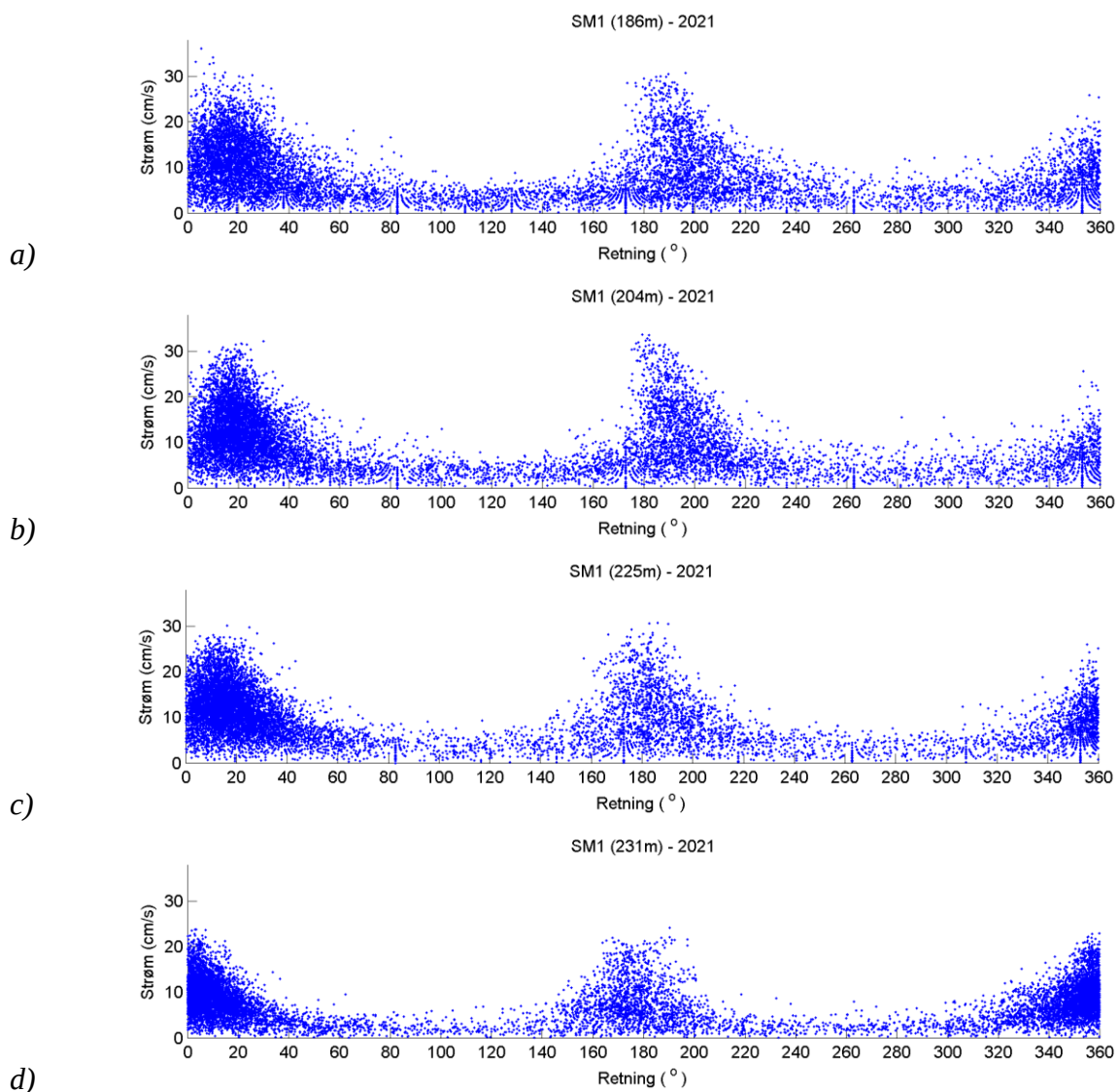
Figur 15: Strømroser som viser prosentvis andel målinger fordelt på ulike retninger med 15 graders oppløsning for fire utvalgte dyp: 186 m, b) 204 m, c) 225 m og d) 231 m fra stasjon SM2, basert på data fra måleperioden 25. mars – 8. juni 2021. Fargeskala til høyre henviser til fordeling av strømhastigheter innenfor hver retningssektor. Merk at retningen er i konvensjon "går mot".



Figur 16: Netto vanntransport per døgn fra stasjon SM1 for fire utvalgte dyp; a) 186 m, b) 204 m, c) 225 m og d) 231 m, basert på data fra måleperioden 25. mars – 8. juni 2021.



Figur 17: Tidsserie for strøm fra stasjon SM1 for fire utvalgte dyp for a) 186 m, b) 204 m, c) 225 m og d) 231 m.



Figur 18: Strømfart vs. strømrctning fra stasjon SM1 for fire utvalgte dyp: a) 186 m, b) 204 m, c) 225 m og d) 231 m, basert på data fra måleperioden 25. mars – 8. juni 2021.

Tabell 7: Statistikk for strømmålinger fra stasjon SM1 for fire utvalgte dyp; a) 186 m, b) 204 m, c) 225 m og d) 231 m, basert på data fra måleperioden 25. mars – 8. juni 2021.

186 m		204 m	
	Strøm (cm/s)		Strøm (cm/s)
Max	36.2	Max	33.6
Min	0	Min	0
Gj.snitt	8.9	Gj.snitt	10.1
% av målinger > 10 cm/s	37	% av målinger > 10 cm/s	45
% av målinger < 10 > 3 cm/s	48.3	% av målinger < 10 > 3 cm/s	44.5
% av målinger < 3 > 1 cm/s	12.5	% av målinger < 3 > 1 cm/s	8.9
% av målinger < 1 cm/s	2.2	% av målinger < 1 cm/s	1.6
95-prosentil (95 % av målingene er lavere enn denne verdien)	20.2	95-prosentil (95 % av målingene er lavere enn denne verdien)	22
Residual strøm	3.6	Residual strøm	4.8
Residual retning	26	Residual retning	29
Varians	34.9	Varians	39.5
Standardavvik	5.9	Standardavvik	6.3
Stabilitet (Neumanns parameter)	0.41	Stabilitet (Neumanns parameter)	0.47

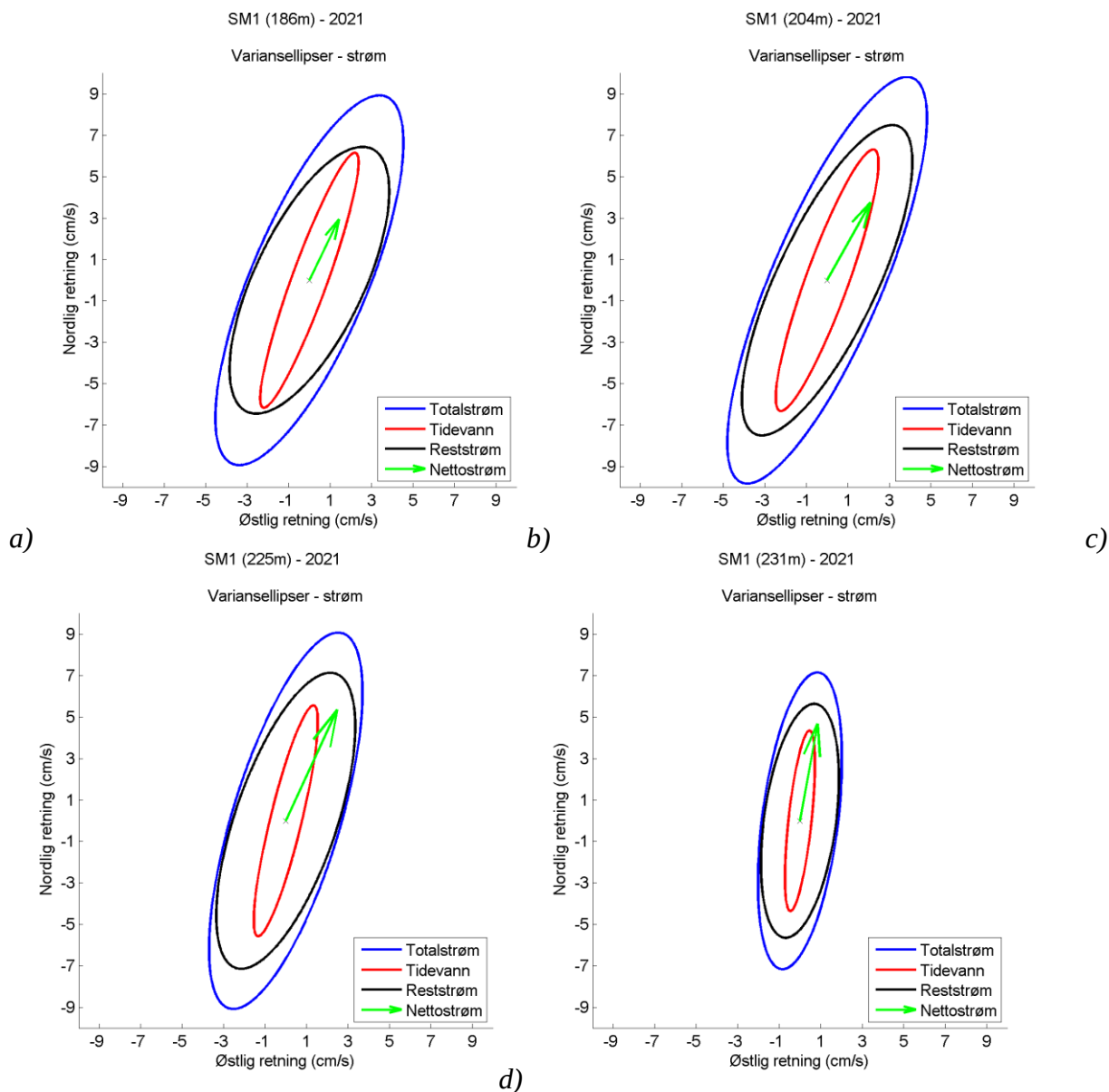
a)

225 m		Temperatur på instrumentdyp 229 meter (°C)
	Strøm (cm/s)	
Max	30.7	7.4
Min	0	5.1
Gj.snitt	10.4	7.4
% av målinger > 10 cm/s	48.7	
% av målinger < 10 > 3 cm/s	43.7	
% av målinger < 3 > 1 cm/s	6.7	
% av målinger < 1 cm/s	1	
95-prosentil (95 % av målingene er lavere enn denne verdien)	20.8	
Residual strøm	6.6	
Residual retning	25	
Varians	31.3	0
Standardavvik	5.6	0
Stabilitet (Neumanns parameter)	0.64	

c)

231 m		Temperatur (°C)
	Strøm (cm/s)	
Max	24.1	7.4
Min	0.1	7.3
Gj.snitt	8	7.4
% av målinger > 10 cm/s	30	
% av målinger < 10 > 3 cm/s	57	
% av målinger < 3 > 1 cm/s	11.4	
% av målinger < 1 cm/s	1.6	
95-prosentil (95 % av målingene er lavere enn denne verdien)	16.3	
Residual strøm	5.3	
Residual retning	10	
Varians	19.1	0
Standardavvik	4.4	0
Stabilitet (Neumanns parameter)	0.66	

d)

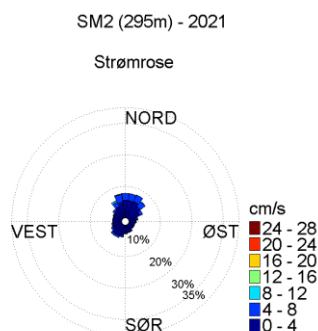


Figur 19: Variansellipser fra a) 186 m, b) 204 m, c) 225 m og d) 231 m ved stasjon SM1 for måleperioden 25. mars – 8. juni 2021. Ellipsene representerer to standardavvik til variansen i de ulike retninger. Bidraget fra tidevann (rød ellipse), reststrøm (sort ellipse) og totalstrømmen (blå ellipse) er illustrert. Nettostrømvektoren er vist med grønn pil.

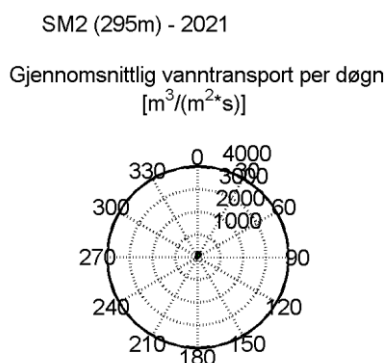
3.1.2.2 SM2

Strømmålingene fra punktmåleren helt nær havbunnen på 295 m dyp ved stasjon SM2, i dypbassenget til Nordfolda, viste svak strøm i hele måleperioden (Figur 22, Figur 23). Maksimal strømfart var 12,8 cm/s med et gjennomsnitt på 2,8 cm/s. Det var hyppigst og sterkest strøm mot nord (Figur 20), med en beskjeden nettostrøm på 1 cm/s og vanntransport mot nord (Tabell 8, Figur 21).

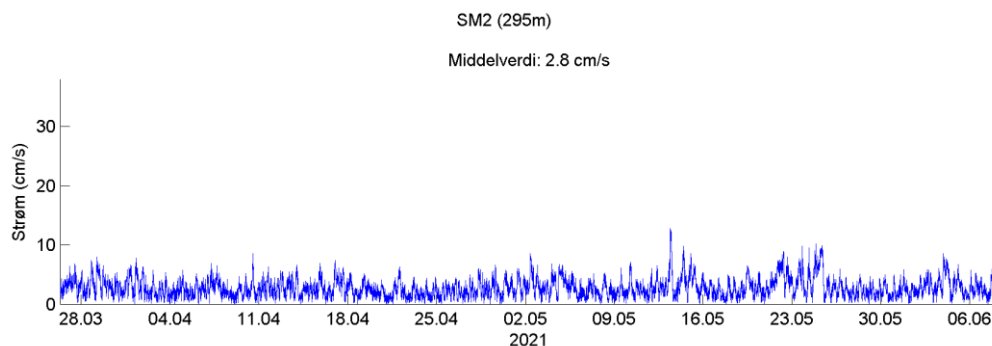
Tidevannet hadde beskjeden til moderat påvirkning på variansen til totalstrømmen (Figur 24), med ca. 18-19% i både øst-vest- og nord-sør-retning.



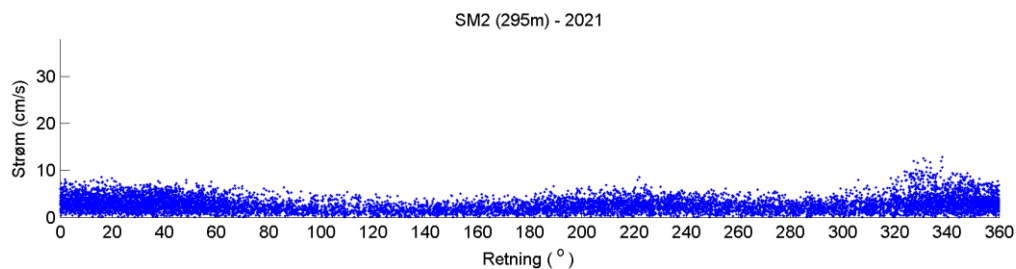
Figur 20: Strømroser som viser prosentvis andel målinger fordelt på ulike retninger med 15 graders oppløsning på 295 m dyp på stasjon SM2, basert på data fra måleperioden 26. mars – 8. juni 2021. Fargeskala til høyre henviser til fordeling av strømhastigheter innenfor hver retningssektor. Merk at retningen er i konvensjon "går mot".



Figur 21: Netto vanntransport per døgn fra stasjon SM2 fra 295 m dyp, basert på data fra måleperioden 26. mars – 8. juni 2021.



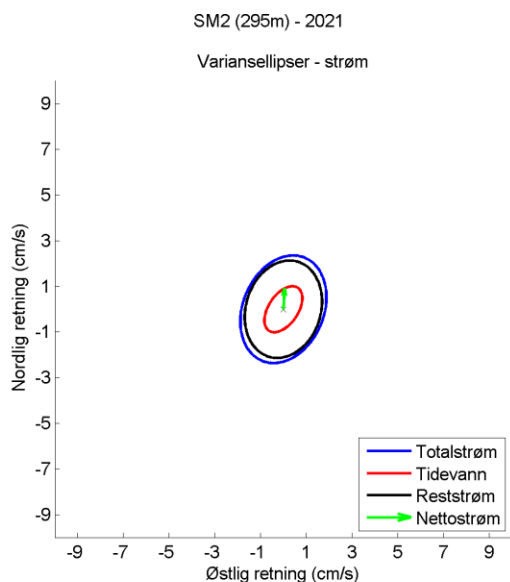
Figur 22: Tidsserie for strømfart fra stasjon SM2, 295 m dyp.



Figur 23: Strømfart vs. strømrctning fra stasjon SM2, 295 m dyp, basert på data fra måleperioden 26. mars – 8. juni 2021.

Tabell 8: Statistikk for strømmålinger fra stasjon SM2 for 295 m dyp, basert på data fra måleperioden 26. mars – 8. juni 2021.

295 m	Strøm (cm/s)	Temperatur (°C)
Max	12.8	7.4
Min	0	7.3
Gj.snitt	2.8	7.3
% av målinger > 10 cm/s	0.1	
% av målinger < 10 > 3 cm/s	37.1	
% av målinger < 3 > 1 cm/s	51.9	
% av målinger < 1 cm/s	10.9	
95-prosentil (95 % av målingene er lavere enn denne verdien)	5.8	
Residual strøm	1	
Residual retning	4	
Varians	2.6	0
Standardavvik	1.6	0.1
Stabilitet (Neumanns parameter)	0.36	



Figur 24: Variansellipse fra 295 m dyp ved stasjon SM2 for måleperioden 26. mars – 8. juni 2021. Ellipsene representerer to standardavvik til variansen i de ulike retninger. Bidraget fra tidevann (rød ellipse), reststrøm (sort ellipse) og totalstrømmen (blå ellipse) er illustrert. Nettostrømvektoren er vist med grønn pil.

3.1.2.3 SM3

Strømmålingene fra stasjon SM3 på terskelen inn mot dypbassenget til Mørsvikfjorden, viste en markert hovedstrømakse i retning vest – øst i alle måledyp (Figur 26, Figur 29). Det er generelt sterkest strømfart nær havbunnen på 179 m dyp og roligst strøm lengst opp i vannsøylen, på ca. 123 m dyp (Figur 25, Figur 28).

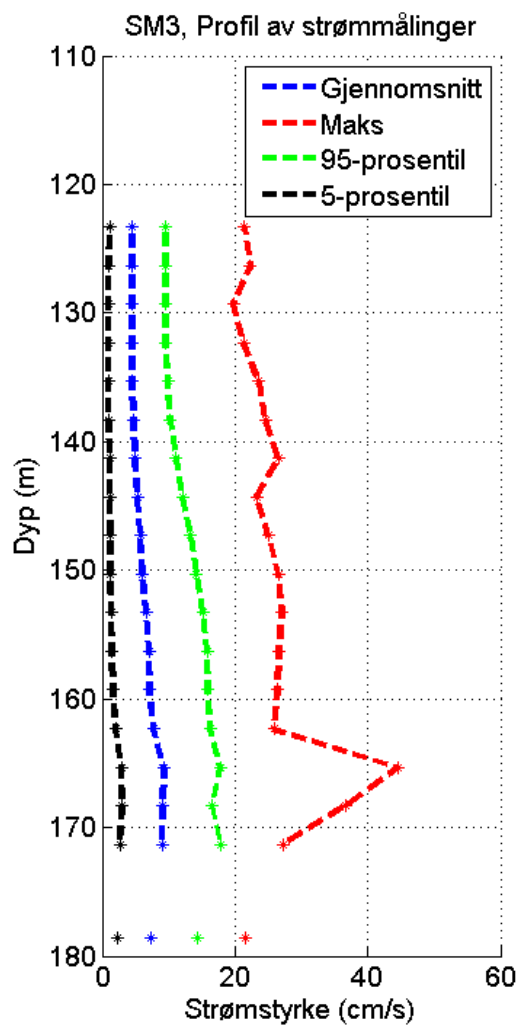
Gjennomsnittlig strømfart var størst ca. 10 m over havbunnen, med 9,1 cm/s. Den var noe svakere nærmest havbunnen (7,4 cm/s) og avtok gradvis oppover i vannsøylen til 4,6 cm/s ved 123 m dyp (Tabell 9, Figur 25, Figur 28).

Maksimal strømfart viste samme tendenser, hvor sterkest strøm på 27,1 cm/s igjen var 10 m over havbunnen. Det er usikkerhet omkring maksimalhastigheten på over 40 cm/s på 166 m dyp. Mest sannsynlig er det refleksjon fra flytekulene ca. 10 m over den profilerende måleren som forårsaker denne feilmålingen av maksimalhastighet. Nærmest havbunnen og lengst oppe i vannsøylen i målesonen (123 m) var maksimalstrømmen like over 20 cm/s.

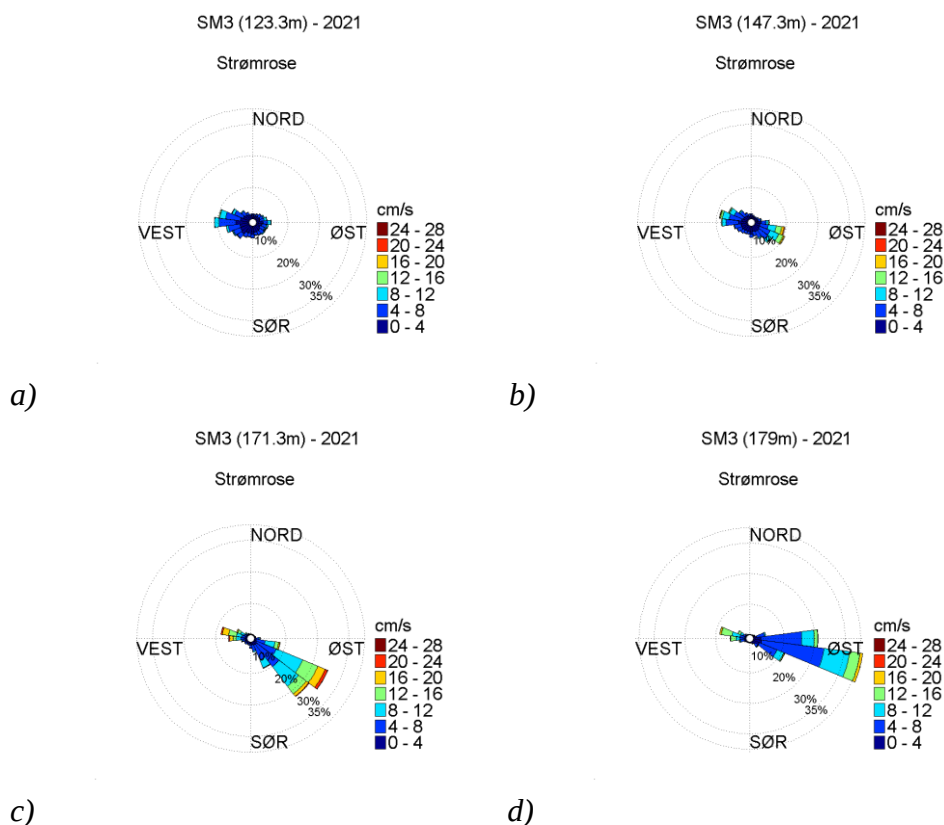
Nærmest havbunnen (171 og 179 m) var det generelt noe kraftigere strømfart i første halvdel av måleperioden (Figur 28).

Vanntransporten (Figur 27) var i retning mot sørøst nær havbunnen, med nettostrømmer i samme retning på henholdsvis 4,3 og 3,3 cm/s 10 m over havbunn og nærmest havbunnen (Tabell 9). Lenger oppe i vannsøylen var netto vanntransport og nettostrømmen svakere, og på 123 m var nettostrømmen 1,2 cm/s i motsatt retning, mot vest. Figur 29 bekrefter at nærmest havbunnen var det desidert hyppigst strøm i østlige retninger, mens det på 123 m dyp var hyppigst i vestlige retninger.

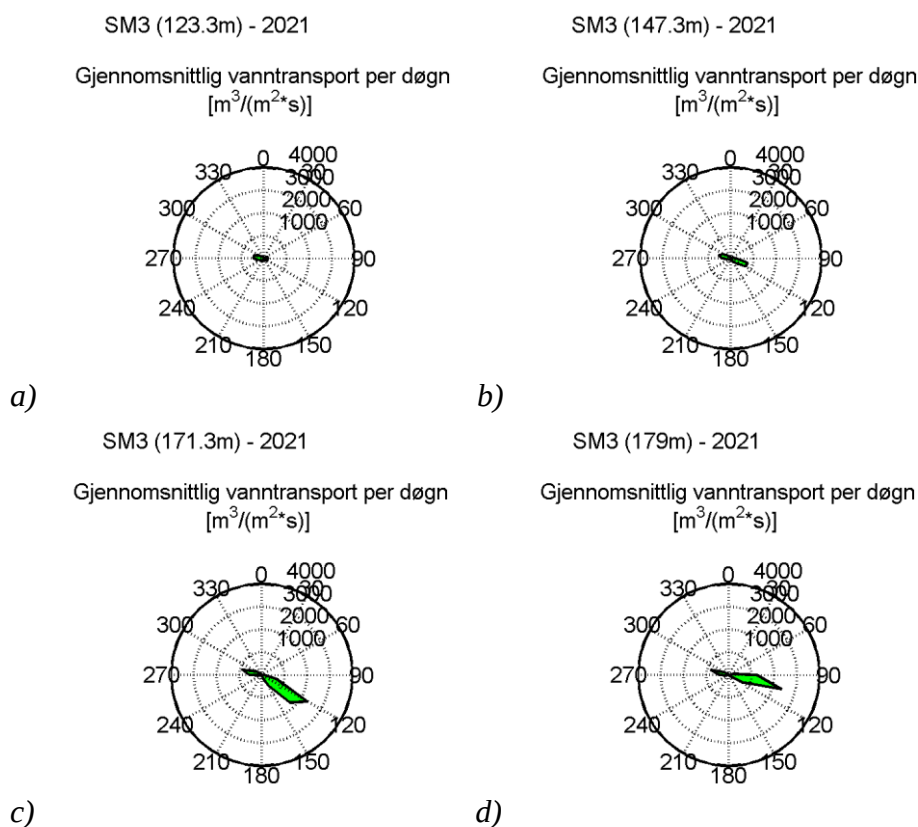
Det var beskjeden påvirkning fra tidevannskrefter i disse målingene som dekker de nederste 56 meter ned mot havbunnen (Figur 30). Variansbidrag fra tidevannet i både øst-vest- og nord-sør-retning varierte mellom 9 og 13% i de ulike dypcellene.



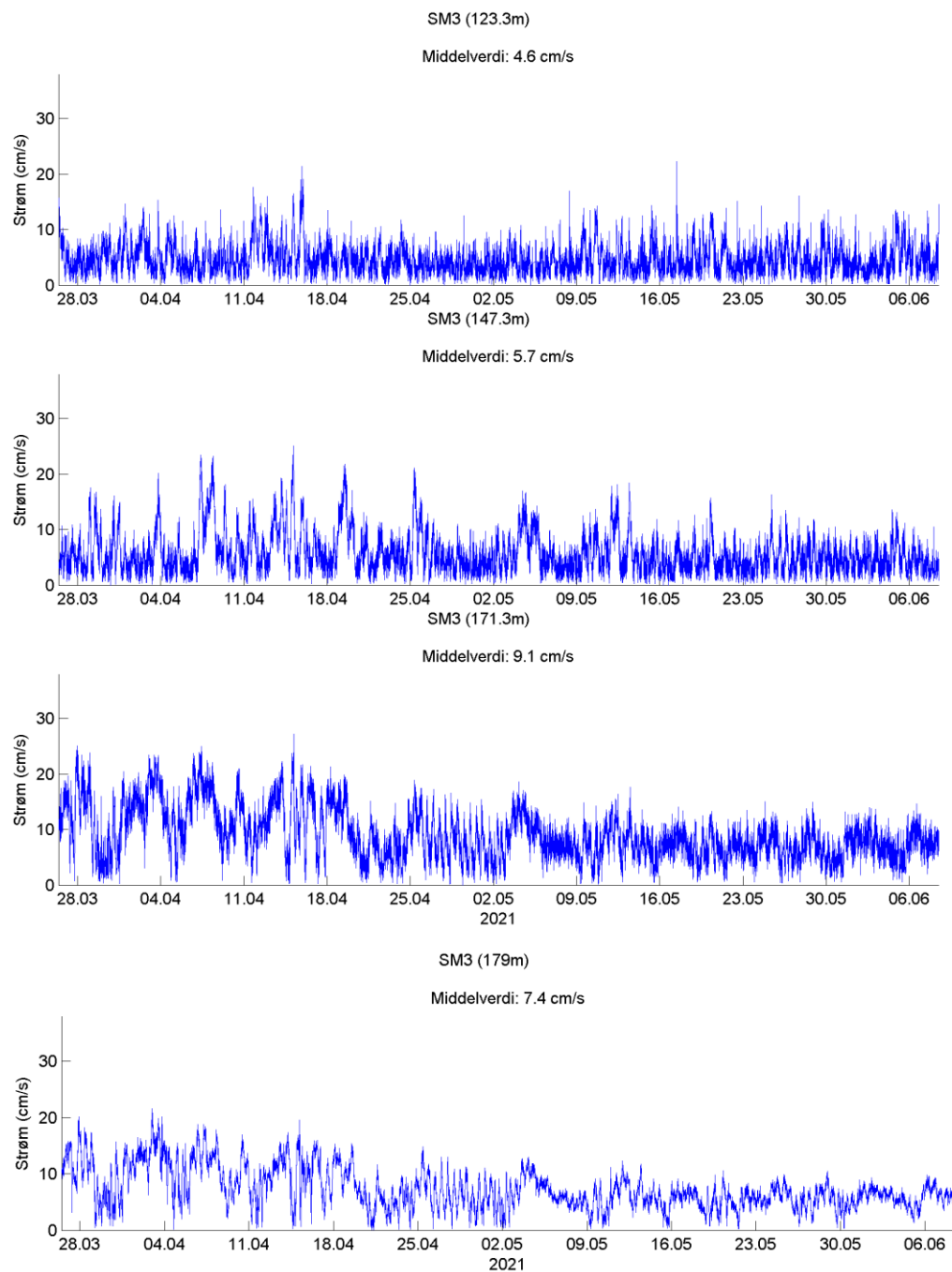
Figur 25: Vertikalprofiler med statistiske verdier for strømfarten til tidsserier fra strømmålingene mellom 26. mars og 8. juni 2021 ved stasjon SM3 for dypene fra nærmest havbunnen på 180 m og opp til ca. 123 m.



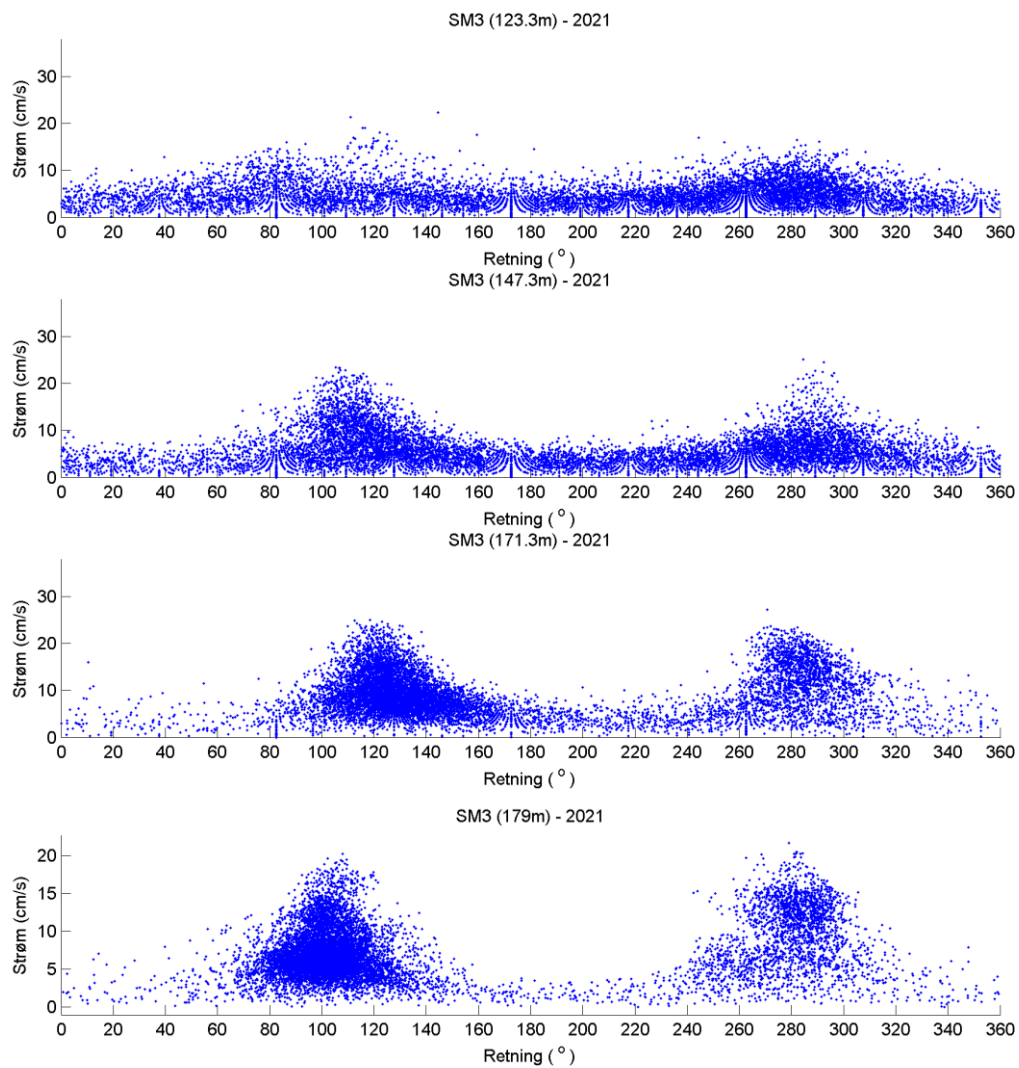
Figur 26: Strømroser som viser prosentvis andel målinger fordelt på ulike retninger med 15 graders oppløsning for fire utvalgte dyp: 123 m, b) 147 m, c) 171 m og d) 179 m fra stasjon SM3, basert på data fra måleperioden 26. mars – 8. juni 2021. Fargeskala til høyre henviser til fordeling av strømhastigheter innenfor hver retningssektor. Merk at retningen er i konvensjon "går mot".



Figur 27: Vanntransport per døgn fra stasjon SM3 for fire utvalgte dyp; a) 123 m, b) 147 m, c) 171 m og d) 179 m, basert på data fra måleperioden 26. mars – 8. juni 2021.



Figur 28: Tidsserie for strøm fra stasjon SM3 for fire utvalgte dyp for a) 123 m, b) 147 m, c) 171 m og d) 179 m.



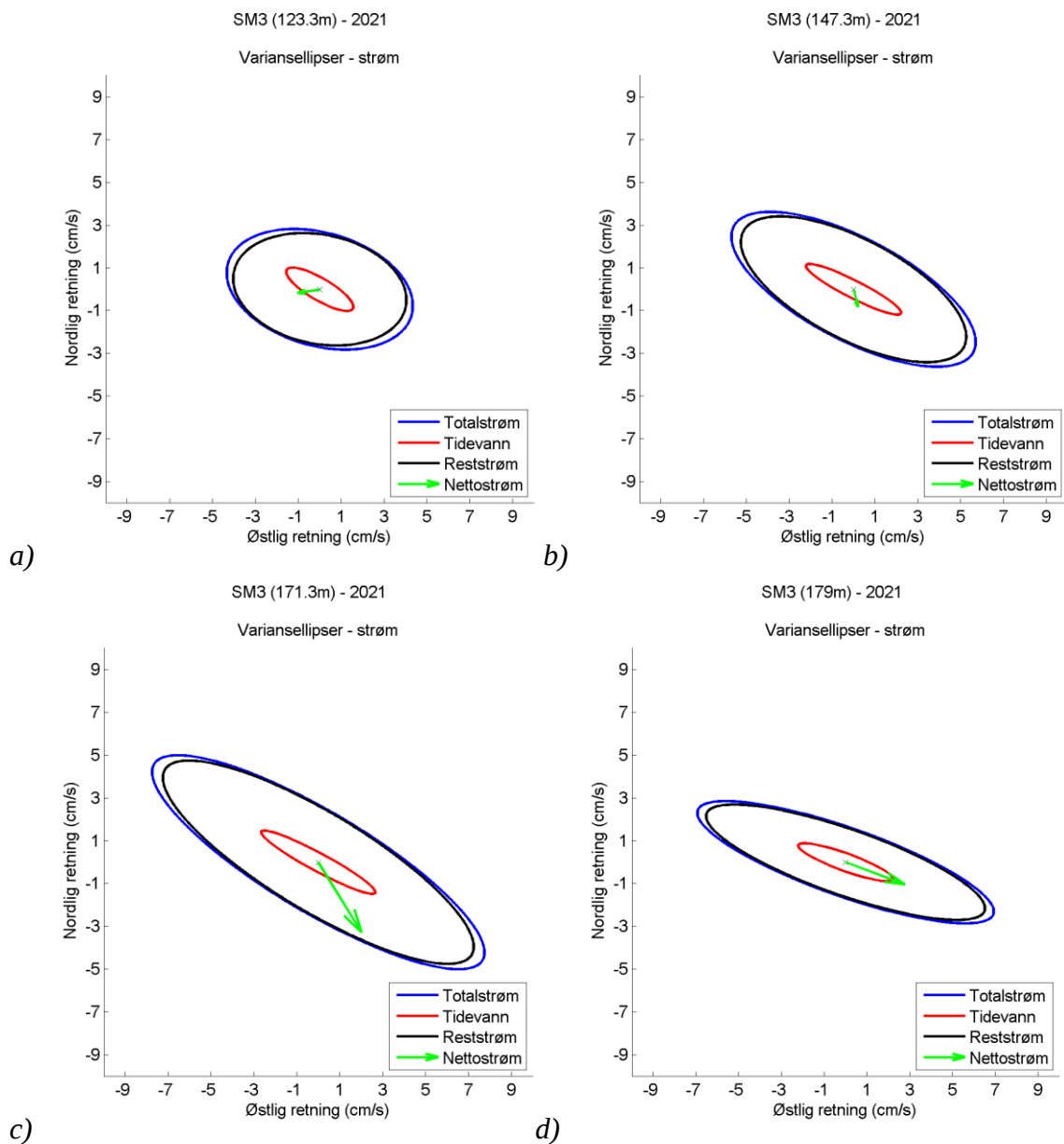
Figur 29: Strømfart vs. retning for stasjon SM3 for fire utvalgte dyp: a) 123 m, b) 147 m, c) 171 m og d) 179 m, basert på data fra måleperioden 26. mars – 8. juni 2021.

Tabell 9: Statistikk for strømmålinger fra stasjon SM3 for fire utvalgte dyp; a) 123 m, b) 147 m, c) 171 m og d) 179 m, basert på data fra måleperioden 26. mars – 8. juni 2021.

123 m		Strøm (cm/s)	147 m		Strøm (cm/s)
Max		22.3	Max		25.1
Min		0	Min		0
Gj.snitt		4.6	Gj.snitt		5.7
% av målinger > 10 cm/s		4.5	% av målinger > 10 cm/s		12.6
% av målinger < 10 > 3 cm/s		64.5	% av målinger < 10 > 3 cm/s		63
% av målinger < 3 > 1 cm/s		26.9	% av målinger < 3 > 1 cm/s		20.9
% av målinger < 1 cm/s		4.2	% av målinger < 1 cm/s		3.5
95-prosentil (95 % av målingene er lavere enn denne verdien)		9.7	95-prosentil (95 % av målingene er lavere enn denne verdien)		13.3
Residual strøm		1.2	Residual strøm		0.9
Residual retning		261	Residual retning		166
Varians		7.3	Varians		14.3
Standardavvik		2.7	Standardavvik		3.8
Stabilitet (Neumanns parameter)		0.26	Stabilitet (Neumanns parameter)		0.16

171 m		Strøm (cm/s)	Temperatur på instrumentdyp 175 meter (°C)
Max		27.2	7.4
Min		0	7.2
Gj.snitt		9.1	7.4
% av målinger > 10 cm/s		35.5	
% av målinger < 10 > 3 cm/s		58	
% av målinger < 3 > 1 cm/s		5.7	
% av målinger < 1 cm/s		0.8	
95-prosentil (95 % av målingene er lavere enn denne verdien)		17.9	
Residual strøm		4.3	
Residual retning		148	
Varians		21.4	0
Standardavvik		4.6	0
Stabilitet (Neumanns parameter)		0.47	

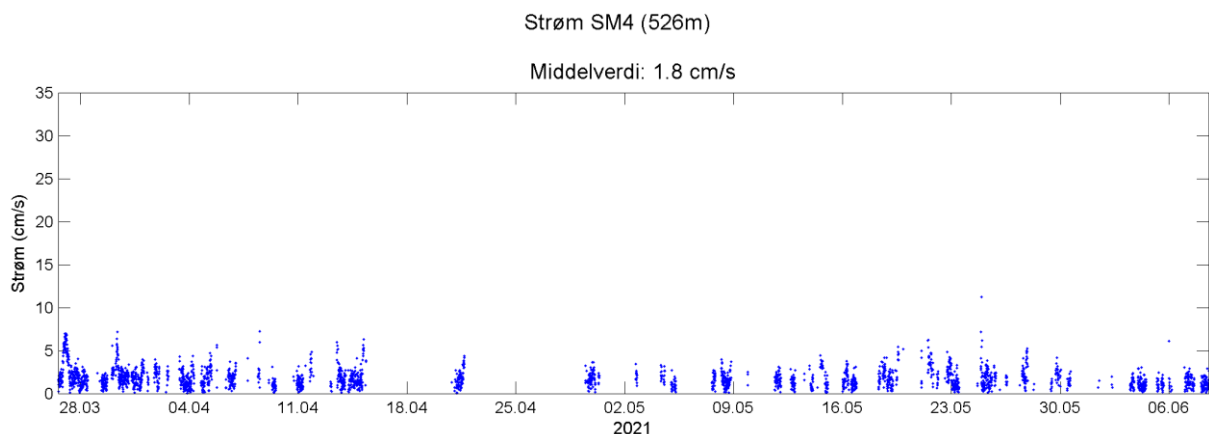
179 m		Strøm (cm/s)	Temperatur (°C)
Max		21.6	7.4
Min		0	7.2
Gj.snitt		7.4	7.3
% av målinger > 10 cm/s		22	
% av målinger < 10 > 3 cm/s		69.7	
% av målinger < 3 > 1 cm/s		7.2	
% av målinger < 1 cm/s		1.1	
95-prosentil (95 % av målingene er lavere enn denne verdien)		14.4	
Residual strøm		3.3	
Residual retning		111	
Varians		13.2	0
Standardavvik		3.6	0
Stabilitet (Neumanns parameter)		0.45	



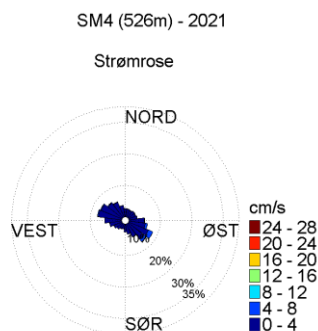
Figur 30: Variansellipser fra a) 123 m, b) 147 m, c) 171 m og d) 179 m ved stasjon SM3 for måleperioden 26. mars – 8. juni 2021. Ellipsene representerer to standardavvik til variansen i de ulike retninger. Bidraget fra tidevann (rød ellipse), reststrøm (sort ellipse) og totalstrømmen (blå ellipse) er illustrert. Nettostrømvektoren er vist med grønn pil.

3.1.2.4 SM4

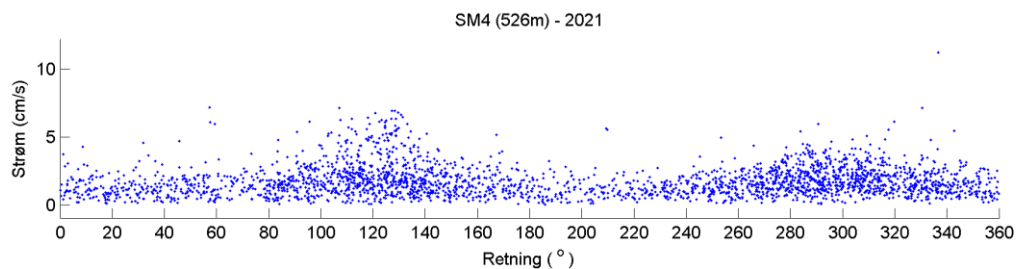
Strømmåleren i dybbassenget til Mørsvikfjorden hadde oppdriftskuler et par meter over måleren, som kollapset svært tidlig i måleforløpet. Derfor har måleren ligget skjevt og har få gyldige strømmålinger. Rensing iht. instrumentleverandør gir ca. 25% gyldige data mellom 26. mars og 8. juni 2021. Sannsynligvis har måleren stått noenlunde oppreist og oppnådd gode målinger når det er mye vind eller strøm nær overflaten i Mørsvikfjorden. Derfor antas det at disse målingene som er gyldige kan være representative for sterke strømmer nær bunnen. Det kan dog ikke utelukkes at andre mekanismer er viktigere og at perioder eller korte hendelser med sterkere strøm enn vist i (Figur 31) oppnås. Når måleren har stått noenlunde oppreist og de akustiske strålene ikke har truffet bunnen, så er strømhastigheten typisk på ca. 3 cm/s eller lavere. Maksimalhastigheten er ca. 10 cm/s. Merk at denne tidsserien kun er veiledende, fordi det kun er sporadiske målinger som er tilgjengelig.



Figur 31: Registreringer av strømfart vs. tid som har gått igjennom rensekriteriene for punktmåleren som stod ved stasjon SM4 i perioden 26. mars - 8. juni 2021.



Figur 32: Strømroser som viser prosentvis andel målinger fordelt på ulike retninger med 15 graders oppløsning på 526 m dyp på stasjon SM4, basert på data fra måleperioden 26. mars – 8. juni 2021, hvor kun ca. 25% av data var gyldige. Resultatet er dermed kun veiledende. Fargeskala til høyre henviser til fordeling av strømhastigheter innenfor hver retningssektor. Merk at retningen er i konvensjon "går mot".



Figur 33: Strømfart vs. retning for stasjon SM4 for dypet 526 m nær havbunnen basert på data fra måleperioden 26. mars – 8. juni 2021. Merk at kun ca. 25% av data var gyldige slik at resultatene kun er veiledende.

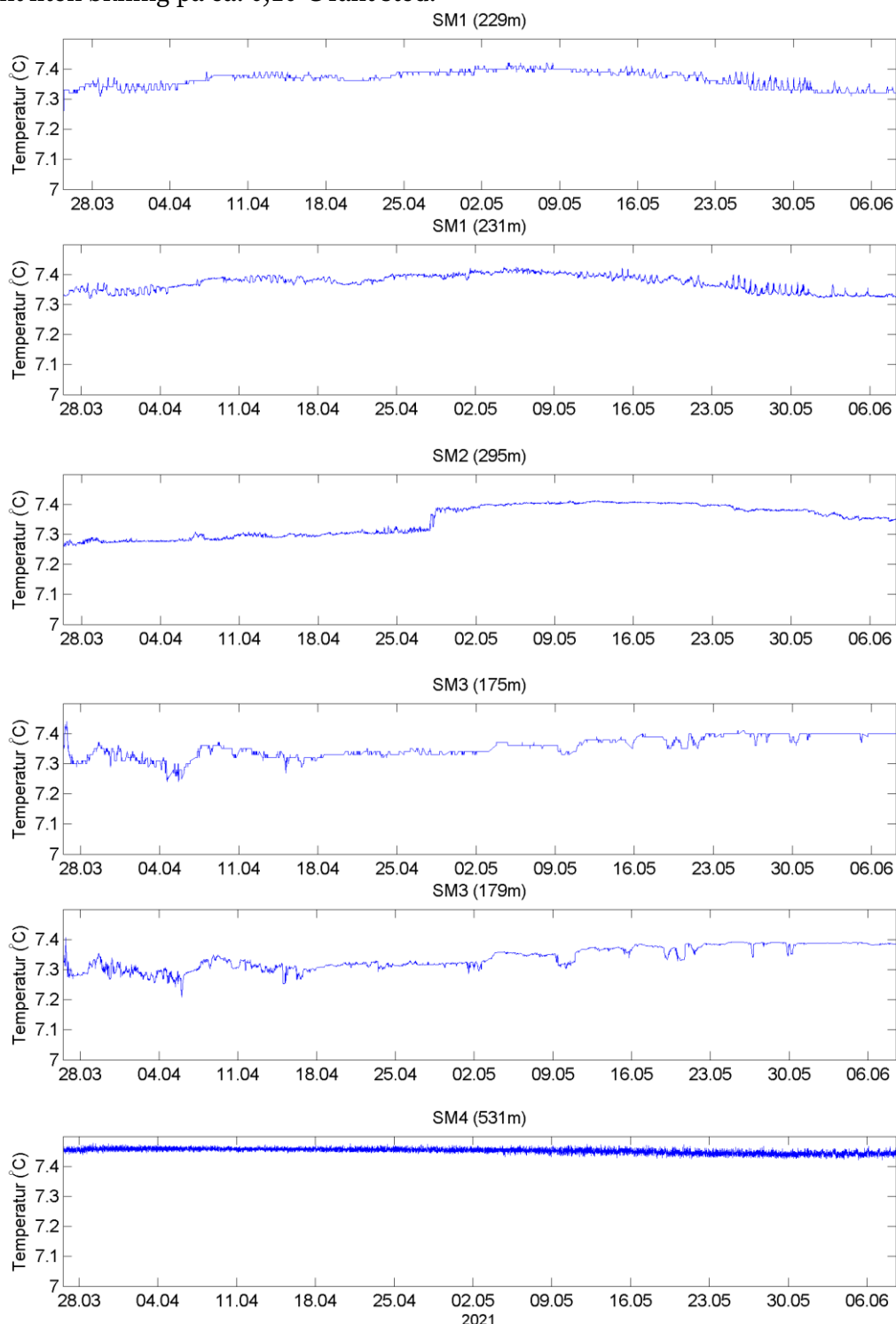
Tabell 10: Statistikk for strømmålinger fra stasjon SM4 for 526 m dyp, basert på data fra måleperioden 26. mars – 8. juni 2021, hvor kun ca. 25% av data var gyldige. Disse statistiske verdiene er derfor kun veiledende.

SM4	Strøm (cm/s) (526 m)	Temperatur (°C)
Maks	11.2	7.5
Min	0.0	7.4
Gj.snitt	1.8	7.5
% av målinger > 10 cm/s	0.0	
% av målinger < 10 > 3 cm/s	12.0	
% av målinger < 3 > 1 cm/s	62.3	
% av målinger < 1 cm/s	25.6	
95-prosentil (95 % av målingene er lavere enn denne verdien)	4.0	
Residual strøm	0.0	
Residual retning	102	
Varians	1.3	0.0
Standardavvik	1.1	0.0
Stabilitet (Neumanns parameter)	0.00	
Signifikant minimal hastighet	0.7	
Signifikant maksimal hastighet	3.0	

3.1.3 Temperatur, saltholdighet og oksygen fra strømmålere

3.1.3.1 Temperatur

Alle strømmålerne i prosjektet har hatt temperaturmålere festet til seg. Tidsseriene er vist i Figur 34. Den varmeste temperaturen er funnet i dypbassenget til Mørsvikfjorden, på 531 m dyp, med ca. 7,45°C. Den kaldeste temperaturen ble funnet på stasjon SM2, i dypvannet i bassenget til Nordfolda, i første halvdel av tidsserien. Da var temperaturen ca. 7,27°C. Omkring 28. april kom det inn en varmere vannmasse til området hvor strømmåleren stod plassert, og en plutselig og markant liten økning på ca. 0,10°C fant sted.



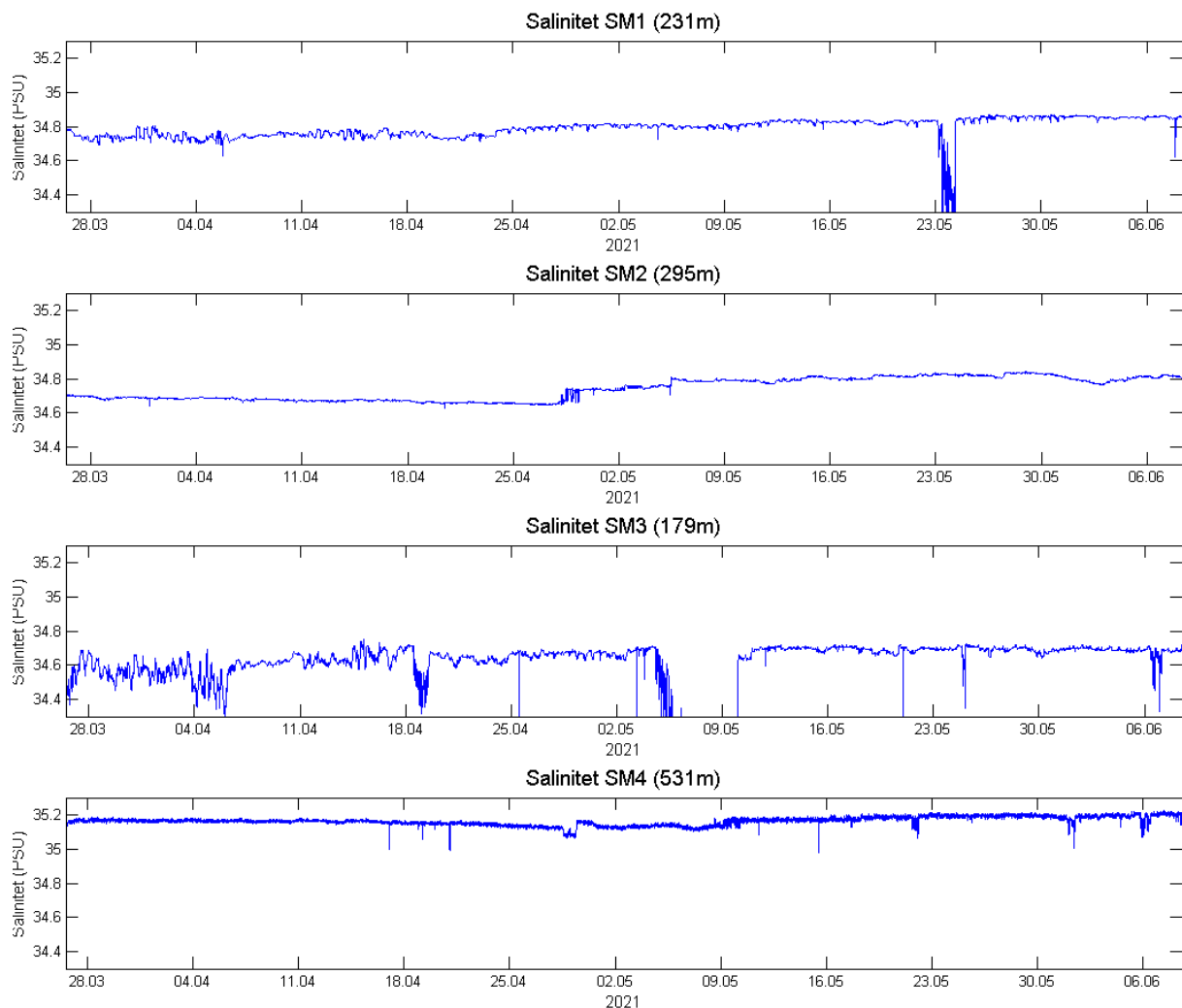
Figur 34: Tidsserier for temperatursensorer som har vært påmontert både de profilerende strømmålerne og punktmålerne i løpet av måleoppdraget.

3.1.3.2 Saltholdighet

Punktmålerne på stasjon SM1, SM2, SM3 og SM4 har også målt saltholdighet. Tidsseriene er vist i Figur 35. Saltholdigheten var ganske konstant over tid både på tersklene (SM1 og SM3) og i dypbassengene (SM2 og SM4).

Også for saltholdighet var den en liten endring i form av økning av saltholdighet omkring 27. april på SM2. Dette bekrefter inntreden av en ny vannmasse, som er noe saltare og varmere (kapittel 3.1.3.1).

De markerte reduksjonene i saltholdighet på SM1 omkring 24. mai og på SM3 i begynnelsen av mai er ikke realistiske og må være forstyrrelser på sensoren. De andre store, plutselige endringene i saltholdighet på SM3 og SM4 er også mistenksomme data.



Figur 35: Tidsserier for saltholdighet basert på konduktivitetssensorer som har vært påmontert punktmålere (Seaguard I) ved stasjon SM1, SM2, SM3 og SM4 i løpet av måleoppdraget.

3.1.3.3 Oksygen

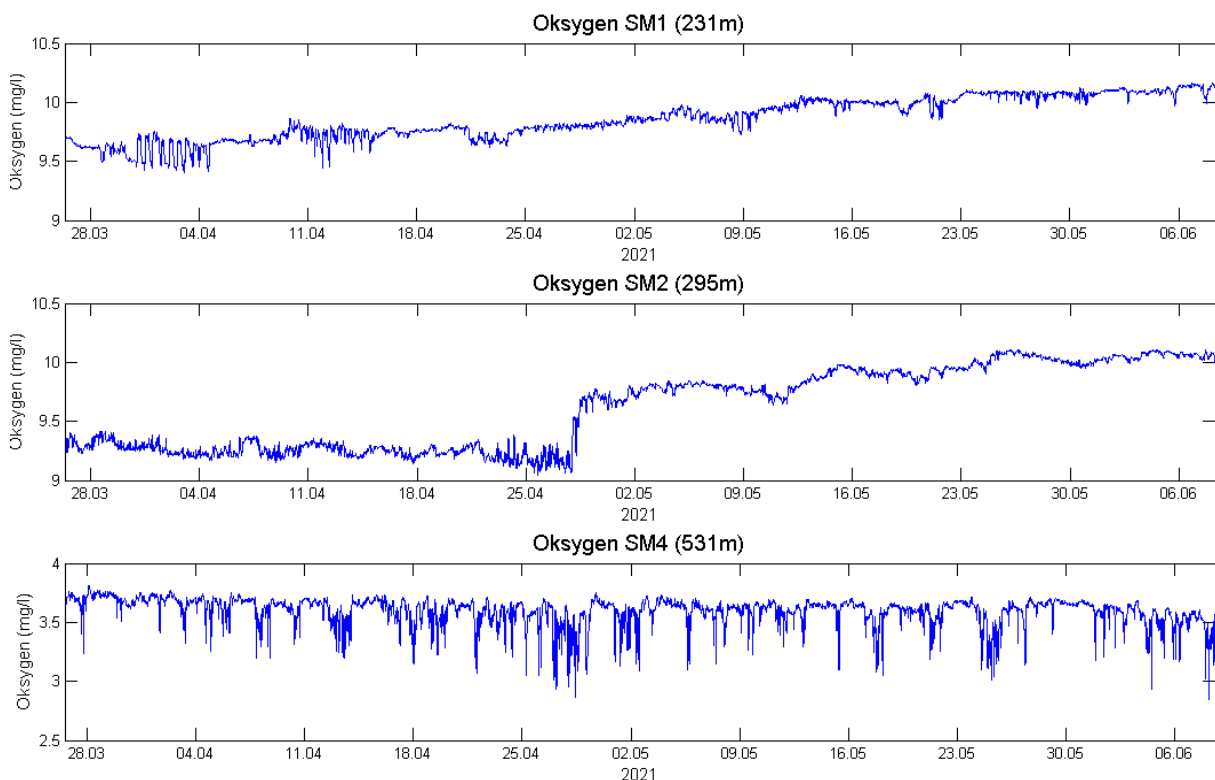
På punktmålerne til alle stasjonene har det også vært påmontert oksygensensor.

Ved stasjon SM1, på terskelen inn til Nordfolda-bassenget, økte oksygenmetningen fra ca. 9,5 mg/l oksygen eller ca. 80% oksygenmetning ved utplasseringen av måleren den 25. mars til omkring 10,2 mg/l eller 84% den 8. juni 2021 (Figur 36).

I dypbassenget til Nordfolda (SM2) minket oksygeninnholdet noe fra ca. 9,3 mg/l (78% oksygenmetning) til ca. 9,1 mg/l (76% oksygenmetning), før en plutselig økning fant sted ca. 27. april. Den plutselige endringen i oksygen sammenfalt med plutselig økning i temperatur (Figur 34) og saltholdighet (Figur 35). Den nye verdien var omkring 9,7 mg/l (82% oksygenmetning), og denne økte gradvis videre til ca. 10 mg/l oksygen (84% oksygenmetning) i løpet av måleperioden.

Oksygensensoren til SM3 fungerte ikke, så der ble det ikke vellykkede data.

I dypbassenget til Mørsvikfjorden (SM4) minket oksygennivået fra ca. 3,75 til 3,5 mg/l, som tilsvarer en reduksjon i oksygenmetninga fra ca. 31% til ca. 29% i løpet av de drøye 2 månedene hvor strømmåleren med oksygensensor var utplassert. De kraftige svingningene (nederst i Figur 36) er trolig forårsaket av at flytekulene over instrumentet har implodert, og at sensoren delvis har hatt kontakt med bunnsedimentet ved de laveste verdiene. Det er usikkerhet omkring svingningene mellom 3,75 og 3,0 mg/l vedrørende hvilke verdier som representerer vannmassene, og hvilke verdier som representerer bunnsedimentet.



Figur 36: Tidsserier for oksygenmålinger, hvor konsentrasjon i mg/l er vist. Oksygensensorene har vært påmontert punktmålerne (Seaguard I) i løpet av måleoppdraget på stasjonene SM1, SM2 og SM4.

3.1.4 Næringssalter

Vertikalprofiler av de kjemiske parameterne som er analysert ved stasjonene SM1 – SM4 er vist i Figur 37 - Figur 40

Temperatur, saltholdighet og oppløst oksygen ble målt med SAIV CTD (se også kapittel 2.1.1).

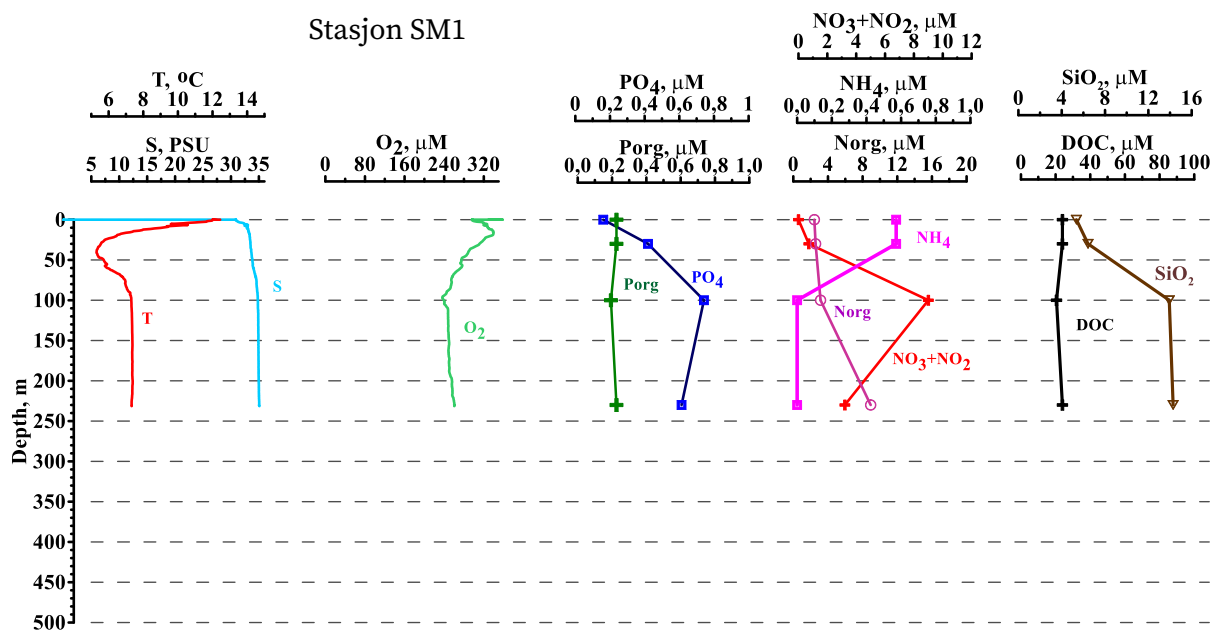
Fordelingene av de kjemiske parameterne ved stasjon SM1 – SM3 viser oksygenrikt vann gjennom hele vannsøylen, hvor alle næringssaltene og parameterne det er analysert for, havner i tilstandsklasse I (Svært God) eller II (God) jfr. Miljødirektoratet (2018).

I dyplaget fra 300 m og til havbunnen på stasjon SM4 er det målt synkende oksygen, fra God tilstand øverst til Dårlig tilstand nærmest havbunnen (se også kapittel 3.1.1.4). Fordelingen av næringssalter tilsvarer situasjoner med normale oksygenforhold på alle stasjoner unntatt i dyplaget ved stasjon SM4.

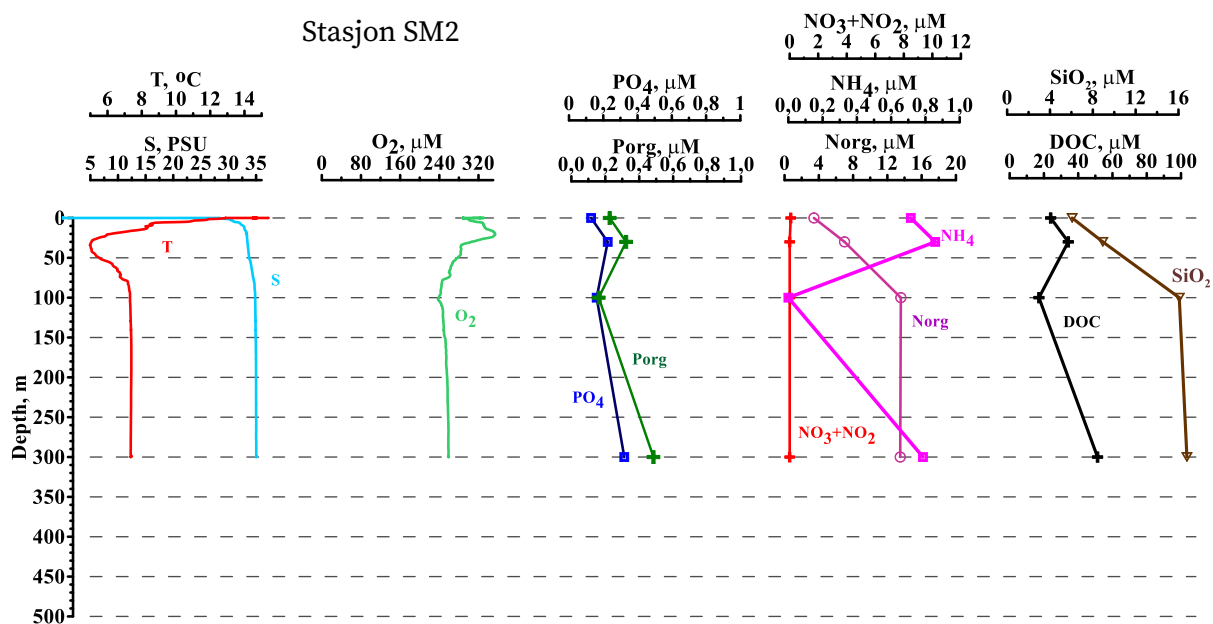
Målte verdier for oppløst organisk fosfor og oppløst organiske næringssalter samsvarer med typiske verdier for kystsonen i Norge, og overskrider ikke 1 µM for organisk fosfor og 14 µM for organisk nitrogen. Estimerte verdier for organisk karbon (DOC) er også lave.

Stasjon SM1 – SM3 er karakterisert av godt omrørte vannmasser og normale oksygenforhold i hele vannsøylen, mens det ved stasjon SM4 er et markert dyplag med lavere oksygenkonsentrasjon. Den svært lave oksygenkonsentrasjonen nær havbunnen ved stasjon SM4 kan forklares ved akkumulering av organisk materiale på havbunnen og begrenset tilgang til oksygen i umiddelbar nærhet til havbunnen. En slik situasjon er en typisk naturlig tilstand for terskelfjorder.

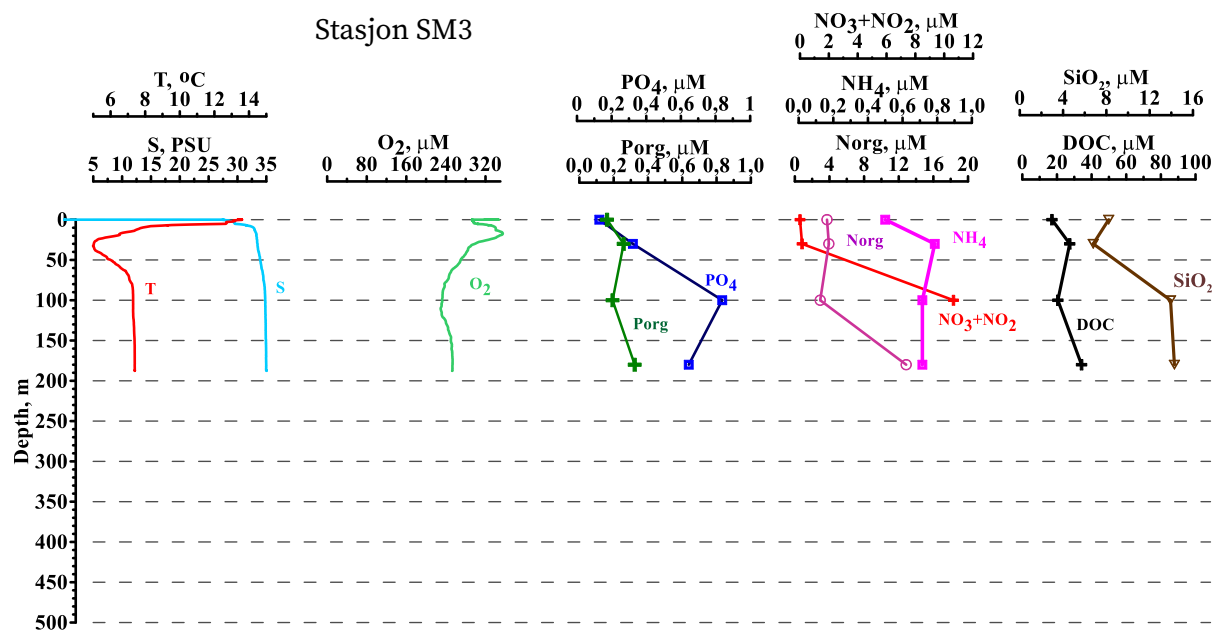
En økning i organisk materiale i vannsøylen på grunn av fiskeoppdrett kan redusere oksygeninnholdet nær havbunnen og i porevannet til sedimentene på havbunnen. Denne mekanismen er modellert i Yakushev m.fl. (2020), men vil ikke påvirke konsentrasjonen av oksygen i selve vannsøylen. De målte verdiene nær havbunnen i denne studien er tilstrekkelige til å oksidere eventuelt ekstra tilførte mengder med organisk materiale fra oppdrettsanlegg. Det anbefales likevel å studere forholdet mellom størrelsen på tilførselen av fôrspill og fekalier fra oppdrettsanlegg og oksygenforbruket nær havbunnen og i bunnsedimentet. Tilnærminger til dette er utført via målinger (se Vedlegg C).



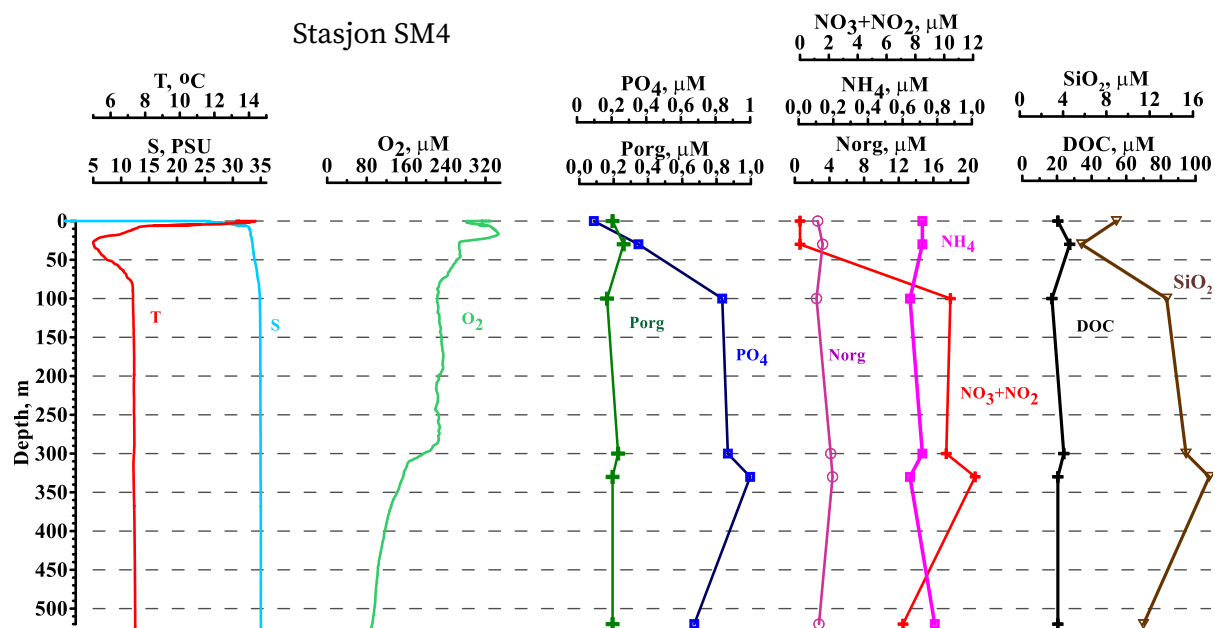
Figur 37: Vertikalprofiler av temperatur (T), saltholdighet (S), oppløst oksygen (O₂), fosfat (PO₄), oppløst organisk fosfor (P_{org}), nitrat og nitritt (NO₃ + NO₂), ammonium (NH₄), oppløst organisk nitrogen (N_{org}), silikat (SiO₂) og oppløst organisk karbon (DOC) ved stasjon SM1.



Figur 38: Vertikalprofiler av temperatur (T), saltholdighet (S), oppløst oksygen (O₂), fosfat (PO₄), oppløst organisk fosfor (P_{org}), nitrat og nitritt (NO₃ + NO₂), ammonium (NH₄), oppløst organisk nitrogen (N_{org}), silikat (SiO₂) og oppløst organisk karbon (DOC) ved stasjon SM2.



Figur 39: Vertikalprofiler av temperatur (T), saltholdighet (S), oppløst oksygen (O₂), fosfat (PO₄), oppløst organisk fosfor (P_{org}), nitrat og nitritt (NO₃ + NO₂), ammonium (NH₄), oppløst organisk nitrogen (N_{org}), silikat (SiO₂) og oppløst organisk karbon (DOC) ved stasjon SM3.



Figur 40: Vertikalprofiler av temperatur (T), saltholdighet (S), oppløst oksygen (O₂), fosfat (PO₄), oppløst organisk fosfor (P_{org}), nitrat og nitritt (NO₃ + NO₂), ammonium (NH₄), oppløst organisk nitrogen (N_{org}), silikat (SiO₂) og oppløst organisk karbon (DOC) ved stasjon SM4.

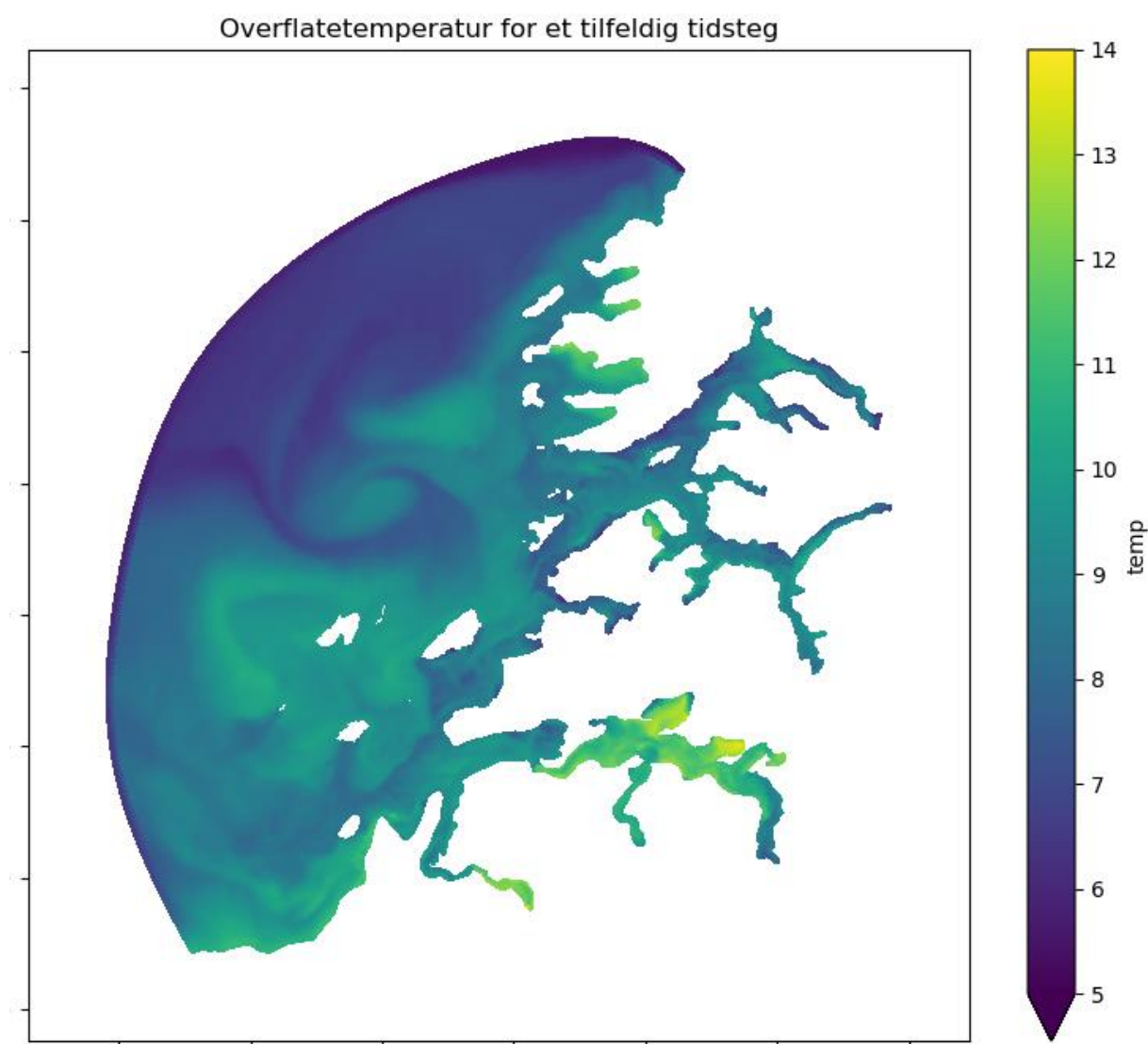
3.2 Modellering

3.2.1 Modellering av hydrodynamikk

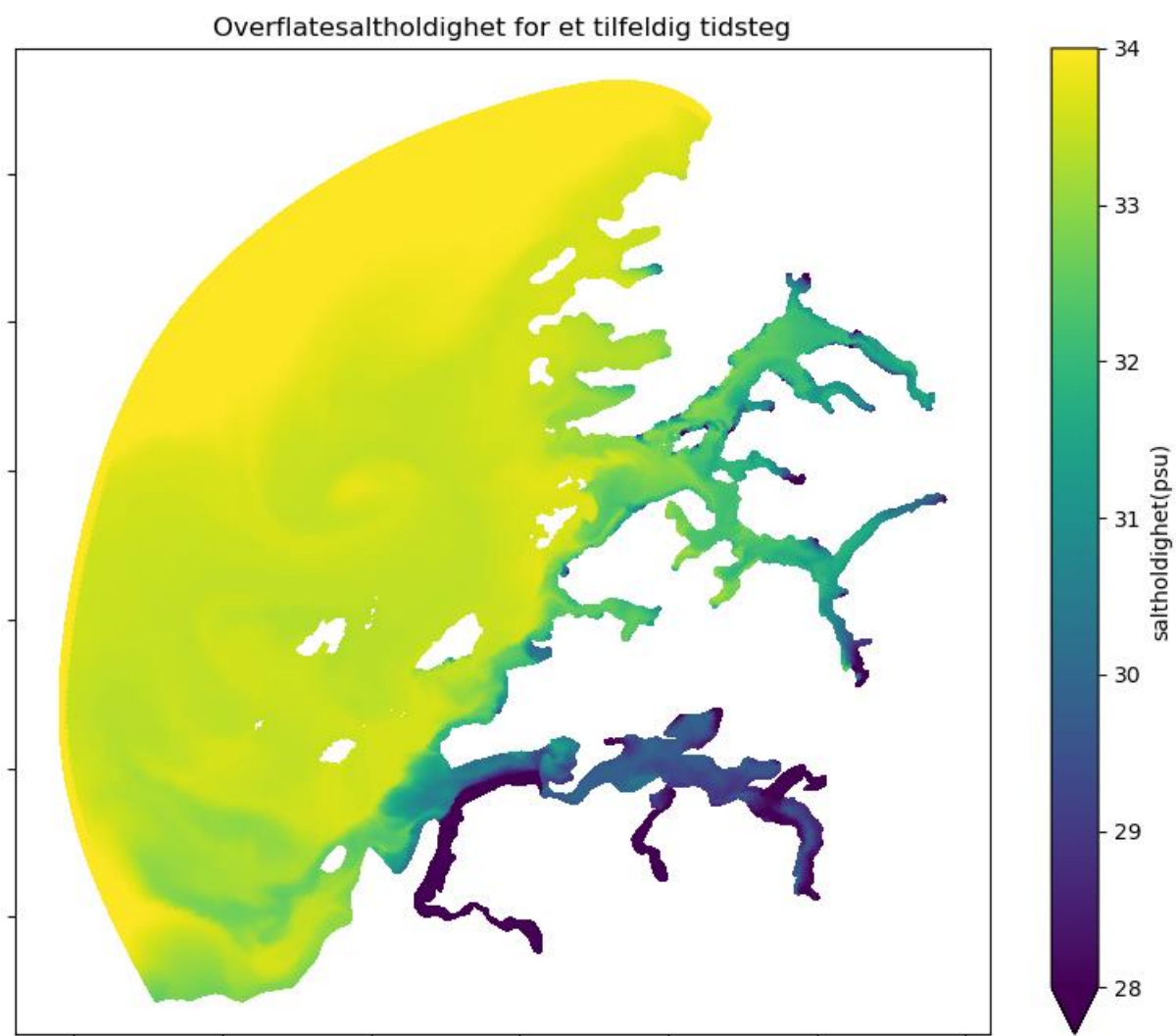
Resultater fra modellering av hydrodynamikken med modellen FVCOM er vist med noen øyeblikksbilder av temperatur og salt på overflaten innenfor modellområdet, samt for et vertikaltransekt innover fra Vestfjorden gjennom Nordfoldas fjordsystem og helt inn til Mørsvikbotn innerst i fjorden.

Overflatetemperaturen viser varmere vann innover i noen av fjordene, og noen større virvler ute i Vestfjorden (Figur 41). Saltholdigheten er høyest utover mot Vestfjorden og lavest innover i fjordene (Figur 42). Spesielt Saltfjorden og Skjerstadvfjorden sør for Nordfoldas og Sørfoldas fjordsystem har varmt og ferskt vann på dette tilfeldige tidssteget.

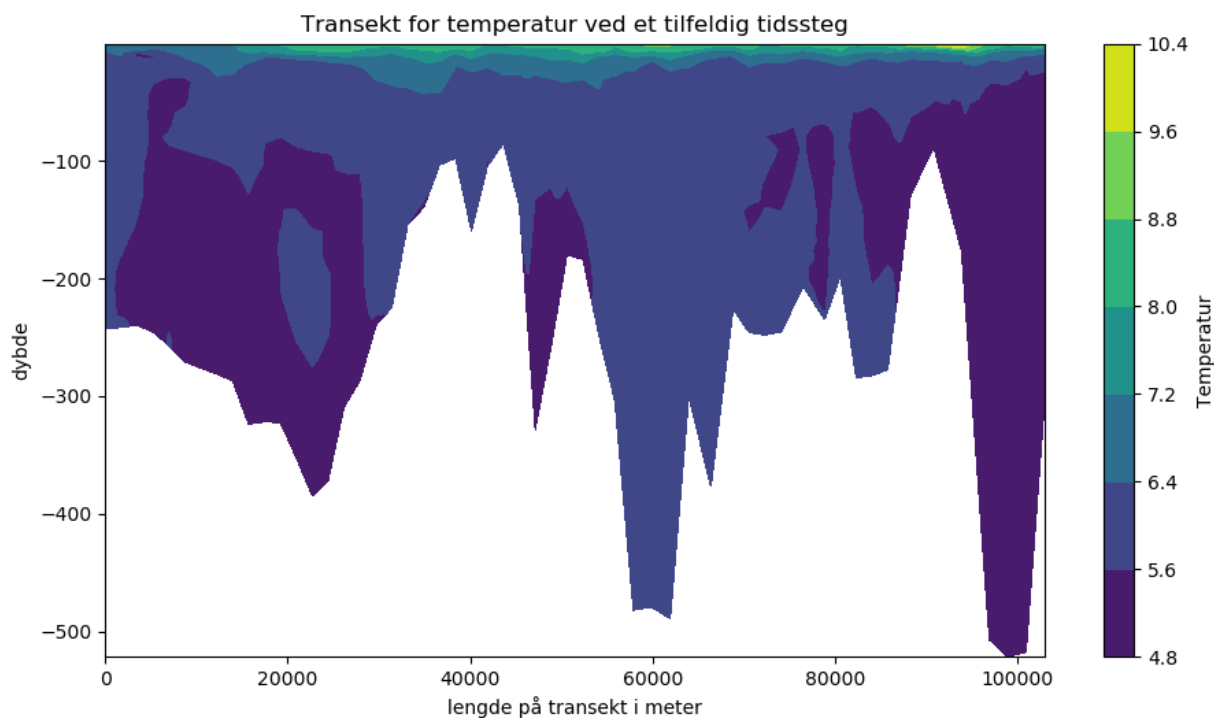
Geografisk plassering av de to vertikaltransektene for temperatur (Figur 43) og saltholdighet (Figur 44) er vist med rød linje i Figur 7. Vertikaltransektene viser noenlunde samme vannmasseprofiler i vannsøylen i de ulike bassengene for dette tilfeldig utvalgte tidspunktet. Dette tyder på god utskiftning mellom de ulike delbassengene i terskelfjord-systemet i Nordfolda, i den hydrodynamiske 3D-modellen FVCOM.



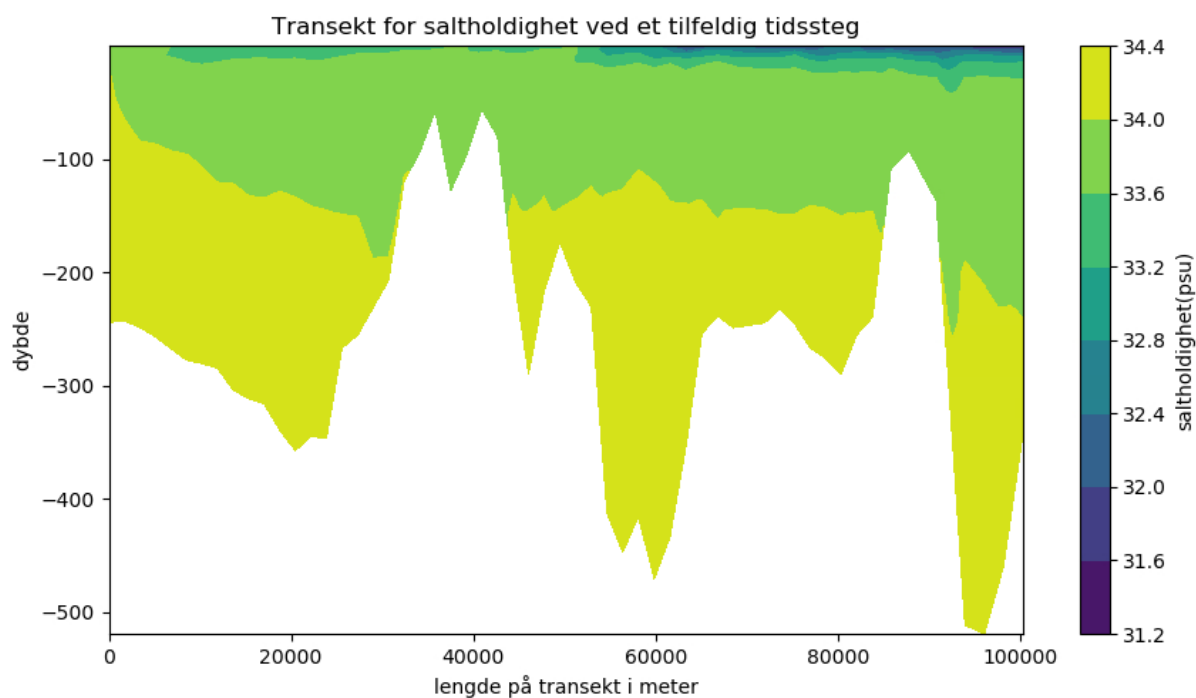
Figur 41: Temperatur for modellområdet fra et tilfeldig utvalgt tidssteg på våren. Fargeskala er gitt til høyre.



Figur 42: Saltholdighet for modellområdet fra et tilfeldig utvalgt tidssteg på våren. Fargeskala er gitt til høyre.



Figur 43: Vertikaltransekt for temperatur for vannmassene langs rød linje vist på kart i Figur 7, med Vestfjorden til venstre og Mørsvikfjorden til høyre.



Figur 44: Samme som i Figur 43, men med saltholdighet.

3.2.2 Modellering av sedimentering

I de følgende figurene vises karbonavtrykket på havbunnen under de fire anleggene som det har blitt utført sedimenteringsmodellering for. Dette er lokalitetene som har vært aktive i løpet av prosjektperioden/modelleringsperioden fra sommeren 2020 til slutten av 2021 (se kapittel 2.4.1.3). Tallet ved hvert bur viser til høyeste karbonkonsentrasjon funnet i modellen under hvert bur etter en måned med utslipp tilsvarende måneden med maks utfôring. Måneden som er modellert, er august 2021. Den grå linjen omkranser området som mottar mer enn 10 g karbon/m²/dag. Den røde linjen viser modellert AZE-sone (Allowable Zone of Effect). AZE sonen og dens definisjon stammer fra "ASC salmon standard" rapporten (Aquaculture Stewardship Council, 2019).

3.2.2.1 Martnesvika

Lokaliteten Martnesvika ligger plassert helt nord i Nordfolda, i Mørsvikfjorden (Figur 6). I Figur 45 vises et nærbilde av karbonavtrykket for lokaliteten. Maks karbonverdi er på 0,81 kg/m²/måned, og er under buret lengst sør-øst, som også er det av de 12 burene som er plassert grunnest, med et dyp på omtrent 75 m. I motsatt ende av anlegget i nordvest er buret med lavest konsentrasjon under, på kun 0,15 kg/m²/måned. Dypet under denne merden er ca. 275 m. En fordel med store dyp illustreres godt i modellen, ved at sedimentene da bruker lengre tid på å nå bunnen, og har derfor god tid til å bli transportert over lengre avstander. Det organiske materialet blir da "tynnet" ut før det legger seg på bunn, og punktblastningen blir begrenset.

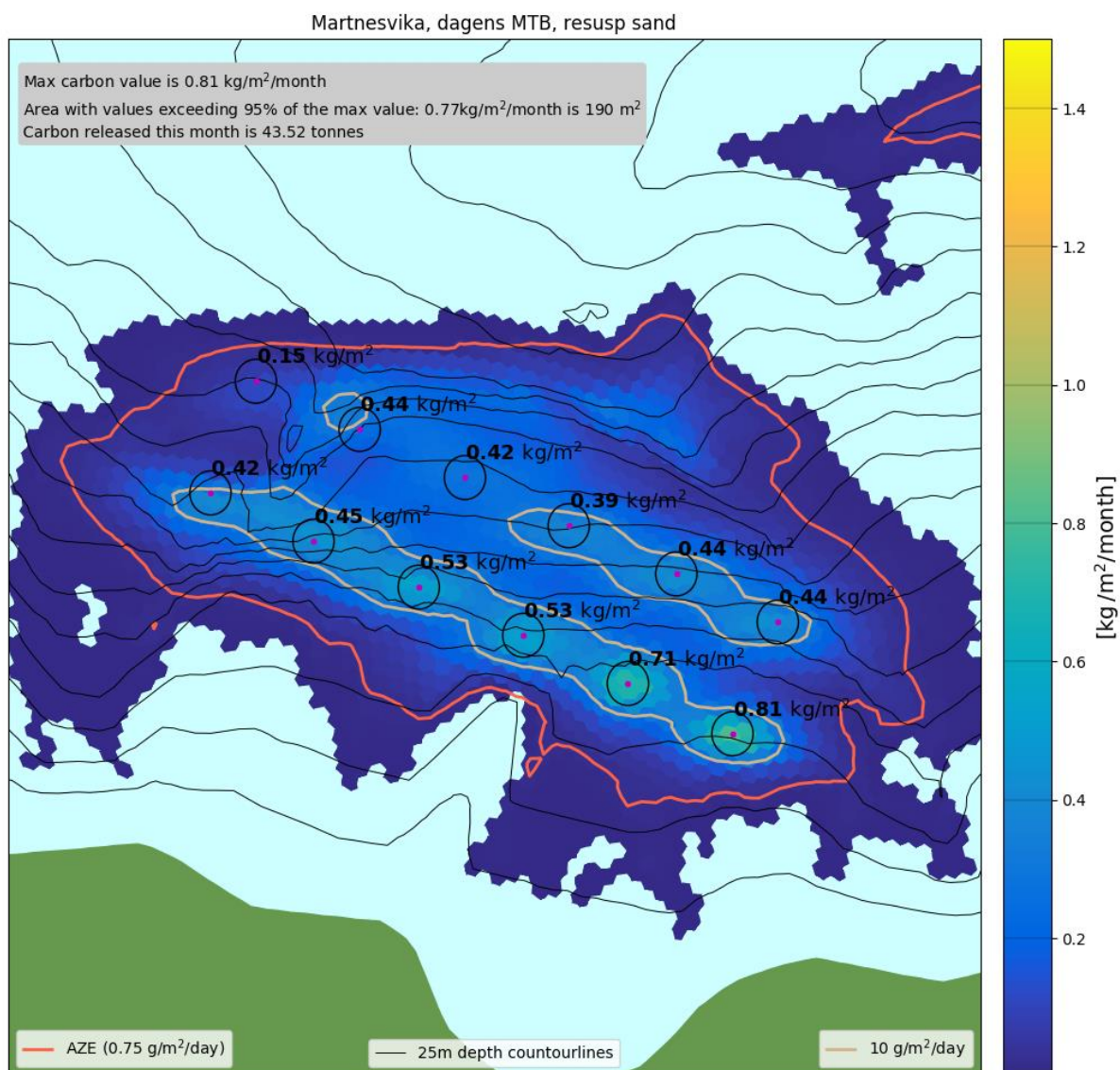
Mørsvikfjorden er en terskelfjord med terskeldyp på 180 m vest for Martnesvika. Figur 46 illustrerer omfattende spredning mot dypbassenget. Under terskeldypet har terskelfjorder ofte redusert utveksling av vannmasser og rolige forhold med svake havstrømmer. Av disse årsaker er de også ekstra sårbare overfor tilførsler av organisk materiale. Sedimenter som havner på slike dyp har dermed vanskelig for å resuspendere videre, og kan bidra til å forverre miljøet i allerede oksygenfattige omgivelser.

Spredningsmodelleringa indikerer at 52,2% av det organiske materialet havner dypere enn terskeldypet på 180 m, og havner da i dypbassenget til Mørsvikfjorden-bassenget.

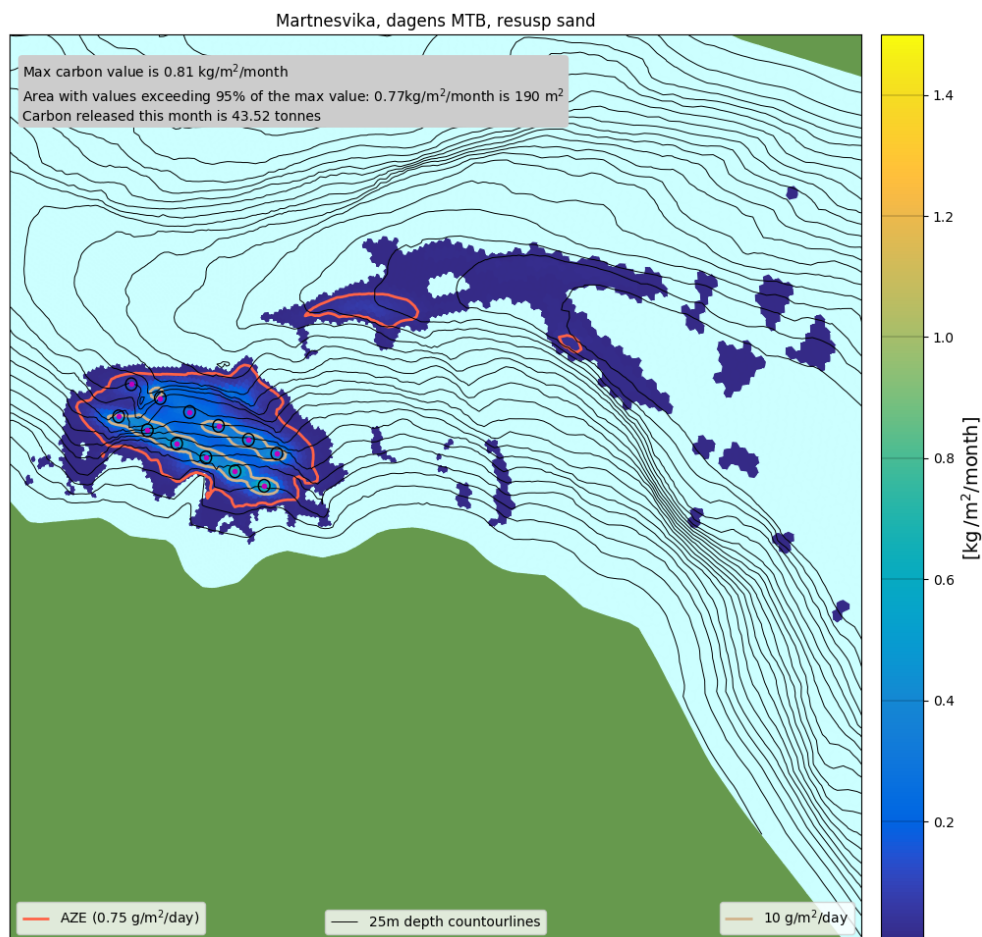
Det har vært drift på lokaliteten siden 1993. Historikken for resultater fra B- og C-undersøkelser ved lokaliteten er vist i Tabell 11. De fleste burene har en karbonavsetning på under 0,5 kg/m²/måned, så tilstandsklasse I eller II er som forventet når det gjelder nTOC, evt. tilstandsklasse 1 eller 2 for lokalitetstilstand, dersom nTOC ikke foreligger.

Grabbingen gjort under B-undersøkelsen under siste maks-belastning (Lorås, 2021) viser at prøvetakingsstasjonene i ytterste rekke har dårligst tilstand, noe som ikke samsvarer helt med modellen. En sannsynlig årsak til dette er effekten av gravitasjon og ras pga. bratt batymetri, at karbonet har rast fra de grunneste til de dypeste stasjonene. Dette er en effekt som mangler i dagens modelleringsverktøy.

I C-undersøkelsene er det funnet noe forhøyet nivå av organisk materiale i sedimentprøvene i retning ut mot dypområdet. Typisk er det funnet tilstandsklasse II – III ca. 500 m nordøst for lokaliteten (Lorås, 2022; Lorås, 2021A; Fredriksen og Heggem, 2020; Velvin og Guneriussen, 2011), noe som delvis samsvarer med akkumuleringen i modellresultatene i Figur 45.



Figur 45: Karbonavtrykk Martnesvika, basert på simuleringer for måneden med maksimal produksjon.



Figur 46: Karbonavtrykk Martnesvika zoomet ut, basert på simuleringer for måneden med maksimal produksjon.

Tabell 11: Foreliggende og tidligere gjennomførte B- og C-undersøkelser ved Martnesvika, med tilstandsklassifisering fra resultater fra organisk belastning (nTOC) eller lokalitetstilstand iht. NS 9410:2016 (Norsk Standard, 2016) dersom ikke nTOC foreligger. Merk at eventuell lokalitetstilstand her blir beskrevet med romertall.

Dato prøvetaking	Rapportnummer	Type undersøkelse	*nTOC / Lokalitetstilstand*
14.07.2022	Akvaplan-niva-64205.01 (Simonsen Jenssen, 2022)	B. Før utsett	I
24.11.2021 og 02.12.2021	Akvaplan-niva-63610.04 (Lorås, 2022)	C. Høyeste belastning	II (mot dypområdet) V (like under anlegg)
23.11.2021	Akvaplan-niva-63610.01 (Lorås, 2021B)	B. Høyeste belastning	II
10.02.2020	Akvaplan-niva-62859.01 (Lorås, 2021A)	C. Samtidig med produksjon.	III (mot dypområde)
11.10.2019	Akvaplan-niva-61483.03 (Fredriksen & Heggem, 2020)	C. Før utsett.	III (under anlegg) II (mot dypområde)
02.02.2018	Akvaplan-niva-10003.01 (Lorås & Steffensen, 2018)	B. Høyeste belastning	I
01.08.2016	Akvaplan-niva-8387.02 (Steffensen & Mannvik, 2016)	B. Før utsett	I
21.09.2011	Akvaplan-niva-5600.01 (Velvin & Guneriussen, 2011))	C. Høy belastning	I - II (mot dypområde) V (under anlegget)
24.05.2011	Akvaplan-niva-5495.01 (Bye, 2011A)	B. Etter 5 måneder i brakk. Før utsett.	I
07.10.2010	Akvaplan-niva-5209.B03 (Bye, 2010B)	B. Høy belastning.	IV

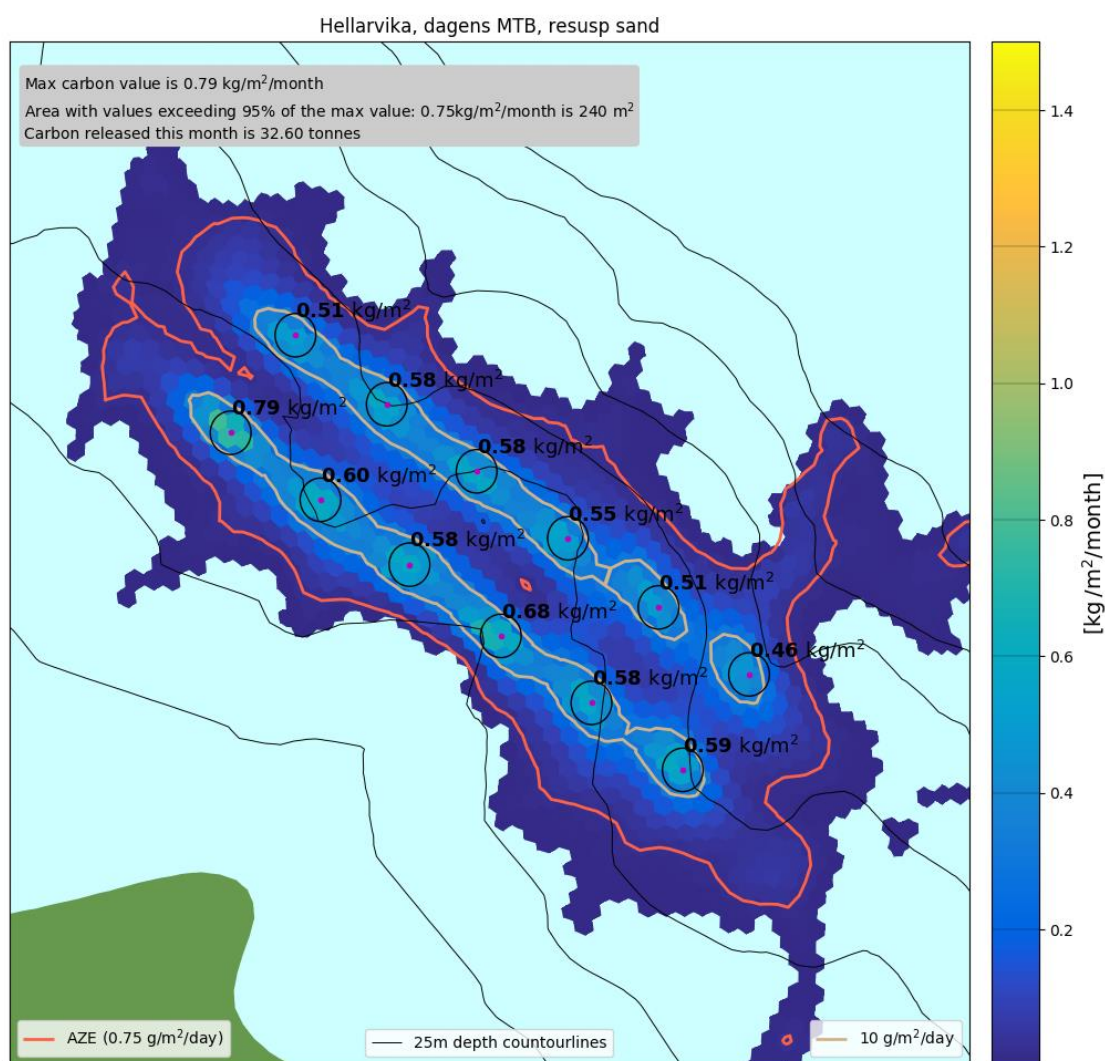
*typisk er C-undersøkelser basert på nTOC-resultater og B-undersøkelser er basert på lokalitetstilstand.

3.2.2.2 Hellarvika

Lokaliteten Hellarvika er plassert sør i Vinkfjorden. Figur 47 viser karbonavtrykket for lokaliteten. Maksverdien fra modellsimuleringene er på 0,79 kg karbon/m²/måned. Dette er relativt lavt, men viser noenlunde samsvar med tilstandsklasse II (nTOC) eller tilstandsklasse 2 (lokalitetstilstand) fra bunnundersøkelser (Tabell 12). I de fleste undersøkelsene tilsvarte imidlertid karbonavtrykket tilstandsklasse I (nTOC) eller tilstandsklasse 1 (lokalitetstilstand).

Modelleringen ser ut til å bare delvis fange opp tendensen til opphopning av organisk materiale mot dypområdet under terskeldypet til Vinkfjorden, hvor undersøkelsene konsekvent gir tilstandsklasse II (nTOC).

Spredningsmodelleringa viste at 2,6% av det organiske materialet som sank mot dypbassenget i Vinkfjorden, havnet dypere enn terskeldypet på 135 m.



Figur 47: Karbonavtrykk Hellarvika, basert på simuleringer for måneden med maksimal produksjon.

Tabell 12: Foreliggende og tidligere gjennomførte B-undersøkelser (under anlegget)- og C-undersøkelser (fjernsone) ved lokaliteten Hellarvika, med resultater fra organisk belastning (nTOC) eller lokalitetstilstand iht. NS 9410:2016 (Norsk Standard, 2016), dersom ikke nTOC foreligger. Merk at eventuell lokalitetstilstand her blir beskrevet med romertall.

Dato prøvetaking	Rapportnummer	Type undersøkelse	*nTOC/ Lokalitetstilstand
27.10.2021	APN-63490.02 (Szybor & Fredriksen, 2022)	C. Høyeste belastning	II (under terskeldyp)
27.10.2021	APN-63490.01 (Lorås, 2021C)	B. Høyeste belastning	I
14/15.04.2020	APN-62093.01 (Sjetne, 2020)	B. Før utsett	I
05.09.2019	APN-61414.01 (Mannvik & Remen, 2019B)	C. Høyeste belastning	II (under terskeldyp)
22.08.2019	APN-61416.01 (Harendza, 2019C)	B. Høyeste belastning	II
13.11.2018	APN-60728.01 (Mannvik & Remen, 2019A)	C. ASC-undersøkelse, tidlig i produksjonssyklusen, med liten belastning.	II (under terskeldyp)
12.02.2018	APN-8976.02 (Remen, 2018)	B. Brakk - forundersøkelse	I
29.06.2017	APN-8976.01 (Mannvik, Steffensen & Nikolaisen, 2018)	B og C. Brakk - forundersøkelse	I (over terskeldyp) II (under terskeldyp)
03.03.2015	APN-7478.02 (Velvin & Worum, 2015)	C. Omtrent høyeste belastning	I (under terskeldyp)

*typisk er C-undersøkelser basert på nTOC-resultater og B-undersøkelser er basert på lokalitetstilstand.

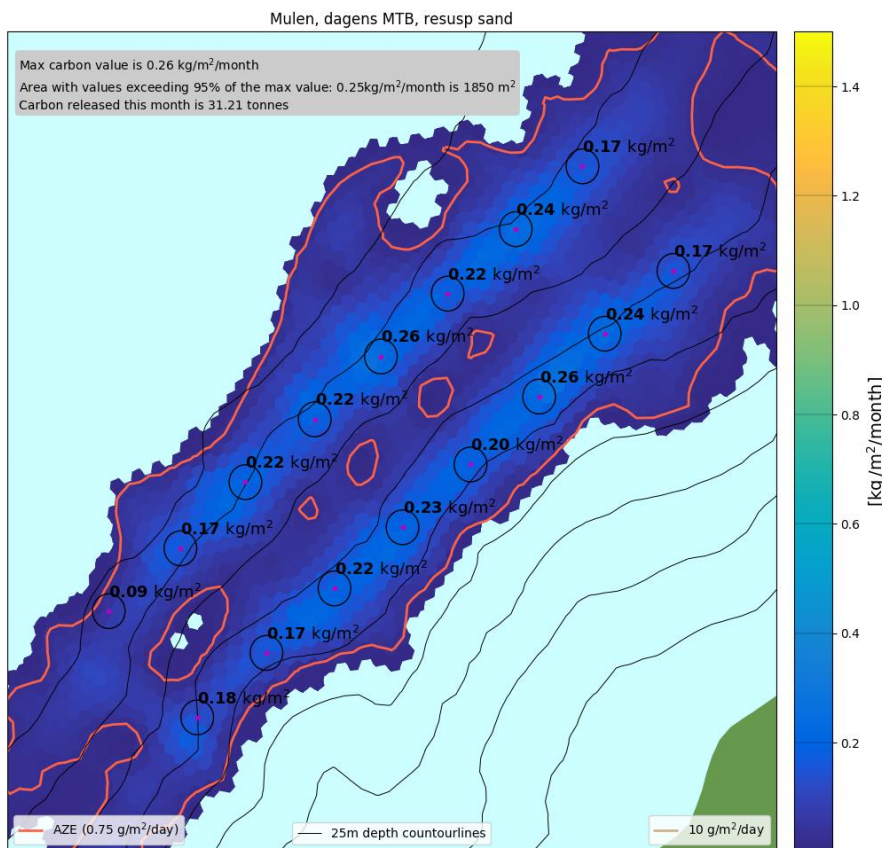
3.2.2.3 Mulen

Lokaliteten Mulen er plassert like nordøst for terskelen inn til Nordfolda. Sedimenteringsmodelleringen viser at lokaliteten har en relativt stor AZE sone, mye fordi selve lokaliteten spenner over et stort område (Figur 48). Det som ikke illustreres på figuren er 10 g iso-linjen, og dette er fordi kriteriene for at denne linjen skal tegnes, ikke inntreffer. Dette er betegnende for at tilstandsklassen til lokaliteten er 1. I Figur 49 ser man at høyeste karbonverdi funnet er på kun 0,26 kg karbon/m²/måned, som er meget lavt. Dette er en relativt ny lokalitet, som kun har hatt én runde med fisk siden etablering. Det er gjort to B- og C-undersøkelser, som vises i Tabell 13 under, fra 2018 og 2021. Som forventet fra karbonavtrykket til sedimenteringsmodelleringen har lokaliteten kun fått tilstandsklasse I (nTOC).

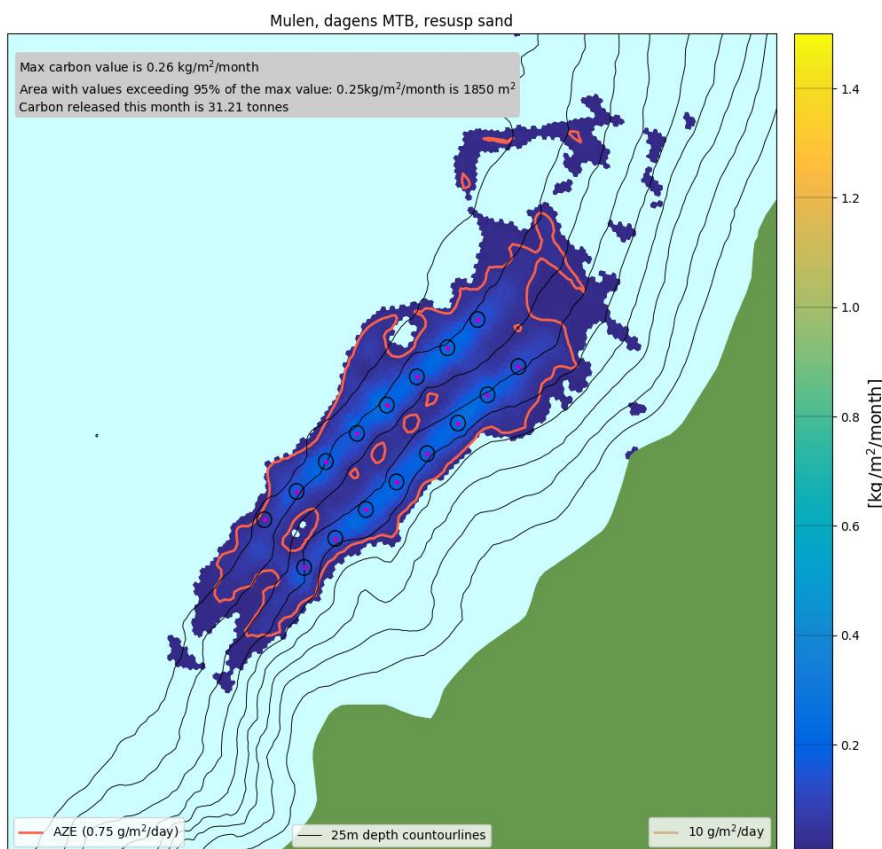
Spredningsmodelleringa ga at 3,4% av det organiske materialet havnet dypere enn terskeldypet på 229 m, og havnet da i dypbassenget til Nordfolda-bassenget.

Tabell 13: Foreliggende og tidligere gjennomførte B- og C-undersøkelser ved lokaliteten Mulen, med resultater fra organisk belastning (nTOC), klassifisert etter NS 9410:2016 (Norsk Standard, 2016).

Dato prøvetaking	Rapportnummer	Type undersøkelse	nTOC-tilstandsklassifisering
12.10.2021	63489.01 og 63489.02 (Lorås, 2021D og Lorås, 2021E)	B og C. Høyeste belastning	I
06.12.2018	60730.01 (Bahr & Velvin, 2019)	B og C. Forundersøkelse ny lokalitet	I



Figur 48: Karbonavtrykk Mulen, basert på simuleringer for måneden med maksimal produksjon.



Figur 49: Karbonavtrykk Mulen zoomet ut, basert på simuleringer for måneden med maksimal produksjon.

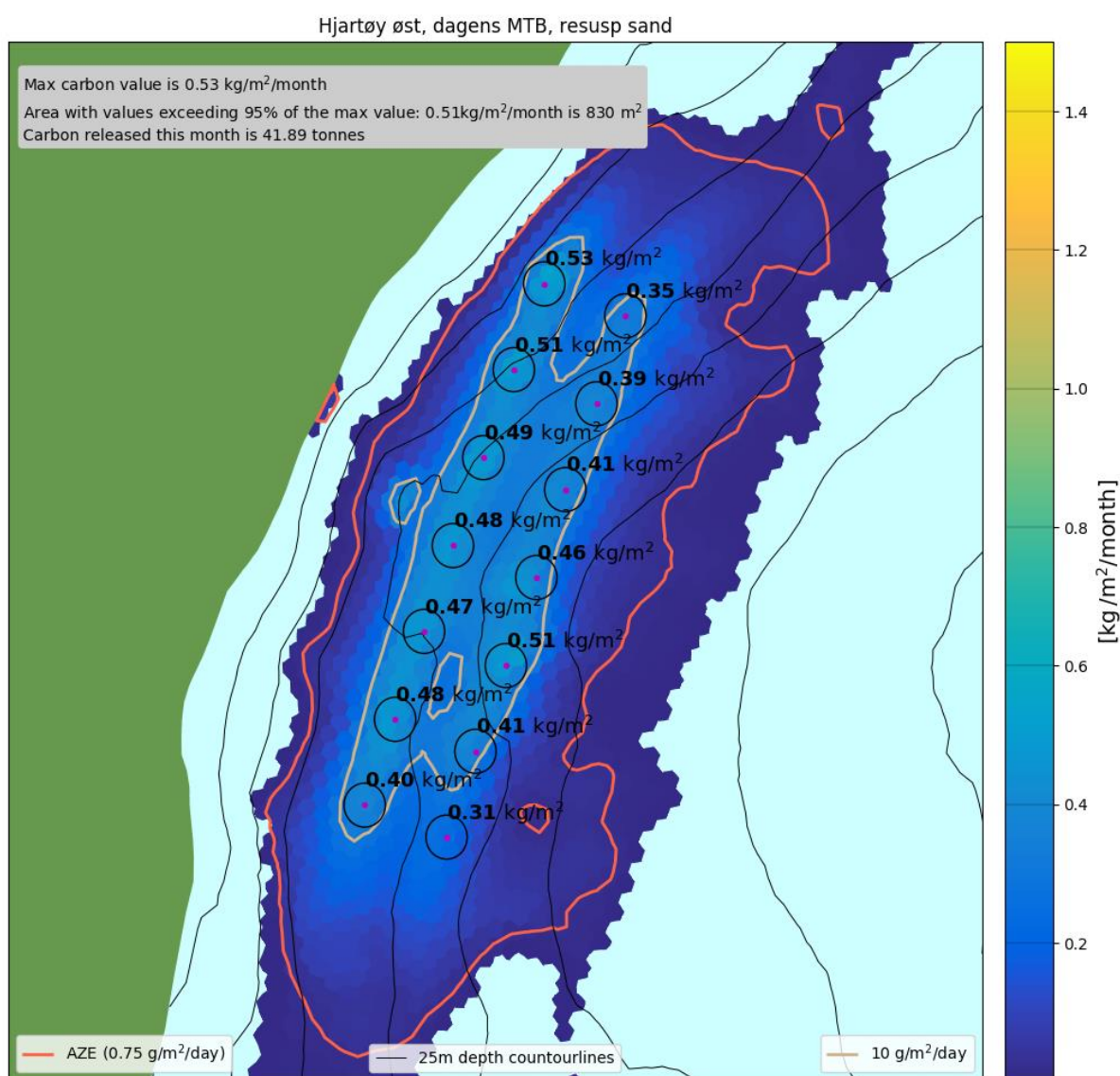
3.2.2.4 Hjartøy Ø

Hjartøy Ø ligger omtrent på terskelen, like vest-nordvest for hovedterskelen inn til fjordsystemet til Nordfolda, og er det av de fire modellerte anleggene som ligger lengst sør og ytterst i fjorden (Figur 4).

I Figur 50 vises karbonavtrykket for lokaliteten. Med en simulert maksverdi på 0,53 kg karbon/m²/måned er det sannsynlig for at punktbelastningen er relativt liten og at en B-undersøkelse vil klassifisere denne lokaliteten til tilstand 1 eller 2.

Tabell 14 viser resultat og dato for prøvetaking fra B- og C-undersøkelser ved lokaliteten, og bekrefter modelleringsresultatene.

Spredningsmodelleringa ga at 4,2% av det organiske materialet havnet dypere enn terskeldypet på 229 m, og havnet da i dypbassenget til Nordfolda-bassenget.



Figur 50: Karbonavtrykk Hjartøy øst, basert på simuleringer for måneden med maksimal produksjon.

Tabell 14: Foreliggende og tidligere gjennomførte B (under anlegget)- og C-undersøkelser (fjernsone) ved lokalitetens Hjørtøy Ø, med resultater fra organisk belastning (nTOC) eller lokalitetstilstand iht. NS 9410:2016 (Norsk Standard, 2016) dersom ikke nTOC foreligger. Merk at eventuell lokalitetstilstand her blir beskrevet med romertall. Kun C-undersøkelser hvor det er sedimentprøver fra dypere enn terskeldypet (229 m) er inkludert i oversikten.

Dato prøvetaking	Rapportnummer	Type undersøkelse	*nTOC/ Lokalitetstilstand
29.07.2021	APN-63351.01 (Lorås, 2021G)	B. Omtrent høyeste belastning.	II
22.05.2021 16.06.2021	APN-63079.03 (Lorås, 2021F)	B. Forundersøkelse ny plassering, oppdatert med 2 ekstra stasjoner	I
15.04.2020	APN-62038.01 (Remen, 2020)	B. Før utsett	I
20.08.2019	APN-61415.02 (Harendza, 2019B)	B. Utvidet undersøkelse med ekstra stasjoner	I
21.08.2019	APN-61415.01 (Harendza, 2019A)	B. Høyeste belastning	II
30.06.2017	APN-8981.01 (Remen, 2017)	B. Høyeste belastning	I
03.08.2016	APN-8387.01 (Steffensen, 2016)	B. Oppfølgende undersøkelse	I
12.08.2015	APN-7768.01 (Worum, 2015)	B. Etterkant av maks belastning (Undersøkelsesfrekvens iht. NS 9410:2007)	II
27.03.2014	APN-6977.03 (Bye, 2014)	B. Brakk (Undersøkelsesfrekvens iht. NS 9410:2007)	I
06.08.2012	APN-6036.02 (Bye, 2012)	B. 4 måneder etter utsett av fisk (Undersøkelsesfrekvens iht. NS 9410:2007)	I
12.04.2012	APN-5856.01 (Velvin & Bye, 2012)	C. Brakk siden januar 2012.	I
06.10.2010	APN-5209.B01 (Bye, 2010A)	B. 5 måneder etter utsett av fisk (Undersøkelsesfrekvens iht. NS 9410:2007)	I

*typisk er C-undersøkelser basert på nTOC-resultater og B-undersøkelser er basert på lokalitetstilstand.

3.2.2.5 Oppsummering, spredning av organisk materiale til dypbassenger i Nordfolda-systemet

Resultatene fra sedimenterings-modelleringa med FVCOM/FABM er sammenfattet i Tabell 15. Det var først og fremst Martnesvika som bidro med organisk materiale til dypbasseng, med over 500 tonn/år av produksjonen.

Total produksjon for hele Nordfolda-systemet var på 23 202 tonn/år, hvor det altså er tatt utgangspunkt i de 12 sammenhengende månedene med høyest produksjon for hvert av de fire anleggene i løpet av den modellerte perioden mellom august 2020 og slutten av desember 2021.

Generelt var det bra samsvar mellom spredningsmodelleringa med FVCOM/FABM og forventet belastning fra bunnundersøkelser.

Tabell 15: Oversikt over resultater fra sedimenterings-modelleringa, med andel av organisk materiale til dypbassenget fra de ulike oppdrettsanlegg i Nordfolda-systemet.

Produksjon	Maksimal produksjon i løpet av 12 mnd. [tonn]	*Andel av total produksjon som synker mot havbunnen [tonn]	Andel av total produksjon til dypbassenget [%]	Andel av total produksjon til dypbassenget [tonn]	Andel av total produksjon til grunt vann [tonn]
Martnesvika	6 931	1 026	52,2	535	491
Hellarvika	5 236	775	2,6	20,1	755
Mulen	4 595	680	3,4	23,1	657
Hjartøy Ø	6 440	953	4,2	40,0	913
Sum	23 202	3 434	18	618	2 816

*andel av total produksjon som synker mot havbunnen antas å være 14,8% (se kapittel 2.4.1.3)

3.3 Modellering av bærekraft

Bærekraftsmodellering med FjordEnv er utført for ulike delbasseng, hvor hvert basseng er avgrenset av en terskel og et eller flere tilhørende dypbassenger innenfor det respektive delbassenget. Det er fokusert på tre hoved-deler av fjordsystemet til Nordfolda i tillegg til fjordsystemet som en helhet:

- Mørsvikfjorden
- Vinkfjorden
- Nordfolda

Resultatene fra spredningsmodelleringa i kapittel 3.2.2 sammen med inngangsdata beskrevet i kapittel 2.4.1 er benyttet i modelleringa.

3.3.1 Oksygen og organisk materiale i dypbasseng

3.3.1.1 Mørsvikfjorden

Resultater for modellsimuleringer med kun naturlige tilførsler, tilførsler fra kloakk og industri, samt inkludert oppdrettsaktivitet for Mørsvikfjorden er gitt i Tabell 16. Basert på inngangsdataene for naturlig tilførsel av næringssalter fra land og elver, tilførsel fra havet utenfor Mørsvikfjorden, samt naturlig biologisk produksjon i fjorden, er det beregnet at en total mengde på ca. 312 tonn karbon (C), 55 tonn nitrogen (N) og 7,6 tonn fosfor (P) vil synke ned i dypbassenget i Mørsvikfjorden pr. år. Kloakkutslipp nær overflaten og utslippene fra Smolten AS innerst i Mørsvikbotn på ca. 100 m dyp bidrar ikke med ekstra karbon eller næringssalter til dypbassenget under 180 m i Mørsvikfjorden. Oppdrettsaktiviteten ved Martnesvika bidrar imidlertid betydelig. Basert på resultater fra spredningssimuleringene (Figur 46) i kombinasjon med modellen FjordEnv, beregnes det at ca. 271 tonn karbon (C), 49 tonn nitrogen (N) og 8,1 tonn fosfor (P) vil synke ned i dypbassenget i Mørsvikfjorden fra Martnesvika i løpet av 12 måneder med størst produksjon i løpet denne siste generasjonen mellom august 2020 og desember 2021. Simuleringene viser altså at oppdrettsaktiviteten bidrar med samme størrelsesorden (86%) som naturlig spredning av organisk materiale og næringssalter til dypbassenget i Mørsvikfjorden.

Nedbrytning av det naturlig tilkomne organisk materiale er beregnet å kreve et oksygenforbruk 0,02 ml/l pr. måned, slik at tidsskalaen for å forbruke alt tilgjengelig oksygen i bassenget (under terskeldypet) er 247 måneder, dvs. omtrent 20 år (Tabell 17). Til sammenligning er tidsskalaen for utskifting av bassengvannet beregnet til i gjennomsnitt snau 6 år. Ved tilførsel av næringssalter fra kun "naturlige" kilder vil altså bassengvannet i Mørsvikfjorden bli skiftet ut lenge før oksygenet er forbrukt.

Modellert minimum oksygenkonsentrasjon i bassengvannet er 4,3 ml/l (64% oksygenmetning) uten oppdrett.

Med oppdrett inkludert er modellert minimum oksygenkonsentrasjon i bassengvannet på 2,8 ml/l (42% oksygenmetning). Her er det altså inkludert oppdrett for de 12 sammenhengende månedene med maksimal produksjon i løpet av perioden mellom august 2020 og desember 2021 inkludert. Merk at dette er gjennomsnittsverdier mellom terskeldypet og dypeste punkt i fjorden, da FjordEnv kun har mulighet for å bearbeide hvert lag uten gradienter (overflatelag, intermediært lag og dyplag (se kapittel 2.4). Ifølge modellen økte oksygenforbruket til 0,05 ml/l per måned med oppdrett inkludert, som et årsgjennomsnitt. Tiden det tar å forbruke alt oksygenet, ble redusert til 132 måneder, altså 11 år.

Dersom oksygenmålinger i løpet av prosjektperioden inkluderes (kapittel 3.1.1.4) i modellen, kan man "simulere baklengs". Oksygenminimum i modellen er et gjennomsnitt for hele dypbassenget. Selv om minimumsverdien fra målingene er på ca. 2,0 ml/l (2,8 mg/l) nærmest havbunnen på nesten 530 m dyp, så er gradienten opp mot terskeldypet på 180 m sterk. Det er gjennomsnittsverdien som er korrekt å benytte for lagmodellen FjordEnv. Volum-vektet gjennomsnittlig verdi for oksygenminimum basert på målinger fra denne studien, like før en omrøring av vannmassene, er omkring 3,8 ml/l. Ved å sette inn denne verdien i FjordEnv-modellen, så forutsier modellen en kortere utskiftningstid for bassengvannet på omkring 4 år snarere enn 6 år.

Modellen beregner at Mørsvikfjorden tilfører en effekt til Nordfolda-bassenget, som ligger utenfor terskelen, på 1,7 kW. Denne energitilførselen vil innebære økt omfang av indre bølger og vertikalomrøring i dypvannet utenfor terskelen til Mørsvikfjorden.

Ifølge modellberegningene med FjordEnv er den intermediære sirkulasjonen veldig dominerende for Mørsvikfjorden med 2969 m³/s. Til sammenligning er den tidevannsdrevne sirkulasjonen 784 m³/s. Vannet over terskeldypet vil ifølge modellen i gjennomsnitt bli skiftet ut i løpet av drøye 11 døgn, mens utskifting av bassengvannet altså vil ta flere år. Altså tilsier modellen at det som regel er stagnante vannmasser i det dypeste bassenget i Nordfoldas fjordsystem inne i Mørsvikfjorden., som vanligvis ikke skiftes ut årlig.

Testsimuleringer med mangedoblet økning av naturlig bakgrunnstilførsel og antropogen tilførsel av fosfor og nitrogen fra land fra kloakk og industri til overflatelaget ga ikke utslag på oksygenforbruket i dypbassenget. Dette er fordi vannet over terskeldypet (180 m) skiftes ut raskere enn organisk materiale fra lokal biologisk produksjon i fjordens overflatelag når å synke ned under terskelnivå.

Oksygenmålingene i Figur 13 tilsier at det er en gradient nedover i vannsøylen, slik at forholdene på eksempelvis 300 m dyp er vesentlig bedre enn på over 500 m dyp. Man kan da vurdere at det er kapasitet til mer oppdrett så lenge det organiske materialet fra oppdrettsaktiviteten havner på relativt grunt vann mellom 180 og 300 m i dypbassenget. Dette er tilfellet med spredningen av det organiske materialet for Martnesvika (Figur 46).

Tabell 16: Resultater fra simuleringer med modellen FjordEnv for Mørsvikfjorden. Tilførsler av karbon og næringssalter til dypbassenget med og uten antropogen påvirkning.

	Naturlig tilførsel til dypbasseng	Tilførsel via kloakk og industri	Tilførsel via akvakultur
C [tonn/år]	312	0	271
N [tonn/år]	55	0	49
P [tonn/år]	7,6	0	8,1

Tabell 17: Resultater fra simuleringer med modellen FjordEnv for Mørsvikfjorden. Effekter i dyp-bassenget angående oksygen og vannutskiftning med og uten antropogen påvirkning.

Belastning	Oksygen-minimum [ml/l]	Oksygen-minimum [%]	Vannutskiftnings-tid [mnd]	Tid for oksygenforbruk [mnd]	Oksygenforbruk [ml/l/måned]	Effekt til ytre basseng [kW]
Ingen	4,3	64	70	247	0,02	1,69
Kloakk og industri	4,3	64	70	247	0,02	1,69
Inkludert fiskeoppdrett	2,8	42	70	132	0,05	1,69
Inkludert fiskeoppdrett, kalibrert med CTD-data (oksygenminimum)	3,8	57	48	132	0,05	1,69

3.3.1.2 Vinkfjorden

Resultater for modellsimuleringer for de innerste fjordarmene til Vinkfjorden er gitt i Tabell 18. Disse fjordarmene har ikke tilførsler fra kloakk, industri eller fiskeoppdrett til deres dypbassenger.

Resultatene fra Indre Vinkfjorden vitner om et ganske følsomt dypbasseng, med oksygenminimum på 1,5 ml/l (22%), vannutskiftningstid på 19 måneder, og oksygenforbrukstid på 25 måneder. Indre Vinkfjorden vil ha liten påvirkning på Ytre Vinkfjorden mht. ekstra energitilførsel for å sette opp indre bølger og vertikalomrøring, med kun 0,01 kW.

Stavfjorden har oksygenminimum på 5,2 ml/l (78%). Her er gjennomsnittlig vannutskiftningstid drøye 4 måneder, mens tiden det tar å forbruke alt oksygen er på 32 måneder. Stavfjorden har også beskjedne påvirkning på dynamikken til Ytre Vinkfjorden, med 0,3 kW.

Modellens beregninger for kun naturlige tilførsler, tilførsler fra kloakk og industri, samt inkludert oppdrettsaktivitet for Ytre Vinkfjorden er gitt i Tabell 19. Basert på inngangsdataene for naturlig tilførsel av næringssalter fra land og elver, tilførsel fra vannmassene utenfor Vinkfjorden, samt naturlig biologisk produksjon i fjorden, er det beregnet at en total mengde på ca. 135 tonn karbon (C), 24 tonn nitrogen (N) og 3 tonn fosfor (P) vil synke ned i dypbassenget i Vinkfjorden pr. år.

Det er neglisjerbare bidrag fra kloakk og naturlig avrenning, samt ingen bidrag fra industri som bidrar til spredning av næringssalter og organisk materiale til dypbassenget i Vinkfjorden.

Oppdrettsaktiviteten ved Hellarvika bidrar imidlertid noe. Basert på resultater fra spredningssimuleringene (Figur 47) i kombinasjon med modellen FjordEnv, beregnes det at ca. 10 tonn karbon (C), 1,8 tonn nitrogen (N) og 0,31 tonn fosfor (P) vil synke ned i dypbassenget i Vinkfjorden i løpet av 12 måneder av den siste generasjonen i perioden mellom sommeren 2020 og desember 2021. Simuleringene med FVCOM/FABM og FjordEnv viser at oppdrettsaktiviteten bidrar med i størrelsesorden snau 10% av det som ankommer fra naturlig spredning av organisk materiale og næringssalter til dypbassenget i Vinkfjorden.

Nedbrytning av det naturlig tilkomne organisk materialet er beregnet å kreve et oksygenforbruk på 0,17 ml/l per måned, slik at tidsskalaen for å forbruke alt tilgjengelig oksygen i bassenget (under terskeldypet) er 35 måneder, dvs. ca. 3 år (Tabell 20). Til sammenlikning er tidsskalaen for utskiftning av bassengvannet beregnet til i gjennomsnitt 5,3 måneder. Ved tilførsel av næringssalter fra kun "naturlige" kilder vil altså bassengvannet i Vinkfjorden bli skiftet ut lenge før oksygenet er forbrukt. Beregnet minimum oksygenkonsentrasjon i bassengvannet er 5,1 ml/l (76%) uten oppdrett.

Med oppdrett inkludert er oksygenminimum beregnet til 5,0 ml/l (75%) i modellen. Med fiskeoppdrett inkludert i simuleringene, økte oksygenforbruket til 0,18 ml/l per måned, slik at oksygenet ble forbrukt noe raskere, i løpet av 33 måneder.

Dersom oksygenmålinger fra historiske hydrografiske målinger fra tidligere prosjekter inkluderes (Figur 51) i modellen, kan man "simulere baklengs". Oksygenminimum i modellen er et gjennomsnitt for hele dypbassenget. Selv om den målte minimumsverdien er på ca. 4,5 ml/l (6,4 mg/l) nærmest havbunnen på nesten 200 m dyp, så er gradienten øverst opp mot terskeldypet på 135 m ganske sterk. Det er det volum-vektede gjennomsnittet som er korrekt å benytte for lagmodellen FjordEnv. Det volum-vektede gjennomsnittet for antatt oksygenminimum, basert på historiske målinger, er omkring 4,7 ml/l. Denne prøven ble innhentet 4. november 2021, på et tidspunkt hvor det var maksimal belastning på Hellarvika-lokaliteten. Tilsvarende for modellen, med årsgjennomsnitt, var 5,0 ml/l. Ved å sette inn denne noe lavere oksygenminimumsverdien på 4,7 ml/l inn i FjordEnv-modellen, så forutsier modellen en noe lenger utskiftningstid for bassengvannet på 7 måneder, snarere enn 5,3.

Ifølge modellberegningene med FjordEnv er den intermediære sirkulasjonen veldig dominerende for Vinkfjorden med 2915 m³/s. Til sammenligning er den tidevannsdrevne sirkulasjonen 740 m³/s. Vannet over terskeldypet vil ifølge modellen i gjennomsnitt bli skiftet ut i løpet av 6 - 7 døgn, mens utskifting av bassengvannet vil ta 5 - 7 måneder. Altså tilsier modellen at vannmassene i dypbassenget skiftes ut et par ganger i året i det dypeste hovedbassenget i Vinkfjorden.

Testsimuleringer med stor økning av antropogen tilførsel av nitrogen og fosfor fra land fra kloakk, naturlig tilførsel via avrenning fra elver etc. og eventuell tilførsel av næringssalter fra industri til overflatelaget ga ikke utslag på oksygenforbruket i dypbassenget. Dette er fordi vannet over terskeldypet (135 m) skiftes ut raskere enn organisk materiale fra lokal biologisk produksjon i fjordens overflatelag når å synke ned under terskelnivået.

Vinkfjorden har en effekt på ytre basseng på 0,24 kW, som vil bidra ekstra i vertikal omrøring i Nordfolda-bassenget utenfor Vinkfjorden.

Tabell 18: Resultater fra simuleringer med modellen FjordEnv for Stavfjorden og Indre Vinkfjorden.

Belastning	Oksygen-minimum [ml/l]	Oksygen-minimum [%]	Vannutskiftningstid [mnd]	Tid for oksygenforbruk [mnd]	Oksygenforbruk [ml/l/måned]	Effekt til ytre basseng [kW]
Stavfjorden	5,2	78	4,1	32	0,19	0,03
Indre Vinkfjorden	1,5	22	19	25	0,24	0,01

Tabell 19: Resultater fra simuleringer med modellen FjordEnv for Ytre Vinkfjorden. Tilførsler av karbon og næringssalter til dypbassenget med og uten antropogen påvirkning.

	Naturlig tilførsel til dypbasseng	Tilførsel via kloakk og industri	Tilførsel via akvakultur
C [tonn/år]	135	0	10
N [tonn/år]	24	0	1,8
P [tonn/år]	3	0	0,31

Tabell 20: Resultater fra simuleringer med modellen FjordEnv for Vinkfjorden. Effekter i dyp-bassenget angående oksygen og vannutskiftning med og uten antropogen påvirkning. Resultater fra Stavfjorden og Indre Vinkfjorden (Tabell 18) er inkludert i simuleringene.

Belastning	Oksygen-minimum [ml/l]	Oksygen-minimum [%]	Vannutskiftningstid [mnd]	Tid for oksygenforbruk [mnd]	Oksygenforbruk [ml/l/måned]	Effekt til ytre basseng [kW]
Ingen	5,1	76	5,3	35	0,17	0,24
Kloakk og industri	5,1	76	5,3	35	0,17	0,24
Inkludert fiskeoppdrett	5,0	75	5,3	33	0,18	0,24

3.3.1.3 Nordfolda

Resultater for modellsimuleringer for de innerste fjordarmene til Nordfolda, i form av Mørsvikfjorden og Vinkfjorden, er gitt i henholdsvis kapittel 3.3.1.1 og 3.3.1.2. Ekstra energi til å danne indre bølger etc. som kan bidra til økt omrøring fra disse to bassenger er inkludert.

Resultater for modellsimuleringer med kun naturlige tilførsler, tilførsler fra kloakk og industri, samt inkludert oppdrettsaktivitet for Nordfolda er gitt i Tabell 21. Basert på inngangsdataene for naturlig tilførsel av næringssalter fra land og elver, tilførsel fra havet utenfor Nordfolda, samt naturlig biologisk produksjon i fjorden, er det beregnet at en total mengde på ca. 732 tonn karbon (C), 129 tonn nitrogen (N) og 18 tonn fosfor (P) vil synke ned i dypbassenget i Nordfolda pr. år. Kloakkutslipp nær overflaten fra bebyggelsen til Nordfold og omegn, samt andre antropogene utslipp, bidrar ikke med ekstra karbon eller næringssalter til dypbassenget under 229 m i Nordfolda.

Oppdrettsaktiviteten ved Mulen og Hjartøy Ø bidrar noe. Basert på spredningssimuleringene i kapittel 3.2.2.3 (Mulen) og kapittel 3.2.2.4 (Hjartøy Ø) i kombinasjon med modellen FjordEnv, beregnes det at ca. 32 tonn karbon (C), 5,8 tonn nitrogen (N) og 0,96 tonn fosfor (P) sank ned i dypbassenget i Nordfolda i løpet av 12 måneder av den siste generasjonen i perioden mellom sommeren 2020 ut 2021. Simuleringene viser at oppdrettsaktiviteten bidrar med i størrelsesorden 5% av det som ankommer som naturlig spredning av organisk materiale og næringssalter til dypbassenget i Nordfolda.

Nedbrytning av det naturlig tilkomne organisk materiale er beregnet å kreve et oksygenforbruk 0,13 ml/l per måned, slik at tidsskalaen for å forbruke alt tilgjengelig oksygen i bassenget (under terskeldypet) er 45 måneder, dvs. nesten 4 år (Tabell 22). Til sammenligning er tidsskalaen for utskifting av bassengvannet beregnet til i gjennomsnitt 1,0 måned. Dette tyder på meget god kapasitet til dypbassenget i Nordfolda. Ved tilførsel av næringssalter fra kun "naturlige" kilder vil altså bassengvannet i Nordfolda bli skiftet ut lenge før oksygenet er forbrukt.

Beregnet minimumsoksygenkonsentrasjon i bassengvannet er 5,9 ml/l (88%) både uten og med oppdrett inkludert, som betyr at oppdrettsaktiviteten kun bidro marginalt til oksygenforbruket i dypbassenget til Nordfolda, ifølge modellen. Oksygenforbruket var 0,14 ml/l per måned, som er marginalt høyere enn naturlig tilstand, da oppdrettsaktiviteten ble inkludert i modellberegningene.

Ifølge modellberegningene med FjordEnv er den intermediære sirkulasjonen dominerende for Nordfolda med 12 592 m³/s. Til sammenligning er den tidevannsdrevne sirkulasjonen 5 196 m³/s. Vannet over terskeldypet vil ifølge modellen i gjennomsnitt bli skiftet ut i løpet av 16,5 døgn, mens utskifting av bassengvannet vil ta omtrent 1,0 måned. Altså tilsier modellen at vannmassene skiftes ut hyppig i det dypeste hovedbassenget i ytre delen av Nordfoldas fjordsystem.

Testsimuleringer med mangedoblet økning av antropogen tilførsel av nitrogen og fosfor fra land fra kloakk og industri til overflatelaget, samt økning av naturlig tilførsel fra avrenning, ga ikke utslag på oksygenforbruket i dypbassenget. Dette er fordi vannet over terskeldypet (229 m) skiftes ut raskere enn organisk materiale fra lokal biologisk produksjon i fjordens overflatelag når å synke ned under terskelnivå.

Tabell 21: Resultater fra simuleringer med modellen FjordEnv for Nordfolda-bassenget. Tilførsler av karbon og næringssalter til dypbassenget med og uten antropogen påvirkning.

	Naturlig tilførsel til dypbasseng	Tilførsel via kloakk og industri	Tilførsel via akvakultur
C [tonn/år]	736	0	38
N [tonn/år]	130	0	6,8
P [tonn/år]	18	0	1,1

Tabell 22: Resultater fra simuleringer med modellen FjordEnv for Nordfolda-bassenget. Effekter i dypbassenget angående oksygen og vannutskifting med og uten antropogen påvirkning. Resultater fra Mørsvikfjorden (kapittel 3.3.1.1) og Vinkfjorden (kapittel 3.3.1.2) er inkludert i simuleringene.

Belastning	Oksygen-minimum [ml/l]	Oksygen-minimum [%]	Vannutskiftingstid [mnd]	Tid for oksygenforbruk [mnd]	Oksygenforbruk [ml/l/måned]	Effekt til ytre basseng [kW]
Ingen	5,9	88	1,0	45	0,13	3,9
Kloakk og industri	5,9	88	1,0	45	0,13	3,9
Inkludert fiskeoppdrett	5,8	87	1,0	44	0,14	3,9

3.3.2 Næringssalter i overflatelaget

3.3.2.1 Mørsvikfjorden

Ved en fiskeproduksjon i oppdrettsanlegget Martnesvika i Mørsvikfjorden på 6 930 tonn, ble siktedypet redusert med 3,3% i modellen FjordEnv. Med Smolten-anlegget og kloakk inkludert i tillegg, så viste modellen at siktedypet ble redusert med 3,7%. Tilførsler av antropogene utslipp foruten fiskeoppdrett tilsvarte altså en reduksjon på ca. 0,4% i siktedypet for Mørsvikfjorden.

Naturlig tilførsel av fosfor og nitrogen fra avrenning til Mørsvikfjorden er beregnet å bidra med 0,3%.

Industriutslippet fra Smolten AS innerst i Mørsvikfjorden, med en produksjon på snau 1000 tonn per år, bidrar med en betydelig, men vesentlig mindre andel enn oppdrettsvirksomheten når det gjelder næringssalter.

Modellen FjordEnv beregner oppholdstiden til vannet over terskeldypet til ca. 11 - 12 dager for fjordarmen Mørsvikfjorden.

Tabell 23: Resultater fra simuleringer med modellen FjordEnv for terskelfjorden Mørsvikfjorden. Her er ulike økninger i belastninger angående organiske tilførsler fra antropogene kilder inkludert, og tilhørende reduksjoner av siktedyp som følge av disse økningene.

Belastning	Tilførsel, kloakk [tonn/år]	Tilførsel naturlig avrenning [tonn/år]	Tilførsel industri [tonn/år]	Tilførsel, fiskeoppdrett [tonn/år]	Reduksjon, siktedyp [%]
Naturlig belastning, hav	0	0	0	0	0
Kloakk	N: 0,36 P: 0,054	0	0	0	0
Naturlig avrenning fra land	0	N: 40,1 P: 0,72	0	0	0,3
Industri	0	0	909	0	0,4
Mørsvikfjorden, oppdrett 12 mnd. Maksimalt, i løpet av 2020 - 2021	0	0	0	6 930	3,3
Mørsvikfjorden, full belastning	N: 0,36 P: 0,054	N: 40,1 P: 0,72	909	6 930	4,0

3.3.2.2 Vinkfjorden

Ved beregninger som gjelder effekten av næringssalter for Vinkfjorden, må også de indre fjordarmene inkluderes. Dette betyr at for beregning av redusert siktedyp for Vinkfjorden, må arealer over terskeldyp til disse indre fjordarmene Stavfjorden og Indre Vinkfjorden inkluderes.

Ved en fiskeproduksjon i oppdrettsanlegget Hellarvika i Vinkfjorden på 5 205 tonn, ble det beregnet at siktedypet reduseres med 3,0% (Tabell 24).

Tilførsler av antropogene utslipp foruten fiskeoppdrett er neglisjerbare i Vinkfjorden.

Naturlig tilførsel av fosfor og nitrogen fra avrenning til Vinkfjorden er beregnet å redusere siktedypet med 0,1%, hvor bidrag fra Stavfjorden og Indre Vinkfjorden er inkludert.

Modellen FjordEnv beregner oppholdstiden til vannet over terskeldypet til 7 - 8 dager for Vinkfjorden. Stavfjorden og Indre Vinkfjorden innerst i Vinkfjorden har veiledende beregnede oppholdstider på henholdsvis 5 og 3 dager.

Tabell 24: Resultater fra simuleringer med modellen FjordEnv for terskelfjorden Vinkfjorden. Her er ulike økninger i belastninger angående organiske tilførsler fra antropogene kilder inkludert, og tilhørende reduksjoner av siktedyp som følge av disse økningene. NB: kloakk og industri er utelatt her, da de er ikke til stede eller har neglisjerbare små verdier.

Belastning	Tilførsel, kloakk [tonn/år]	Tilførsel naturlig avrenning [tonn/år]	Tilførsel industri [tonn/år]	Tilførsel, fiskeoppdrett [tonn/år]	Reduksjon, siktedyp [%]
Naturlig belastning, hav	0	0	0	0	0
Naturlig avrenning fra land	0	N: 13,4 P: 0,24	0	0	0,1
Vinkfjorden, oppdrett 12 mnd. Maksimalt, i løpet av 2020 - 2021	0	0	0	5 205	3,0
Vinkfjorden, full belastning	0	N: 13,4 P: 0,24	0	5 205	3,1

3.3.2.3 Nordfolda

Ved beregninger som gjelder effekten av næringssalter for Nordfolda, må også de indre fjordarmene inkluderes. Dette betyr at for beregning av redusert siktedyp for Nordfolda, må arealer over terskeldyp i tillegg til fiskeproduksjonen for Mørsvikfjorden og Vinkfjorden, samt kloakkutslipp og eventuelle industriutslipp også inkluderes.

Samlet fiskeproduksjon i oppdrettsanleggene Mulen, Hjartøy Ø, Martnesvika og Hellarvika i løpet av 12 måneder er beregnet til 23 202 tonn. Med alle disse antropogene tilførsler, samt naturlig tilførsel gjennom avrenning, ble siktedypet redusert med 4,5% (Tabell 24).

Tilførsler fra kloakk til Nordfoldas fjordsystem er samlet beregnet til 2,4 tonn nitrogen og 0,36 tonn fosfor. Dette bidro med ca. 0,1% reduksjon i siktedypet, og er beskjedent sammenliknet både med det som blir tilført naturlig (0,3%) og det som kommer fra oppdrettsvirksomheten (4,0%).

Dominerende antropogene tilførsel av næringssalter vil være den som kommer fra akvakultur-industrien. Total belastning av næringssalter fra antropogene kilder var 4,3% reduksjon i siktedyp.

Modellen FjordEnv beregner oppholdstiden til vannet over terskeldypet til ca. 11 - 12 dager for fjordarmen Mørsvikfjorden, 7 - 8 dager for Vinkfjorden og ca. 16 - 17 dager for ytterste del, Nordfolda.

Tabell 25: Resultater fra simuleringer med modellen FjordEnv for terskelfjorden Nordfolda. Her er ulike økninger i belastninger angående organiske tilførsler fra antropogene kilder inkludert, og tilhørende reduksjoner av siktedyp som følge av disse økningene. NB: merk at bidrag av næringssalter fra både Mørsvikfjorden og Vinkfjorden-systemet er inkludert i beregningene for Nordfolda!

Belastning	*Tilførsel, kloakk [tonn/år]	*Tilførsel naturlig avrenning [tonn/år]	Tilførsel fra produksjon industri [tonn/år]	Tilførsel fra produksjon, fiskeoppdrett [tonn/år]	Reduksjon, siktedyp [%]
Naturlig belastning, hav	0	0	0	0	0
Kloakk	N: 2,4 P: 0,36	0	0	0	0,1
Naturlig avrenning fra land	0	N: 89 P: 1,6	0	0	0,3
Industri (Smolten AS)	0	0	909	0	0,2
Nordfolda, oppdrett 12 mnd. Maksimalt, i løpet av 2020 - 2021	0	0	0	23202	4,0
Nordfolda, full belastning	N: 2,4 P: 0,36	N: 89 P: 1,6	909	23202	4,5

4 Sammenfattende vurderinger, bærekraft

Modelleringer av bærekraft med en kombinasjon av den hydrodynamiske modellen FVCOM, spredningsmodul ved hjelp av FABM og terskelfjordmodellen FjordEnv er utført for fjordsystemet til Nordfolda og de enkelte fjordarmene Mørsvikfjorden og Vinkfjorden med dens to delarmer Stavfjorden og Indre Vinkfjorden.

Bærekraftsvurderinger gjøres med utgangspunkt i definisjonen i kapittel 2.5.

Inngående vurderinger av resultatene fra målinger og modell fra hvert delbasseng med tanke på bærekraft er gitt nedenfor. Det er videre delt inn i vurdering av dypbasseng og overflatelag.

4.1 Mørsvikfjorden

4.1.1 Oksygenminimum i dypbasseng

Største dyp (527 m) i dypbassenget i Mørsvikfjorden er omtrent 350 meter dypere enn terskeldypet (ca. 180 m). Dette medfører en naturlig begrenset vannutskiftning i dypområdet. Fordi terskelen er såpass dyp og vannet i dypbassenget normalt er ganske homogent, vil det kunne skje tidvis omrøringer mellom bassengvannet og innstrømmende vann, som flommer over terskelen når vannet er som tyngst i det intermediære vannlag omkring terskeldypet. Disse fullstendige omrøringene skjer ifølge terskelfjordmodellen FjordEnv kun hvert 4. – 6. år, og det oppstår da periodevis såkalte stagnante vannmasser i dypbassenget. Oksygenmålinger innhentet fra 2020 – 2022 og historiske oksygenmålinger fra tidligere prosjekter bekrefter at det kan gå flere år mellom hver dypvannsutskiftning (Vedlegg B). Likevel har bassenget relativt god kapasitet til å bryte ned organisk materiale og forbruke oksygen, hovedsakelig på grunn av dets store volum på ca. 2,5 km³. Det tar altså ifølge modellen lang tid, anslagsvis mellom 11 og 21 år avhengig av intensiteten på oppdrettsvirksomheten, å tømme dypbassenget for oksygen. Dette er en faktor på mellom 2 og 5 ganger i forhold til omrøringstiden.

Kriteriet for akseptabelt oksygenminimum er omkring 3,0 – 3,5 ml/l (kapittel 2.5). I denne studien har oksygenverdier blitt målt til 2,0 ml/l, med oksygenmetning litt under 30% i periode med oppdrettsaktivitet (Figur 13), og er i litt under denne akseptverdien for bærekraftig vannforekomst. Målt oksygenminimum med oppdrettsaktivitet inkludert tilsvarer tilstandsklasse IV ifølge Veileder 02:18 (Direktoratgruppen, 2018). Det var ingen omrøring i løpet av måleperioden for strøm, men senere oksygenmålinger har vist at det skjedde vertikal omrøring av vannmasser i løpet av sommeren 2021 (Vedlegg B). Her økte oksygenverdiene i dypbassenget til ca. 4,6 – 4,9 ml/l, tilsvarende 6,6 – 7,0 mg/l og omkring 70 % oksygenmetning, slik at verdien 2,0 ml/l kan anses som en god veiledning for Mørsvikfjordens oksygenminimum. Det har siden målingene startet i 2010 ikke vært målt lavere verdier for oksygen i dypbassenget, men det skal vektlegges at målingene før 2020 har vært for sjeldne og sporadiske til å kunne kartlegge og konkludere dette med sikkerhet.

Modellberegnet oksygenminimum med fiskeoppdrett er 2,8 ml/l, mens en sammenlignbar verdi fra målinger er et volum-vektet oksygenminimum fra målinger på 3,8 ml/l. Det er en del usikkerhet omkring disse sammenlikningene, men målingene antyder med disse tall en kortere vannutskiftningstid for bassengvannet på 4 år enn modellens utgangsberegninger på 6 år.

Modellsimuleringene med FVCOM har vist at tilførselen av organisk materiale fra lokaliteten Martnesvika til dypbassenget utgjorde omkring halvparten av det organiske materiale som synker til havbunnen fra anlegget, mens resten havner over terskeldypet. Det store dypet under oppdrettsanlegget (kapittel 3.2.2.1) medfører redusert risiko for høy punktbelastning på grunn av lang synketid og dermed både ytterligere oppløsning og økt spredning av partiklene. Den bratte skråninga ned mot dypbassenget og strømforholdene bidrar imidlertid til at den såpass store andelen av fôrspill og fekalier havner under terskeldypet.

Oksygenmålingene tilsier at det er en gradient nedover i vannsøylen også i selve dybbassenget, slik at forholdene på eksempelvis 300 m dyp er vesentlig bedre enn på over 500 m dyp. Man kan da vurdere at det er kapasitet til mer oppdrett så lenge det organiske materialet fra oppdrettsaktiviteten havner på dyp nærmest terskeldypet, eksempelvis mellom 180 og 300 m i dybbassenget, hvilket i stor grad er tilfelle for spredningen fra Martnesvika ifølge spredningsmodelleringen med FVCOM/FABM (Figur 46).

Resultatene fra modelleringa med FjordEnv viser at tilførselen av karbon og næringssalter til dybbassenget i Mørsvikfjorden fra oppdrettsanlegget Martnesvika har samme størrelsesorden som naturlige tilførsler fra innkommende havstrømmer (Tabell 16). Dette dybbassenget har ifølge målinger og modellsimuleringer tidvis utfordringer med oksygenforbruk vs. utskiftning av vannmasser.

Netto oksygenforbruk er beregnet via hydrografiske målinger med søkelys på perioden 2020 -2022 (se Vedlegg C). Disse beregningene indikerer et vesentlig større netto oksygenforbruk (ca. 0,2 ml/l/måned) ved maksimal produksjon/stående biomasse fra nærmeste oppdrettsanlegg, sammenliknet med når det er ingen (brakklegging) eller liten produksjon/stående biomasse (0,01 – 0,04 ml/l/måned). Det er betydelig usikkerhet omkring disse data, spesielt når det er ingen eller liten belastning.

Oksygenminimum i dybbassenget til Mørsvikfjorden fra både målinger og modell, med aktivt fiskeoppdrett på Martnesvika, er altså lavere enn akseptkriterier for bærekraftig produksjon jfr. definisjonen i kapittel 2.5. Beregninger av oksygenforbruk fra målinger antyder en påvirkning på oksygenivået i dybbassenget, når det er maksimal belastning på Martnesvika.

4.1.2 Reduksjon av siktedyp i overflatelag

Resultatene fra modelleringa med FjordEnv viser også at vannutskiftningen i øvre vannlag over terskeldypet imidlertid er såpass god og terskeldypet så dypt (180 m) at bidrag fra organisk materiale og næringssalter fra overflateavrenning, kloakkutslipp og elver ikke når å synke ned i dybbassenget før vannet er forsvunnet ut av Mørsvikfjorden.

Resultatene fra modelleringene med FjordEnv tilsier at utslipp fra produksjon i form av fiskeoppdrett, slik det ble utført i 2020 – 2021, har lite potensial til å påvirke miljøtilstanden i overflatelaget på negativ måte i Mørsvikfjorden, med reduksjon av siktedypet i størrelsesorden 3-4% (årsmiddel). Dette er vesentlig mindre enn den foreslåtte akseptgrense på 10% reduksjon. I så fall må det være helt spesielle og kortvarige tilfeller med ugunstige omstendigheter.

Avstanden fra lokaliteten Martnesvika til strandsone er ca. 210 m. Strømmålinger på lokaliteten vitner om at strømmen nær overflaten (5 m) omtrent utelukkende går parallelt med bunnkonturer og kystlinje og hovedsakelig innover i Mørsvikfjorden (Hermansen, 2020). Ifølge Tabell 4 er andelen av de letteste fekaliene omkring 5%. Dersom det skulle, mot all formodning, være ganske kraftig og vedvarende pålandsvind fra nordlige retninger på eksempelvis 15 m/s og en tilhørende strømfart på ca. 2% av dette (Norsk Standard, 2021), altså 30 cm/s, så viser enkle beregninger at de letteste fekaliene vil synke ca. 2 m nedover i vannsøylen før de eventuelt ankommer strandsone. Siden fisken i oppdrettsanlegget relativt sjelden oppholder seg helt i overflaten, anses det som liten risiko for negativ påvirkning på strandsone i nærheten på grunn av organiske partikler fra lokaliteten.

Oppløste næringssalter fra nedbrytningen av organisk materiale og som utskilles fra fiskegjellene fortynnes raskt ut og spres i vannmassene og gir sjelden negative "punktbelastninger".

Grefsrud (2022) konkluderer med generelt liten risiko for slike negative effekter som nevnt ovenfor angående næringssalter fra oppdrettsvirksomhet i denne aktuelle regionen.

4.2 Vinkfjorden

4.2.1 Oksygenminimum i dypbasseng

Hovedparten av det organiske utslippet er beregnet til å sedimentere like under dagens anlegg i Hellarvika, og i liten grad i selve dypbassenget som er ca. 120 m unna på det nærmeste (kapittel 3.2.2.2). Spredning med strøm og oppvirling av bunnsediment førte likevel til at noe organisk materiale nådde til dypbassenget.

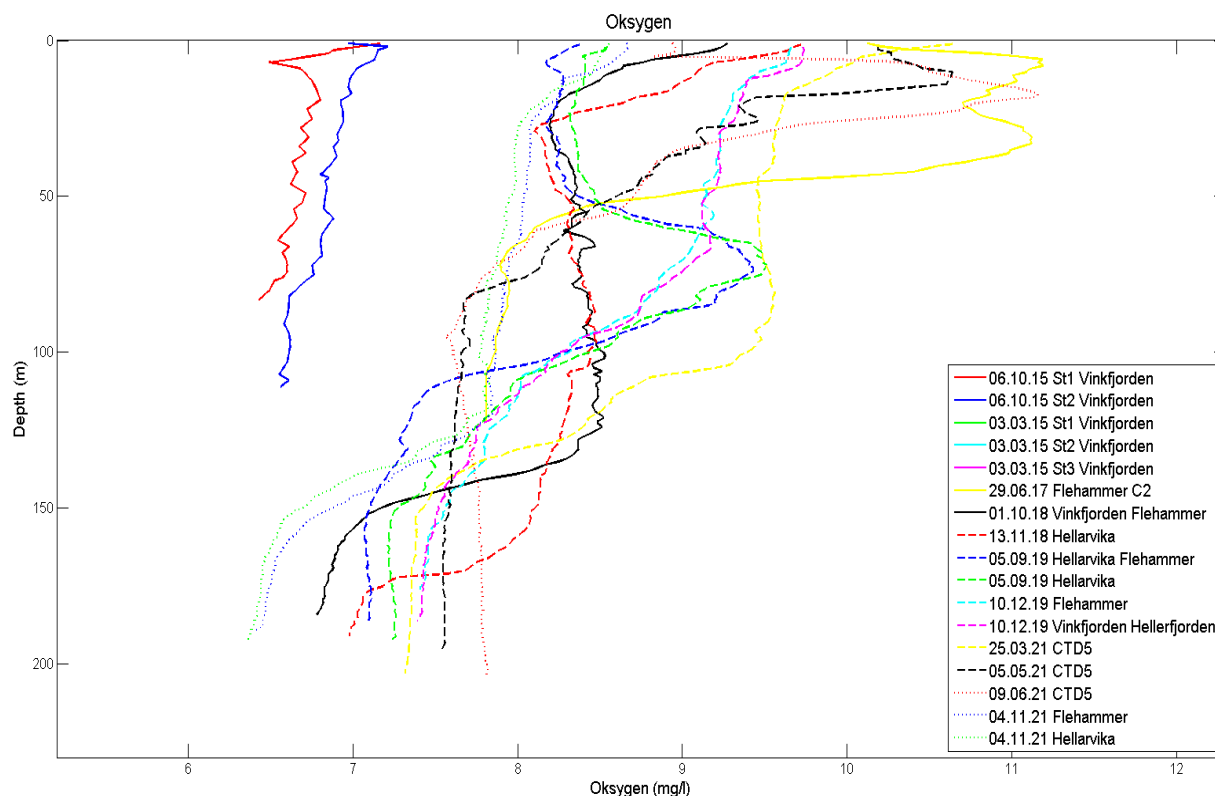
For Vinkfjorden vil de naturlige tilførsler til dypbassenget være i størrelsesklasse drøye 10 ganger høyere enn tilførsler fra oppdrettsanlegget (Tabell 19). Det er begrenset med utskiftning i dypbassenget, med en full utskiftning typisk hver 5. – 7. måned. Volumet av dypbassenget er relativt beskjedent med 0,16 km³, og modellen beregner at det tar ca. 3 år å forbruke oksygenet her med de beregnede antropogene og naturlige tilførsler, dersom dypbassenget skulle være stagnant uten vannutskiftninger. Dette tilsvarer en faktor på mellom 5 og 7 ganger utskiftningstiden.

Oksygenminimum er beregnet til omkring 76% uten oppdrett og 75% med oppdrett (kapittel 3.3.1.2). Dette samsvarer med henholdsvis 5,1 og 5,0 ml/l, som tilsvarer 7,2 og 7,1 mg/l oksygen. Minste oksygenverdier funnet fra historiske målinger i Vinkfjorden (Figur 51) indikerer oksygenminimum omkring 6,4 mg/l eller 4,5 ml/l, som tilsvarer en oksygenmetning på 64%, den 4. november 2021 i de nærmeste 30-40 m mot havbunnen. 4,5 ml/l tilsvarer tilstandsklasse God i henhold til Veileder 02:18 (Direktoratgruppen, 2018). Det er sannsynlig at oksygenminimum for Vinkfjorden ligger innenfor tilstandsklasse God (3,5 – 4,5 ml/l). Det volumetriske middelet for oksygenkonsentrasjonen i dypbassenget under terskeldypet for målingen fra 4. november 2021 er beregnet til 4,7 ml/l, altså noe lavere modellens 5,0 ml/l. Måleresultatene bekrefter at modellen gir en god veiledning på oksygenforbruket vs. vannutskiftningen i Vinkfjorden.

Modellberegnet oksygenminimum med fiskeoppdrett er 5,0 ml/l, mens en sammenlignbar verdi fra målinger er et volum-vektet oksygenminimum fra målinger på 4,7 ml/l. Det er en del usikkerhet omkring disse sammenlikningene, men målingene antyder med disse tall en noe lenger vannutskiftningstid for bassengvannet på 7 måneder, snarere enn modellens beregninger på 5,3 måneder.

Sedimentundersøkelser og undersøkelser av havbunnen (Tabell 12) viser tendenser til noe økt påvirkning av organisk materiale i dypbassenget, med tilstandsklasse II (God) ifølge Veileder 02:18.

Oksygenminimum i dypbassenget til Vinkfjorden fra både målinger og modell, med aktivt fiskeoppdrett på Hellarvika, er altså vesentlig høyere enn akseptkriterier for bærekraftig produksjon jfr. definisjonen i kapittel 2.5. Dermed er produksjonen, slik den har vært i perioden august 2020 til desember 2021, bærekraftig med hensyn til utslipp av organisk materiale til dypbassenget.



Figur 51: Oversikt over data (daterte profiler er vist nede til høyre) innhentet fra dypbassenget i Vinkfjorden fra historiske prosjekter av Akvaplan-niva. Det er oksygenverdier i mg/l som er gjengitt.

4.2.2 Reduksjon av siktedyp i overflatelag

Resultatene fra modelleringene med FjordEnv tilsier at utslipp fra produksjon i form av fiskeoppdrett slik det ble utført i 2020 – 2021 har lite potensial til å påvirke miljøtilstanden i overflatelaget på negativ måte i Vinkfjorden, med reduksjon av siktedypet i størrelsesorden 3%. Dette er vesentlig mindre enn den foreslåtte akseptgrense på 10% reduksjon. I så fall må det være helt spesielle og kortvarige tilfeller med ugunstige omstendigheter.

Avstanden fra lokaliteten til strandsone er ca. 240 m, og det vurderes som liten risiko for eutrofiering og/eller algeoppblomstring som følge av produksjon på lokaliteten. Strømmålinger fra lokaliteten viser at hovedstrømretning nær overflaten (5 m) er omtrent utelukkende parallelt med kystlinja (Bye, 2011B; Nikolaisen, 2017) og indikerer at det er svært liten risiko for negativ påvirkning på nærmeste strandsone. Ifølge Tabell 4 er andelen av de letteste fekalienene omkring 5%. Dersom det skulle oppstå ganske kraftig og vedvarende pålandsvind fra nordøstlig retning eksempelvis 15 m/s og en tilhørende strømfart på ca. 2% av dette (Norsk Standard, 2021), altså 30 cm/s, så viser enkle beregninger at de letteste fekalienene vil synke ca. 2 m nedover i vannsøylen før de eventuelt ankommer strandsone. Siden fisken i oppdrettsanlegget relativt sjelden oppholder seg helt i overflaten, anses det som liten risiko for negativ påvirkning på strandsone i nærheten på grunn av organiske partikler fra lokaliteten.

Oppløste næringssalter fra nedbrytningen av organisk materiale og som utskilles fra fiskegjellene fortynnes raskt ut og spres i vannmassene og gir sjelden negative "punktbelastninger".

Grefsrud (2022) konkluderer med generelt liten risiko for slike negative effekter som nevnt ovenfor angående næringssalter fra oppdrettsvirksomhet i denne aktuelle regionen.

4.3 Nordfolda

4.3.1 Oksygenminimum i dypbasseng

Både Mulen og Hjartøy Ø ligger langt ute i fjordsystemet og har svært god vannutskiftning. Derfor vil kapasiteten være stor også mht. lokal belastning. Hovedparten av det organiske materialet havnet like under henholdsvis Mulen og Hjartøy Ø, og relativt langt fra dypbassenget i Nordfolda (kapittel 3.2.2.3 og 3.2.2.4). Spredning med strøm og oppvirvling av bunnsedimentet førte likevel til at noe organisk materiale nådde til dypbassengene.

For modelleringer av Nordfolda-bassenget, som inkluderer resultater fra Mørsvikfjorden og Vinkfjorden, beregnes det at naturlige tilførsler til dypbassenget er i størrelsesorden 20 ganger større enn samlede tilførsler fra oppdrettsanleggene Mulen og Hjartøy Ø (Tabell 21). Dette stammer fra innkommende havstrømmer med tilhørende organisk materiale og næringssalter.

Ifølge terskelfjordmodellen er det svært god utskiftning i dypbassenget, typisk månedlig, og volumet er relativt stort med sine 1,3 km³. Dette er hyppig og gir gode forhold i dypbassenget i Nordfolda, samtidig som bassenget har meget god kapasitet til omsetning av tilført organisk materiale.

Målinger av saltholdighet, temperatur og oksygen i dypbassenget viste tydelig endring i innkommende vannmasser på ett tidspunkt omkring 26. april 2021. Siden dette signalet ikke var til stede i målingene på terskelen ved Hjartøy, så vurderes det at en utskiftning av vannmasser i dypbassenget til Nordfolda fant sted omkring dette tidspunktet. Dette bekrefter at det er utskiftning i dypbassenget, men antyder også at dette ikke er svært hyppig, med tanke på at det var eneste tydelige tilfelle i løpet av måleperioden på drøye 2 måneder.

Oksygenmålinger i prosjektene for Marin overvåkning, Nordland, med jevnlike oksygenmålinger fra 2013 til 2018, har aldri påvist lave oksygenverdier i dypbassenget med verdier under tilstandsklasse I, Svært God (Brkljacic m.fl., 2016; Borgersen m.fl., 2017; Brkljacic m.fl., 2019). Altså er det dokumentasjon på at produksjonen i perioden 2013 til 2018 ikke har hatt noen negativ effekt av betydning for oksygenforholdene i dypbassenget til Nordfolda.

4.3.2 Reduksjon av siktedyp i overflatelag

Både Mulen og Hjartøy Ø ligger langt ute i fjordsystemet og har svært god vannutskiftning. Derfor vil kapasiteten være stor også mht. belastning vedrørende næringssalter og overflatelaget.

Modellering av næringssalter for Nordfolda, hvor bidrag fra fjordarmene er inkludert, tilsier at reduksjonen av siktedyp med maksimal produksjon i perioden 2020 – 2021 er godt innenfor anbefalt akseptverdi omkring 10% (Stigebrandt & Aure, 1989). Det modelleres at reduksjonen som følge av oppdrettsaktiviteten er omtrent 4%. Siden modelleringen ikke tar hensyn til lokalitetene Hjartøy Ø og Mulen ligger like ved terskelen med spesielt god utveksling med vannmasser fra utenfor Nordfoldas fjordsystem, kan man anta at modelleringene for fjordsystemet Nordfolda generelt er noe konservativ mht. beregningene av iallfall påvirkning fra næringssalter i overflatelaget.

Avstanden fra Hjartøy Ø til strandlinja vest er kun ca. 130 m. Strømmålinger fra lokaliteten viser at strømretningen på 5 m dyp er omtrent utelukkende parallelt med bunnkonturer og kystlinje (Hermansen, 2021). Avstanden fra Mulen til strandlinja i øst er ca. 380 m, og også her er strømretningen nær overflaten (5 m) i praksis utelukkende parallelt med kystlinje (Hermansen, 2019). Avstanden mellom Mulen og Hjartøy er drøye 3 km. Ifølge Tabell 4 er andelen av de letteste fekalieene omkring 5%. Dersom det skulle oppstå ganske kraftig og vedvarende pålandsvind henholdsvis fra østlig (Hjartøy Ø) eller nordvestlig (Mulen) retning på eksempelvis 15 m/s, ville det kunne oppstå tilhørende strømhastighet mot land på ca. 2% av dette (Norsk Standard, 2021), altså 30 cm/s. Med en slik strømfart viser enkle beregninger at de letteste fekalieene vil synke ca. 1 m nedover i vannsøylen før de eventuelt ankommer strandsone nær Hjartøy Ø og ca. 3 m før de eventuelt skulle ankomme strandsone nær Mulen. Siden fisken relativt sjelden oppholder seg helt i overflaten, anses det som ingen risiko for Mulen og liten risiko for Hjartøy Ø med tanke på at organisk materiale i form av de minste størrelsesklasser av fekalier fra fisk på lokalitetene medfører negativ påvirkning på nærmeste strandsoner eller på den andre lokaliteten.

Den generelle risikoen for negative effekter på grunn av tilførsler av næringssalter i regionen er vurdert av Grefsrud m.fl. (2022) og anses som liten grunnet rask fortykning og god vannutskiftning på generelt plan. Dette vil også gjelde for Nordfolda-bassenget, og spesielt de ytre områder nær Mulen og Hjartøy.

Overvåkning av næringssalter vha. total fosfor, total nitrogen, siktedyp og klorofyll a fluorescens fra to stasjoner og hardbunns-samfunn på grunt vann på tre stasjoner i Nordfolda gjennom prosjektet Marin overvåkning Nordland i perioden 2013 - 2019, viste gjennomgående resultater som samsvarte med tilstandsklassifisering II (God) eller I (Svært god) (Brkljacic m.fl., 2016; Borgersen m.fl., 2017; Brkljacic m.fl., 2019). Dette vitner om at miljøtilstanden var god mht. næringssalter generelt i delbassenget Nordfolda og i fjæresonen på utvalgte steder med den produksjonen som har vært i perioden 2013 – 2018.

4.4 Begrensninger, modellvalideringer og kommentarer til resultatene

Bærekraftsmodellen FjordEnv er en forenklet boksmodell, som betrakter fjordsystemet som tre vertikale lag, nemlig overflatelag, intermediærlag og nedre lag under terskeldypet (kapittel 2.4). Modellen har mange generaliserte verdier basert på statistikk fra et stort utvalg fjorder. De viktigste dynamiske forhold i en terskelfjord og de viktigste momenter som påvirker bærekraften inkluderes i beregningene, og modellen anses derfor som robust. Som tidligere nevnt har den dog ingen romlige gradienter innenfor hvert lag og den tar kun utgangspunkt i gjennomsnitt per år for inngangsverdier og innstillinger, og må derfor ses på som veiledende.

Valideringsmålinger for strøm og hydrografi (Vedlegg A) viser at den hydrodynamiske modellen som beregner spredning og sedimentering til dybbasseng, generelt har litt for høy strømfart og generelt mer vertikal omrøring og utskiftning enn i virkeligheten. Derfor er det sannsynlig at spredningsmodellen overestimerer tilførselen av organisk materiale til dybbassenget. Dermed kan beregningen i denne studien anses som konservativ mht. oksygenverdier i dybbassengene.

Det er utført validering av modellresultatene mot feltmålinger. I denne studien er tidligere utførte B- og C-undersøkelser konsultert for å vurdere resultater fra sedimenttransport-modellen (FVCOM/FABM) (Tabell 11 - Tabell 14) og oksygenmålinger og oksygenprofiler innhentet for å validere bærekraftsmodell-systemet (FVCOM/FABM/FjordEnv) (Figur 13, Figur 36 og Vedlegg B). Generelt er det god sammenheng mellom målinger og modellresultater angående oksygenmålinger og forventet sedimentkvalitet eller tilstand på bunnfauna.

På grunn av de beskrevne usikkerhetene, bør modelleringsresultatene kun benyttes som veiledende beregninger. Dette gjelder spesielt bærekraftsmodellen/terskelfjordmodellen FjordEnv.

Fjordmiljø-modellen antar verdier basert på årlige gjennomsnitt for tilførsel av næringssalter og fiskeproduksjon, samt for hele fjorden som en helhet uten forskjeller og gradienter i rom. I virkeligheten vil det for eksempel vanligvis være mer intens føring i oppdrettsanleggene i sommerhalvåret. Informasjon fra oppdragsgiver viser at det i enkelte måneder var omtrent dobbelt så mye føring som årsgjennomsnitt for alle de fire anleggene som har hatt produksjon i 2020 og 2021 (Johnsen, 2022).

Dersom sprangsjiktet er markert, med stor tetthetsforskjell eksempelvis med ferskt og varmt vann over saltere og kaldere vann, vil nedsynkingspotensialet eller nedsynkingshastigheten reduseres når partikulært materiale synker mot og treffer det tyngre vannet. Organiske partikler kan da bli "fanget" i dette sprangsjiktet, og nedbrytning av disse kan gi økte tilførsler av næringssalter til vannmassene her.

Dersom vindhastigheten i fjordsystemet øker, vil utskiftningstiden til overflatelaget gå ned. Det vil da som regel bli bedre utskiftning med vannmasser med lavere konsentrasjon av næringssalter, og miljøtilstanden i overflatelaget blir bedre, med lavere reduksjon av siktedyp.

Dersom man velger mindre verdi for typisk siktedyp om sommeren enn 5 m, vil reduksjonen av siktedyp på grunn av fiskeoppdrett bli mindre. På samme måte vil reduksjonen bli større dersom man velger større utgangsverdi for siktedyp.

Det er benyttet årsgjennomsnitt for avrenning til delfjordene og fjordsystemet (Tabell 5), som gir konservative verdier mht. ferskvannstilførsel. I snøsmeltingsperioden om våren og i perioder med intens nedbør vil avrenningen til Nordfoldas fjordsystem øktes betraktelig.

Intens fiskeføring med ugunstig førsammensetning under oppdrettsaktivitet i Nordfoldas fjordsystem, bidrag fra kyststrømmen, naturlig avrenning, gjerne i kombinasjon med kommunale avløp og industriutslipp vurderes som de største potensielle kildene til reduksjon av siktedyp, overbelastning av næringssalter og eventuell algeoppblomstring i de indre deler av fjordsystemet.

Beregninger med terskelfjordmodellen har vist at det er vesentlig større mengde næringssalter som tilføres fra oppdrettsanleggene i Nordfolda: Martnesvika, Hellarvika, Mulen og Hjartøy Ø, enn det som tilføres resipienten fra kloakk og industri. Vannmasser med høy konsentrasjon av næringssalter fra oppdrett, kloakk, industri eller naturlig avrenning ser ifølge modelleringene ikke ut til å kunne synke ned i dypbassenget før vannet over terskeldypet skiftes ut. Dermed vil ikke disse tilførte næringssaltene til overflatelaget i seg selv kunne gi noen negativ påvirkning på oksygeninnholdet i dypbassengene verken i Mørsvikfjorden, Vinkfjorden eller Nordfolda. Næringssalter må omdannes til organisk materiale ved fotosyntese, og deretter må materialet synke til dypbassenget og nedbrytes under forbruk av oksygen, før en kan si at næringssalter har påvirket oksygeninnholdet. På så store terskeldyp som det her er snakk om angående hovedtersklene i dette fjordsystemet, minst 135 m, er det for lite lys til fotosyntese (Stigebrandt, 2001). Bunnvannet kan da ha høy konsentrasjon av næringssalter, uten at det er negativ påvirkning, på grunn av mangelen på tilgang til lys. Samme tilfelle er økt konsentrasjon av næringssalter i vinterhalvåret, med lite tilgang til lys, hvor det ikke kan registreres negative effekter i form av eutrofiering, algevekst og redusert siktedyp.

4.5 Vurderinger og anbefalinger

Modellering og målinger har vist at produksjonsnivået ved Martnesvika med tilknytning til dypbassenget i Mørsvikfjorden for perioden 1. august 2020 til 31. desember 2021 ikke tilfredsstilte kriteriene satt i denne studien for bærekraftig produksjon (kapittel 2.5). Målinger fra 2010 og fram til 2022 har imidlertid vist at det er sannsynlig at disse grenseverdiene for dypbassenget overtres kun dersom det er stagnante vannmasser i bunnvannet i Mørsvikfjorden over flere år (Vedlegg B). Eksempelvis var det i målingene utført i slutten av 2021 og i 2022 svært god miljøtilstand i dypbassenget mht. oksygennivå. Ifølge bærekraftsmodellen har dypbassenget imidlertid i det lange løp allerede ved naturlig tilstand såpass dårlig miljøtilstand at denne er nær grensen for akseptabel miljøtilstand angående oksygenminimum jfr. Direktoratgruppen (2018) (kapittel 3.3.1.1). Årsaken er at det er begrenset med utskiftning i dypbassenget i Mørsvikfjorden, og oksygennivået påvirkes negativt av oppdrettsvirksomheten. Selv om volumet av dypbassenget er stort og at det derfor skal mye til for å endre på miljøtilstanden, er det likevel sårbart på grunn av sjelden utskiftning av vannmassene. Spredningssimuleringer med FVCOM viser at omtrent halvparten av det partikulære organiske materiale som synker ned fra matfiskanlegget 13139 Martnesvika ender opp i dypbassenget, under terskeldypet på 180 m.

Det anbefales å fortsette å overvåke oksygeninnholdet i dypbassenget i Mørsvikfjorden. Dette vil gi sikrere kartlegging av den faktiske utskiftningshyppigheten til vannmassene i dypbassenget. Videre vil slike målinger utført i perioder både med og uten oppdrettsaktivitet, også kunne gi en mer pålitelig beskrivelse av det naturlige oksygenforbruket vs. oksygenforbruket ved pågående oppdrettsaktivitet. Dette krever stor nøyaktighet til oksygen-, trykk- og konduktivitetssensor. Det anbefales å fortsette målekampanjen med enda nøyaktigere sensorer enn hittil benyttet, inntil sikrere beregninger og forståelse av disse prosesser er på plass. Dette vil ideelt kreve månedlige målinger av oksygeninnhold i hele vannsøylen omkring dypeste punkt i Mørsvikfjorden.

Det vil være et avbøtende tiltak å flytte lokaliteten slik at en mindre andel av fôrspill og fekalier havner i dypbassenget til Mørsvikfjorden, under 180 m dyp.

Modellberegningene og målingene viser at delbassengene Vinkfjorden og spesielt Nordfolda har god kapasitet til å tåle økt oksygenforbruk i dypbassengene. For Vinkfjorden så gjelder dette så lenge det kun er beskjedne spredning av organisk materiale til dypbassenget, slik som spredningsmodelleringene med den hydrodynamiske 3D-modellen FVCOM har vist at det var i perioden august 2020 – desember 2021. Ved endret eller økt produksjon bør det altså tas hensyn til plassering av oppdrettsaktiviteten, slik at ikke ugunstige forhold i dypbassenget oppstår på grunn av plassering av lokaliteter med økt potensial for spredning av organisk materiale til dypbassenget. Hovedårsaken er at dypbassenget til Vinkfjorden har noe begrenset vannutskiftning og begrenset volum ($0,16 \text{ km}^3$). Dette vil medføre at Vinkfjorden har begrenset kapasitet til å tåle økning av produksjonen, dersom dypbassenget blir påvirket. Evt. kan modelleringer av bærekraft med økning av produksjonen utføres, for å få en grov veiledning angående kapasiteten.

Modelleringen har vist at vannet over terskeldypet i fjordsystemet Nordfolda blir skiftet ut med et intervall på typisk et par uker til en måned. I løpet av denne tiden vil en betydelig del av det organiske materialet fra oppdrettsaktiviteten, og annen antropogen aktivitet med lave synkehastigheter, enten være brutt ned eller skyllet ut av fjordsystemet med havstrømmene. Dersom oppdrettsanlegg ligger nær strandsonen i et område med liten vannutskiftning, kan pålandsvind medføre en opphopning av lette organiske partikler i strandsonen. Enkle beregninger av strømfart vs. synkehastighet til slike partikler har vist at det er svært liten risiko for dette ved de vurderte oppdrettsanleggene i Nordfolda.

Tidligere strømmålinger og målinger av næringssalter, samt modellsimuleringene i denne studien, tilsier ikke noen spesiell fare for høy konsentrasjon av næringssalter verken lokalt nær oppdrettslokaliteter eller i de ulike delbasseng i fjordsystemet. Modellberegningene er utført for produksjonsnivået som var på lokalitetene Mulen, Hjartøy Ø, Hellarvika og Martnesvika i 2020 og 2021.

Den totale belastningen med næringssalter i Nordfolda beregnes til å ha vært godt innenfor grensen til det akseptable med tanke på reduksjon av siktedyp ved maksimal produksjon i perioden sommer 2020 til ultimo 2021, med ca. 4% i forhold til anbefalt grense på 10% (kapittel 2.5). Dette gjelder også for de enkelte fjordarmene, hvor reduksjonen av siktedyp var omkring 3%. Man skal huske på at bærekraftsmodellen er en forenkling av virkeligheten uten romlige og temporale gradienter, slik at den kun bør benyttes som en veiledende beregning. Dersom det var mest intens produksjon i vintermånedene, vil næringssaltene ikke medføre negative effekter i form av algeproduksjon. Inntil videre er det ikke påvist negative effekter som følge av økte konsentrasjoner av næringssalter i nærheten av oppdrettsanlegg eller strandsone i Nordfolda. Grefsrud m.fl. (2022) vurderer og konkluderer med at det generelt er rask fortynning av næringssaltene i umiddelbar nærhet til oppdrettsanleggene, at det generelt er god vannutskiftning i regionen, og at det dermed er liten risiko for negative miljøeffekter som følge av tilførsler av nitrogen og fosfor fra oppdrettsanlegg.

Altså viser modellberegninger og målinger at det er god bærekraft til dagens akvakulturproduksjon mht. overflatelagets miljøtilstand i fjordsystemet i Nordfolda. Det tyder også på at det for dette øvre laget er bærekapasitet til ytterligere økning av produksjon i fjordsystemet, spesielt i den ytre delen av Nordfolda.

Siden det er en del usikkerheter i bærekraftsmodellen, anbefales det at en eventuell økning av produksjonen i forhold til dagens nivå for Vinkfjorden, Mulen og Hjartøy Ø skjer gradvis og parallelt med jevnlig overvåking. Dette gjelder spesielt dersom økningen skal finne sted lenger inn i fjordsystemet. Ved en planlagt betydelig økning av produksjonen anbefales det at en overordnet overvåkings- og forvaltningsplan utformes, og bør inneholde:

- Målinger av siktedyp og/eller konsentrasjon av næringssalter på faste stasjoner og standard måledyp i sommerhalvåret.
- Månedlige oksygenmålinger i dypbassenger, hele året i Mørsvikfjorden og hovedsakelig om høsten/ vinteren i Vinkfjorden, for å kunne tidfeste og bestemme nivå av oksygenminimum. Målingene utføres for å overvåke dypbassenger, samt for å få forståelse for den faktiske hyppigheten av utskiftning av vannet i disse to dypbassengene. En slik forståelse vil gi større trygghet i vurderinger av bærekapasiteten.

Generelt anbefales det å legge produksjonen til lokaliteter hvor det kan påvises, gjerne ved hjelp av spredningsmodellering med en 3D-modell, at deponering av fôrspill og fekalier ikke vil ramme dyp større enn terskeldyp. Strategisk plassering av oppdrettsanlegg til grunnere vann enn terskeldypet til de respektive terskler i Nordfoldas fjordsystem og med beskjeden ingen eller beskjeden spredning av fôrspill og fekalier til dyp større enn terskeldyp, vil kunne være med og bidra til å sikre fortsatt god miljøtilstand i dypområdene innover i fjordsystemet. Dette vil si grunnere enn 229 m i Nordfolda, grunnere enn 135 m i Vinkfjorden og grunnere enn 180 m i Mørsvikfjorden, hvor sistnevnte ser ut til å være viktigst i dette henseende pga. svært begrenset utskiftning. En slik plassering av oppdrettsanlegg over terskeldyp vil gi hyppigere vannutskiftning like over havbunnen under oppdrettsanlegget, med generelt bedre tilførsel av oksygenrikt vann fra områder utenfor Nordfolda, sammenlignet med nåværende lokalisering. Slik kan det forhindres eller iallfall motvirkes at oksygenmetningen i vannet under terskeldyp reduseres til under akseptabelt nivå, selv om dette muligens kan oppstå også kun ved naturlig belastning. Ved fiskeproduksjon på vesentlig grunnere vann vil det derimot være større risiko for å få uhensiktsmessige punktbelastninger i nærheten av anleggene, fordi spredningen da som regel blir mer begrenset.

Optimale lokaliteter for fiskeoppdrett er altså på dyp over terskeldyp, gjerne med lang avstand til dypbassenger og noe avstand til strandsonen. Her spiller fremherskende havstrømmer en viktig rolle, og en 3D-modell som FVCOM med mulighet for beregning av spredning av materiale i vannsøylen er et gunstig verktøy for å finne og optimere plassering av oppdrettslokaliteter.

Lenger ut i Nordfolda, i retning mot Vestfjorden, vil det være mer effektiv utveksling med vannmasser utenfor Nordfolda, som vanligvis har bedre vannkvalitet i form av høyere oksygenmetning og mindre konsentrasjon av næringssalter. Dersom en større økning skal finne sted, anbefales det derfor generelt å flytte produksjonen utover i fjordsystemet til Nordfolda. Spesielt anbefales det at oppdrettsaktiviteten flyttes fra Mørsvikfjorden-bassenget mot grunnere vann, og helst mot Nordfolda-bassenget.

En grov oppsummering av bæreevnen til de ulike delbasseng og fjordsystemet er gitt i Tabell 26.

Tabell 26: Oppsummering av beregninger av bærekraft i denne studien, hvor fargekoder er i henhold til tilstandsklassifiseringer i henhold til Veileder 02:18 (Direktoratgruppen, 2018) for kvalitetselementet oksygenmetning i dypvann.

Delbasseng	Oksygenforhold i dypbasseng (Direktoratgruppen, 2018)	Næringssalter (akseptgrense: 10% reduksjon av siktedyp pga. antropogen påvirkning) *****	Kommentar
Mørsvikfjorden	Oksygenminimum: 2,0 ml/l (måling)** Tilstandsklasse IV Modell bekrefter	3,8%	Stort volum i dypbasseng, men sjelden utskiftning
Vinkfjorden	Oksygenminimum: ca. 4,4 ml/l (måling)*** Tilstandsklasse II Modell bekrefter	3,0%	Relativt lite volum i dypbasseng, med ganske hyppig utskiftning.
Nordfolda	Oksygenminimum > 5,3 ml/l (måling)**** Tilstandsklasse I Modell bekrefter	*4,6%	Relativt grunt dypbasseng, med hyppig utskiftning.
Fjordsystem		4,6%	

* avhenger av produksjonstallet i Mørsvikfjorden og Vinkfjorden

** målinger, se Figur 13

*** målinger, se Figur 51

**** Brkljacic m.fl., 2019

***** Stigebrandt & Aure (1989)

5 Referanser

- Albretsen, J. (2011). NorKyst-800 report no. 1: User manual and technical descriptions. Fisken og havet.
- Aquaculture Steward Council, 2019. ASC Salmon Standard, Version 1.3. (2019). 101 sider.
- Aure, J. & Stigebrandt, A., 1989. On the influence of topographic factors upon the oxygen consumption rate in sill basins of fjords. *Estuarine, Coastal and Shelf Science* (1989), page 59 – 69.
- Aure, J. & Stigebrandt A., 1990. Quantitative estimates of eutrophication effects on fjords of fish farming. *Aquaculture* 90,135-156.
- Aure, J., J. Vigen og F. Oppedal, 2009. Hva bestemmer vannutskiftning og oksygenforhold i oppdrettsmerder? Kyst og Havbruk, 2009. Havforskningsinstituttet. Side 169-171.
- Bahr, G., & Velvin, R., 2019. Cermaq Norway AS. Lokaltet Mulen. Forundersøkelse 2018. Akvaplan-niva 60730.01.
- Bannister, R. J., Johnsen, I. A., Hansen, P. K., Kutti, T., and Asplin, L., (2016). Near- and far-field dispersal modelling of organic waste from Atlantic salmon aquaculture in fjord systems. – *ICES Journal of Marine Science*, doi: 10.1093/icesjms/fsw027.
- Borgersen, G., Ledang, A.B., Norli, M., Hangstad, T.A. Walday, M.G., 2017. Marin overvåking Nordland 2016-2017. Undersøkelser av hydrografi, planteplankton og bløtbunnsfauna i 6 fjorder i Nordland. NIVA-rapport 7211-2016.
- Braaten, B. Pers. med. på e-post, datert 02.05.2023.
- Brkljacic, M.S., Gitmark, J., Johnsen, T.M., Norli, M., Dahl-Hansen, G.A. 2016. Marin overvåking Nordland 2013-2015. Undersøkelser av hydrografi, planteplankton, hardbunnsorganismer og bløtbunnsfauna i 6 fjorder i Nordland. 2016. NIVA-rapport 6993-2016.
- Brkljacic, M.S., Gitmark, J., Ledang, A.B., Norli., M., 2019. Marin overvåking Nordland 2017-2018. Undersøkelser av hydrografi, planteplankton (klorofyll a) og hardbunnsorganismer i 6 fjorder i Nordland. NIVA-rapport 7350-2019.
- Bruggemann, J., & Bolding, K. (2014). A general framework for aquatic biogeochemical models. *Environmental modelling and software*, 249-265.
- Buhl-Mortensen L., Oug E. & Aure J., 2009. The response of hyperbenthos and infauna to hypoxia in fjords along Q2 the Skagerrak: estimating loss of biodiversity due to eutrophication. In: *Integrated Coastal Zone Management* (ed. by E. Moksnes, E. Dahl & J.G. Støttrup), pp. 79–96. John Wiley & Sons, 376pp.
- Bye, B.E., 2010A. Mainstream Norway AS. Miljøundersøkelser type B, Hjartøy 2010. APN-5209.B01.
- Bye, B.E., 2010B. Utvidet miljøundersøkelse type B, Mart Nesvik oktober 2010. Revidert utgave. APN-rapport 5209. B03, 12s.
- Bye, B.E., 2011A. Mainstream Norway AS Miljøundersøkelse type B, Martnesvik mai 2011. Akvaplan-niva rapport nr. 5495. B01. 24 s.
- Bye, B.E., 2011B. Mainstream Norway AS. Lokaltetsrapport Vinkfjord. Akvaplan-niva rapport no. 5248. A05. 9 sider.
- Bye, B.E., 2012. Mainstream Norway AS. Miljøundersøkelser type B, Hjartøy august 2012. APN-6036.02.
- Bye, B.E., 2014. Cermaq Norway AS. Miljøundersøkelser type B, Hjartøy mars 2014. APN-6977.03.

- Chen, C., Liu, H. & Beardsley, R.C. (2003). An unstructured grid, finite-volume, three-dimensional, primitive equations ocean model: application to coastal ocean and estuaries. *Journal of atmospheric and oceanic technology* 20.1, 159-186.
- Direktoratgruppen, vanndirektivet, 2018. Veileder 2:2018 Klassifisering. 222 sider.
- Fredriksen, R., & Heggem, T., 2020. Cermaq Norway AS. C undersøkelse til forundersøkelse, Martnesvika, 2019. Akvaplan-niva rapport 61483.03.
- Grefsrud, E.S., Andersen, L.B., Bjørn, P.A, Grøsvik, B.E., Hansen, P.K., Husa, V., Karlsen, Ø., Kvamme, B.O., Samuelsen, O., Sandlund, N., Solberg, M.F., Stien, L.H., 2022. Risikorapport norsk fiskeoppdrett 2022 – risikovurdering – Effekter på miljø og dyrevelferd i norsk fiskeoppdrett. Havforskningsinstituttet. Nettrapport: <https://www.hi.no/hi/nettrapporter/rapport-fra-havforskningen-2022-12>.
- Harendza, A., 2019A. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse. 13931 Hjartøy Ø, august 2019. Høyeste belastning. APN-61415.01.
- Harendza, A., 2019B. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse. 13931 Hjartøy Ø, august 2019. Utvidet undersøkelse. APN-61415.02.
- Harendza, A., 2019C. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse, 11315 Hellarvika, august 2019. Høyeste belastning. APN-61416.01.
- Hargrave, B.T., Holmer, M. & Newcombe, C.P., (2008). Towards a classification of organic enrichment in marine sediments based on biogeochemical indicators. *Marine Pollution Bulletin* 56:810-824.
- Hermansen, S., 2019. Strømrapport Mulen, 5 m, 15 m, spredning- og bunnstrøm. Akvaplan-niva rapport no. 60731.02. 13 sider.
- Hermansen, S., 2020. Cermaq Norway AS. Lokalitetsrapport for Martnesvika, 2020. Akvaplan-niva rapport no. 61869.03. 17 sider.
- Hermansen, S., 2021. Lokalitetsrapport med havsjømodellering for Hjartøy Ø (13931), 2021. Akvaplan-niva rapport no. 63652.01. 47 sider.
- Johnsen, I., 2022. Pers. med. Oversendt produksjonstall per måned for 2020 og 2021 fra Cermaq Norway AS på epost. Datert 12.12.2022.
- Keeley, N.B., Cromey, C.J., Goodwin, E.O., Gibbs, M.T., Macleod, C.M., (2013). Predictive depositional modelling (DEPOMOD) of the interactive effect of current flow and resuspension on ecological impacts beneath salmon farms. *Aquaculture Environmental Interactions*, Vol. 3:275-291.
- Larsen, L-H & Fredriksen, R. 2019. Balsfjord resipientkapasitet. Kunnskapsgrunnlaget for vurdering av fjordens evne til å omsette tilført organisk materiale. Akvaplan-niva rapport 61042. 15 sider.
- Leikvin, 2010. Vurdering av bæreevne til Mørsvikfjorden i Nordland, 2010. Akvaplan-niva rapport no. 4884.01. 21 sider.
- Leikvin, 2011. Vurdering av bæreevne til Vinkfjorden i Nordland, 2010. Akvaplan-niva rapport no. 4885.01. 21 sider.
- Lorås, G. W. & Steffensen, K., 2018. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse, februar 2018. 13139 Martnesvika. APN-10003.01.
- Lorås, G.W., 2021A. Cermaq Norway AS. C-undersøkelse ved Martnesvika 13139, Dypområdet CTDO, 2021. APN-62859.01.
- Lorås, G.W., 2021C. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse, 11315 Hellarvika, oktober 2021. APN-63490.01

- Lorås, G.W., 2021B. Cermaq Norway AS. B- undersøkelse, november 2021, 13139 Martnesvika. APN63610.01.
- Lorås, G.W., 2021F. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse. 13931 Hjartøy Ø. Juni 2021. APN-63079.03.
- Lorås, G.W., 2021G. Cermaq Norway AS. C-undersøkelse ved lokalitet Hjartøy Ø (13931), 2021. APN-63351.02.
- Lorås, G.W., 2021D. Cermaq Norway AS. 45004 Mulen. B-undersøkelse høyest belastning. 2021. APN-63489.01.
- Lorås, G.W., 2021E. Cermaq Norway AS. C-undersøkelse ved Mulen (45004), 2021. APN-63489.02.
- Lorås, G.W., 2022. Cermaq Norway AS. C-undersøkelse ved Martnesvika (13139), 2021. APN-63610.04.
- Mannvik, H.-P., Steffensen, K. & Nikolaisen, J., 2018. Cermaq Norway AS. Forundersøkelse på oppdrettslokaliteten Vinkfjorden, 2017. APN-8976.01.
- Mannvik, H.-P. & V. Remen, 2019A. Cermaq Norway AS. ASC- og C-undersøkelse Hellarvika, 2019. APN-60728.01.
- Mannvik, H.-P. & V. Remen, 2019B. Cermaq Norway AS. ASC- og C-undersøkelse. 11315 Hellarvika, september 2019. Høyeste belastning. APN-61414.01.
- Miljødirektoratet, vanndirektivet 2018. Veileder 2:2018 Klassifisering av miljøtilstand i vann. Økologisk og kjemisk klassifiseringssystem for kystvann, grunnvann, innsjøer og elver.
- Mosevoll, G., S. Haraldsen, L. Enander, J. Fjellsøy, K.T. Nedland & E. Bøhleng, 1999. Veiledning for dokumentasjon av utslipp fra befolkningen. NORVAR-rapport 99-1999. Norsk VA-verkforening. 81 sider.
- Müller, M., Y. Batrak, J. Kristiansen, M. A. Koltzow, G. Noer, and A. Korosov, 2017: Characteristics of a convective-scale weather forecasting system for the European Arctic. Mon. Wea. Rev., 145, 4771–4787, <https://doi.org/10.1175/MWR-D-17-0194.1>.
- Nikolaisen, J., 2017. Cermaq Norway AS. Strømmålinger 11325 Vinkfjorden. 5 m, 15 m, spredning- og bunnstrøm. Akvaplan-niva rapport no. 8976.02.
- Norsk Standard, 2016. NS 9410:2016. Miljøovervåking av bunnpåvirkning fra marine akvakulturanlegg. 23 s.
- Norsk Standard, 2021. NS 9415:2021. Flytende akvakulturanlegg. Lokalitetsundersøkelse, prosjektering, utførelse og bruk. 130 sider.
- Ramsvatn, S. 2023. Pers. med. På e-post datert 14.03.2023.
- Remen, V., 2017. Cermaq Norway AS. Miljøundersøkelse type B. 13931 Hjartøy Ø, juni 2017. APN-8981.01.
- Remen, V., 2019. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse, februar 2018, 11315 Vinkfjorden (ny del). APN-8976.02
- Remen, V., 2020. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse, 13931 Hjartøy Ø, april 2020. Før utsett. APN-62038.01.
- Sample, J.E., 2023. Nettside: <https://github.com/NIVANorge/teotil2>. Data innhentet for 2020 den 22.03.2023 og for 2021 den 27.04.2023.
- Simonsen Jenssen, J. 2022. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse 13139 Martnesvika. APN-64205.01
- Sjetne, L., 2020. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse, 11315 Hellarvika, april 2020. Før utsett. APN-62093.01.
- Skjevling, Ø., 2022. Pers. med. på e-post, datert 14.11.2022.

- Steffensen, K., 2016. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse, 13931 Hjartøy Ø, august 2016. APN-8387.01.
- Steffensen, K., og Mannvik H. P., 2016. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse 13139 Martnesvika, august 2016. APN-8387.02.
- Stigebrandt, A., and Aure, J., 1989. Vertical mixing in the basin water of fjords. *Journal of Physical Oceanography*, 19, 917–926.
- Stigebrandt, A., Aure, J. and Mølvær, J., 1996: Oxygen budget methods to determine the vertical flux of particulate organic matter with application to the coastal waters off western Scandinavia. *Deep-Sea Res. II*, 43, 7-21.
- Stigebrandt, A., 2001. FjordEnv - A water quality model for fjords and other inshore waters. Göteborg University, Earth sciences centre report C40. 41 sider.
- Stigebrandt, A. J., Aure, A., Ervik & P.K. Hansen, 2004. Regulating the local environmental impact of intensive marine fish farming. III. A model for estimation of the holding capacity in the Modelling - Ongrowing fish farm - Monitoring system. *Aquaculture*, 234, 239-261.
- Stigebrandt, A., 2011. Carrying capacity: general principles of model construction. *Aquaculture Research*, 2011, 42, pp 41–50.
- Stigebrandt, A., 2015. Ancylus FjordEnv 4.0 – Manual. 22 sider.
- Svalbjørg, G. Pers. med. på e-post, datert 10.11.2022.
- Sztybor, K. & Fredriksen, R., 2022. Cermaq Norway AS. C-undersøkelse ved Hellarvika (11315), 2021. APN-63490.02.
- Tjomsland, T., & Bratli, J.L., 1996. Brukerveiledning for TEOTIL. Modell for teoretisk beregning av fosfor og nitrogentilførsler i Norge. NIVA rapport no. 3426-96. 84 sider.
- Velvin, R. & Worum, B., 2015. Cermaq Norway AS. C-undersøkelse på lokaliteten Vinkfjord, 2015. APN-7478.02.
- Velvin, R. & Bye, B.E., 2012. Mainstream Norway AS. C undersøkelse på lokaliteten Hjartøy 2012. APN-5856.01.
- Velvin, R. & Guneriusen, A., 2011. Mainstream Norway AS. C-undersøkelse på oppdrettslokaliteten Martnesvik i Mørsvikfjorden, 2011. Akvaplan-niva rapport 5600-1.
- Yakushev E., Wallhead Ph., Renault P., Ilinskaya A., Protsenko E., Yakubov Sh., Pakhomova S. Sweetman A., Dunlop K., Berezina A., Bellerby R., Dale T. 2020. Understanding the Biogeochemical Impacts of Fish Farms using a Benthic-Pelagic Model. *Water*, 2020, 12, 2384; doi:10.3390/w12092384.
- Worum, B., 2015. Cermaq Norway AS. B-undersøkelse på Hjartøy. August 2015. APN-7768.01.

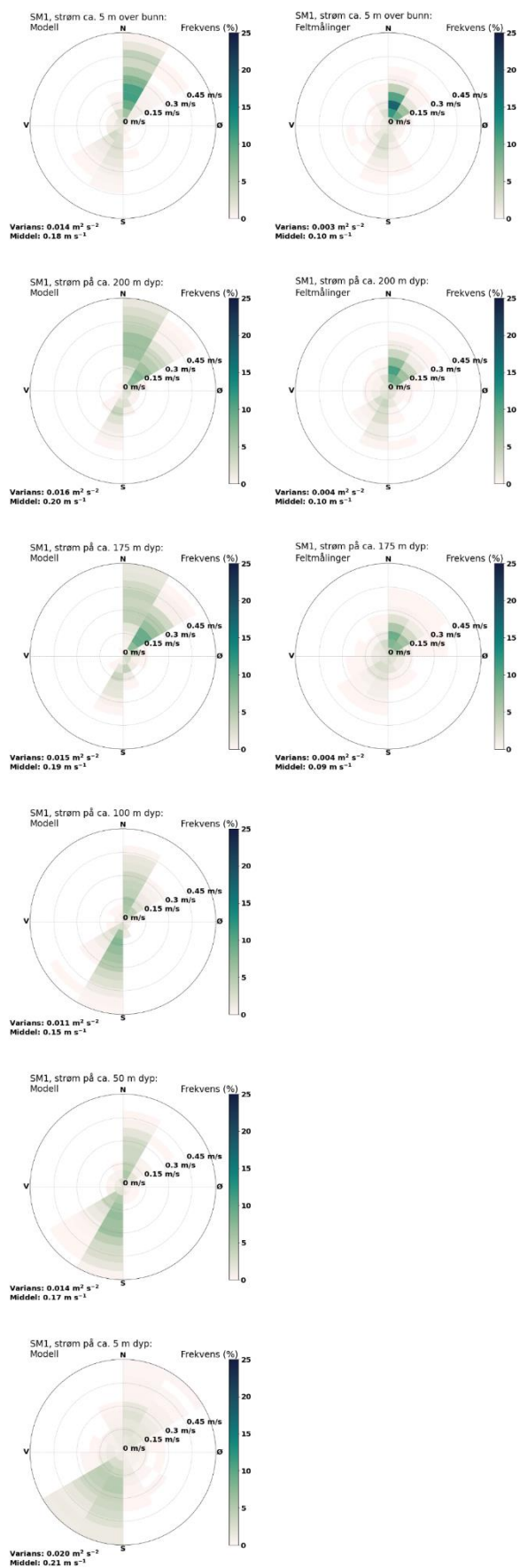
Vedlegg A: Validering av hydrodynamisk modell

Strøm, validering

Stasjon SM1

Resultater fra den hydrodynamiske modellen viser at den gjengir retningen svært bra, sammenliknet med målinger ved stasjon SM1 på den ytre terskelen til fjordsystemet ved Hjartøy (Figur 52; stasjonskart er vist i Figur 5). Strømfarten er imidlertid ganske mye kraftigere i modellen enn i målingene, med dobbelt så stor gjennomsnittsfart.

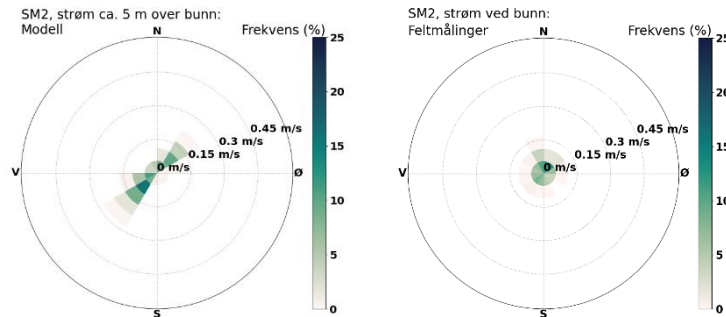
Modellen beregner at den nordgående nettotransporten nær havbunnen snur til sørgående nettotransport nærmere overflaten.



Figur 52: Strømroser for utvalgte dyp fra modell (til venstre) og måling (høyre) fra stasjon SM1. Figurene er tilordnet slik at det dypeste dypet er øverst, og det grunneste dypet er nederst.

Stasjon SM2

Ved stasjon SM2 i dypbassenget til Nordfolda på nesten 300 m dyp var det generelt noe kraftigere strømfart i den hydrodynamiske modellen sammenliknet med målingene (Figur 53; stasjonskart er vist i Figur 5). Det var også noe mer markante retninger i modellen, og mer diffust i målingene.

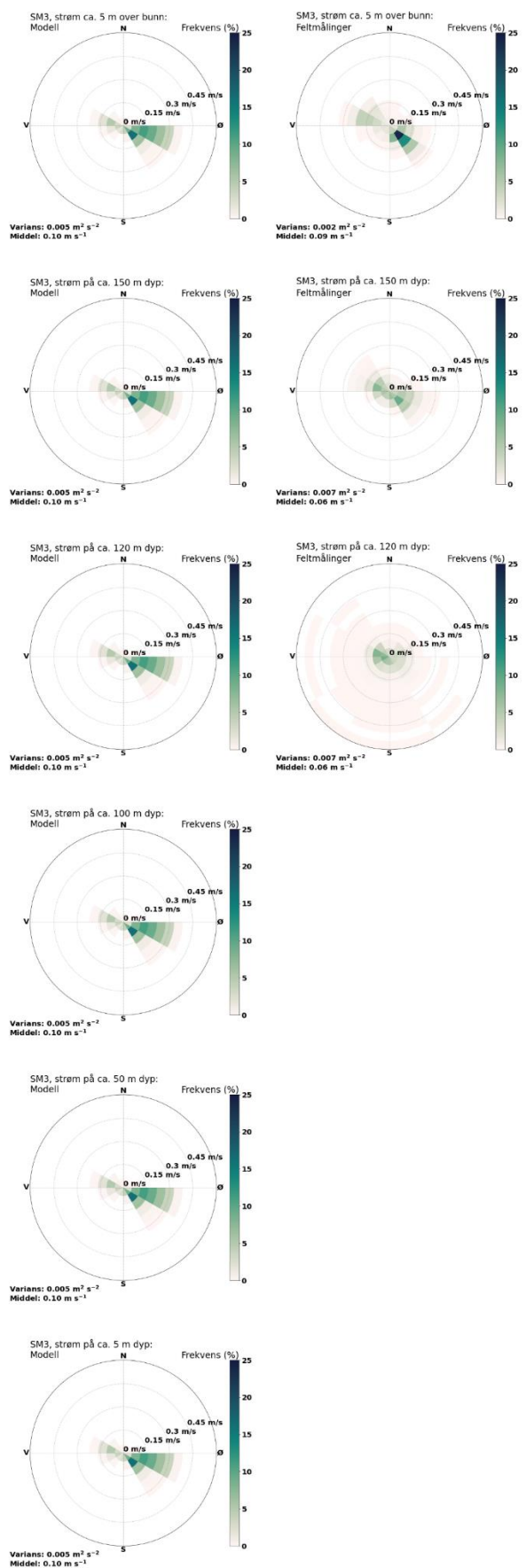


Figur 53: Strømroser for dyp nær havbunn fra stasjon SM2 for modell (til venstre) og måling (høyre) fra stasjon SM2.

Stasjon SM3

Resultater fra den hydrodynamiske modellen viser at den gjengir retningen bra, sammenliknet med målinger ved stasjon SM3 på terskelen til Mørsvikfjorden (Figur 52; stasjonskart er vist i Figur 5). Strømfarten er noe kraftigere i modellen enn i målingene, men er stort sett i samme størrelsesorden. Variansen er noe svakere i modellen enn i målingene, som betyr at det er mer variasjon i verdier og retning i virkeligheten enn i modellen.

Modellen beregner at den østgående nettotransporten nær havbunnen er vedvarende oppover i vannsøylen ved stasjon SM3.

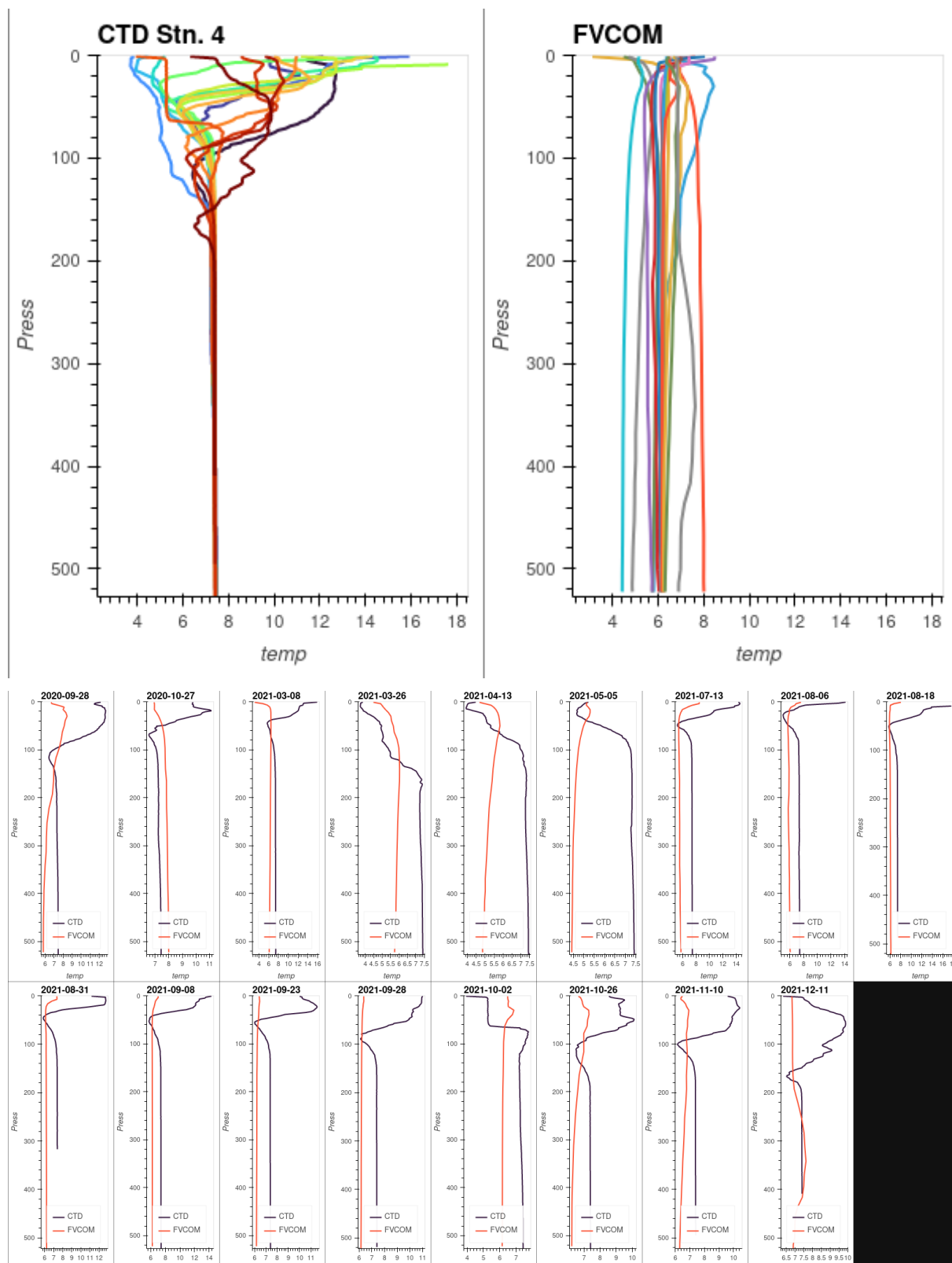


Figur 54: Strømroser for utvalgte dyp fra modell (til venstre) og måling (høyre) fra stasjon SM3. Figurene er tilordnet slik at det dypeste dypet er øverst, og det grunneste dypet er nederst.

Hydrografi, validering

Temperatur

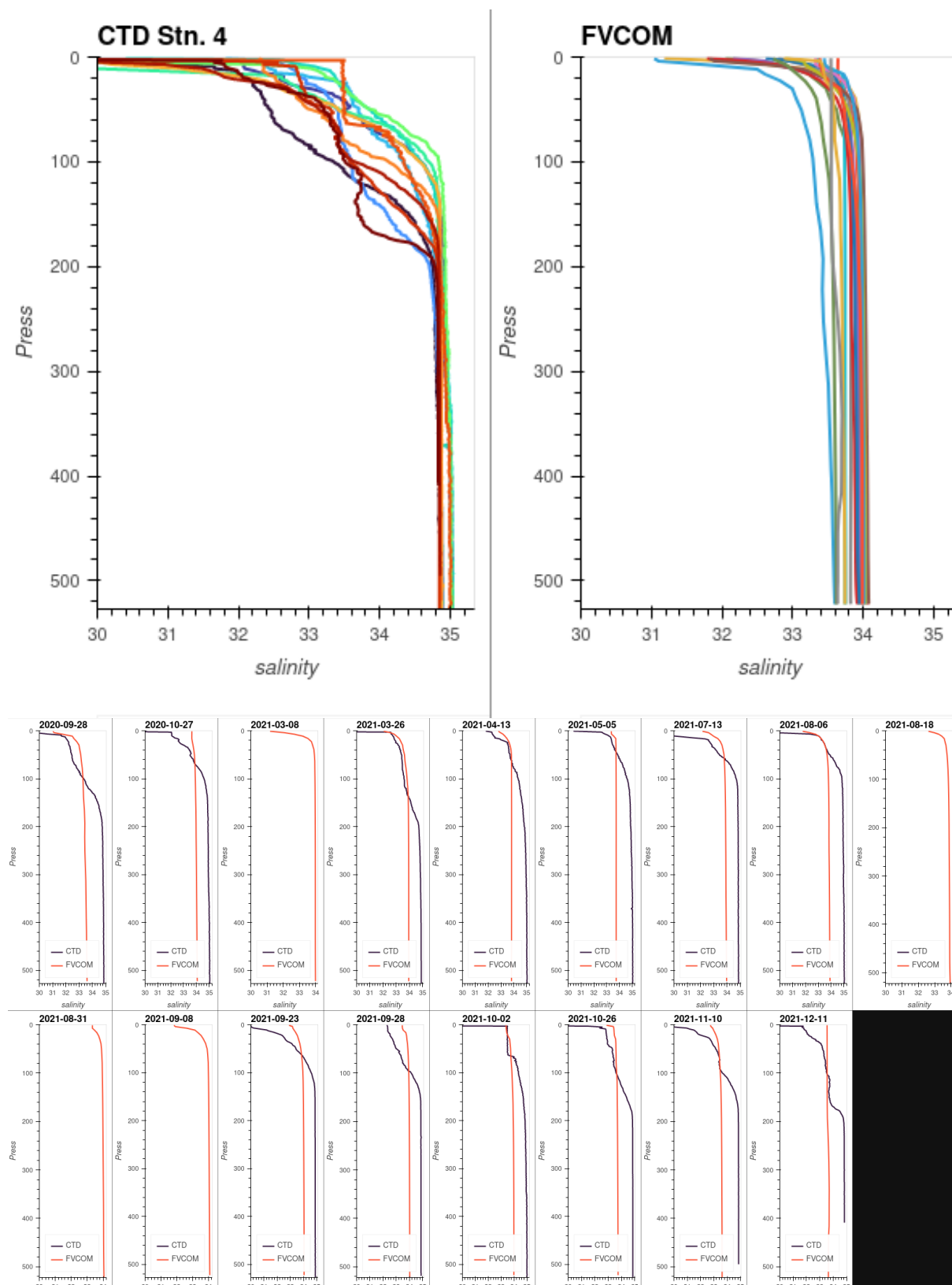
Mens målinger viser stabile forhold under terskeldyp på 180 m (Figur 10), viser modellen for mye utskifting og endring av vannmasser i dypbassengene over tid (Figur 55) sammenliknet med målingene for dypeste stasjon i Mørsvikfjorden (CTD4/SM4).



Figur 55: Vertikale profiler av potensiell temperatur i vannet (grader Celsius) - både fra modellen FVCOM (rød) og feltmålingene (sort).

Saltholdighet

Modellen viser vesentlig større vertikal omblanding i dypnivået mellom 20 og 200 m dyp, sammenliknet med målingene for dypeste stasjon i Mørsvikfjorden (CTD4/SM4).

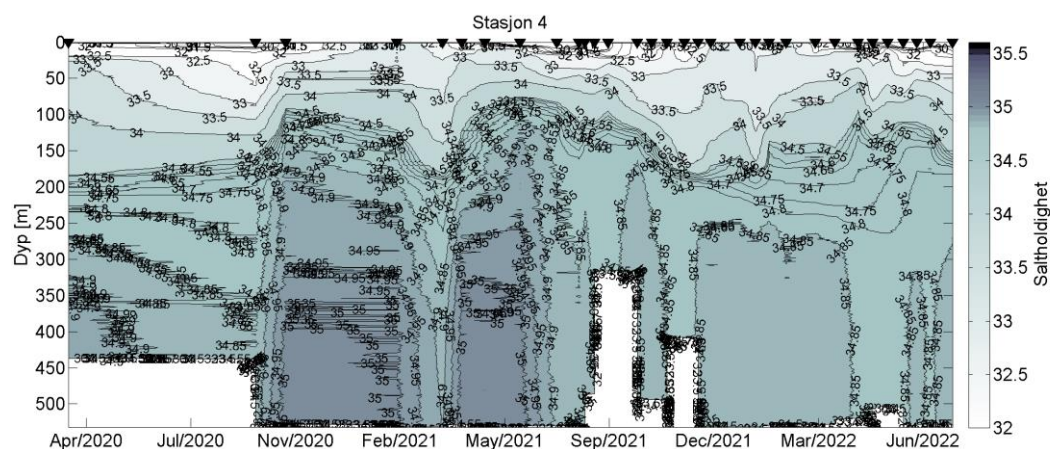


Figur 56: Som i Figur 55, men for vertikale profiler av saltholdighet.

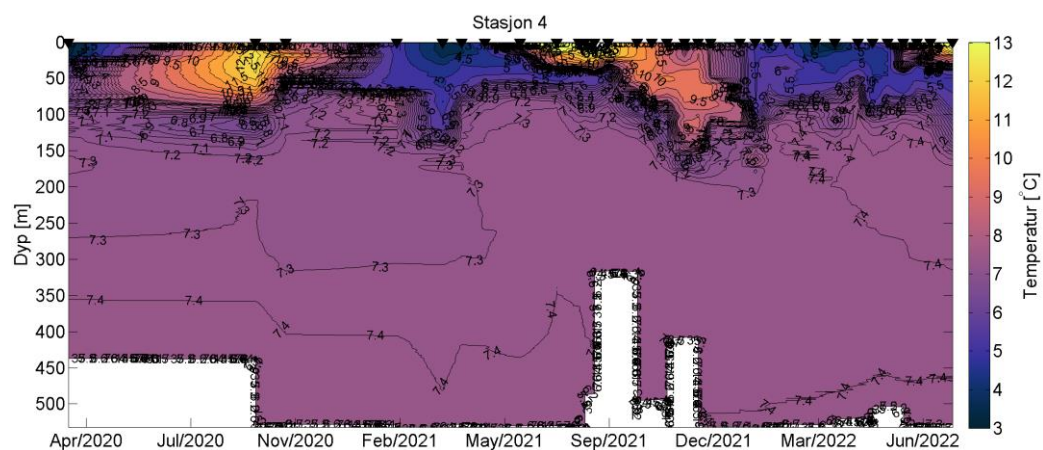
Vedlegg B: Mørsvikfjorden, hydrografimålinger, andre prosjekter

2020 – 2022

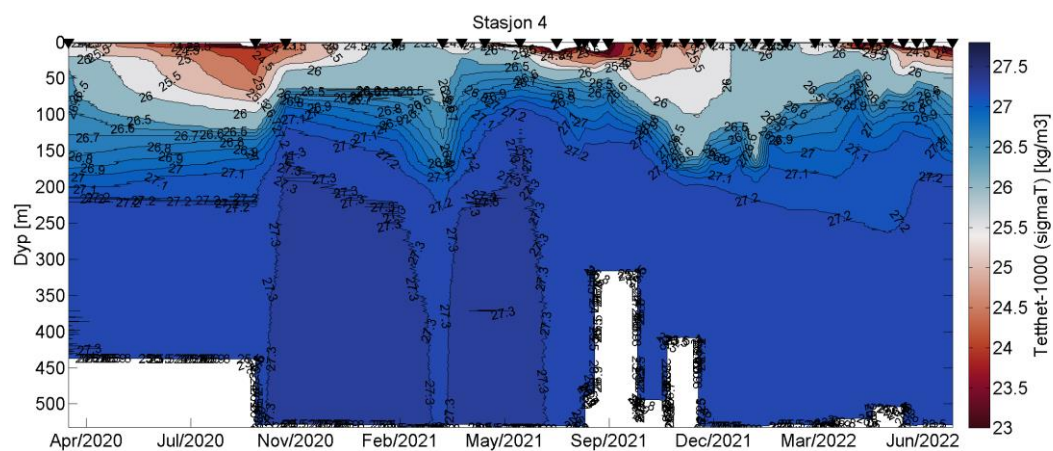
Salt, hovmøller-figur



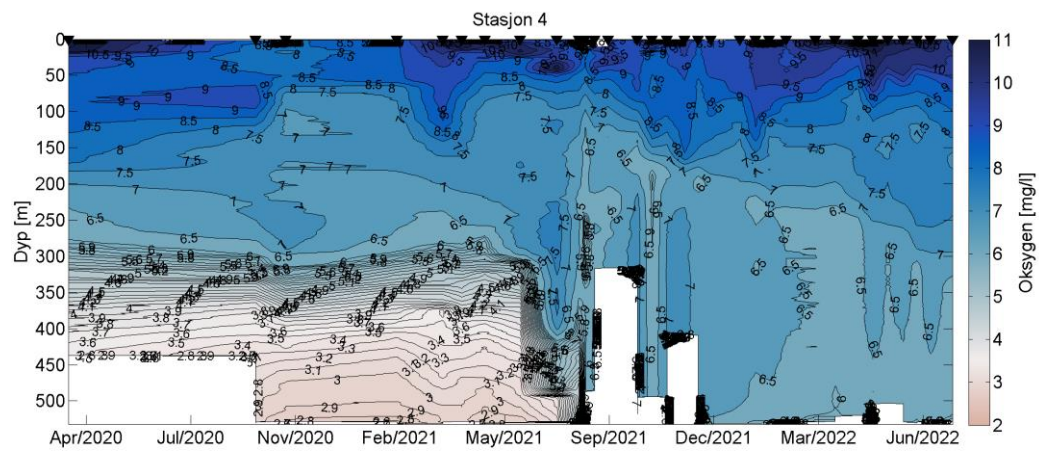
Temperatur, hovmøller-figur



Tetthet, hovmøller-figur

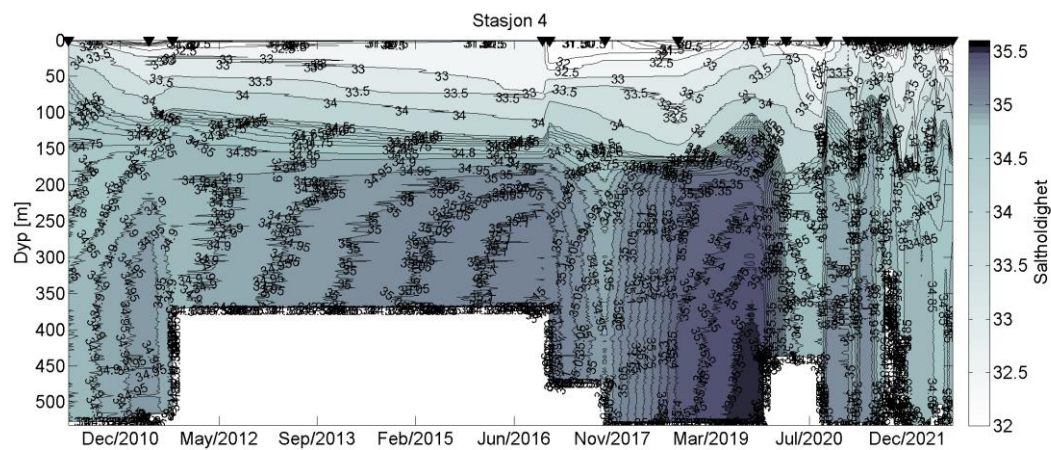


Oksygen, hovmøller-figur

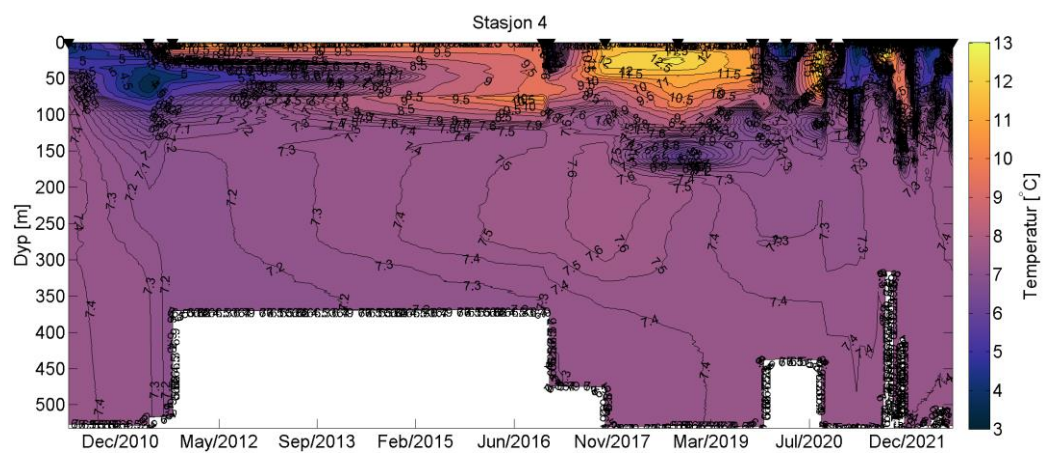


2010 – 2022

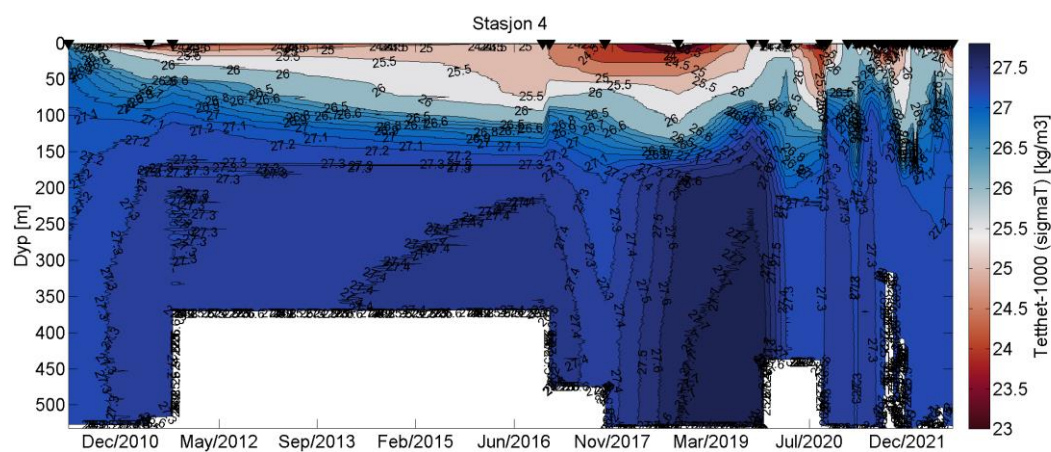
Salt, hovmøller-figur



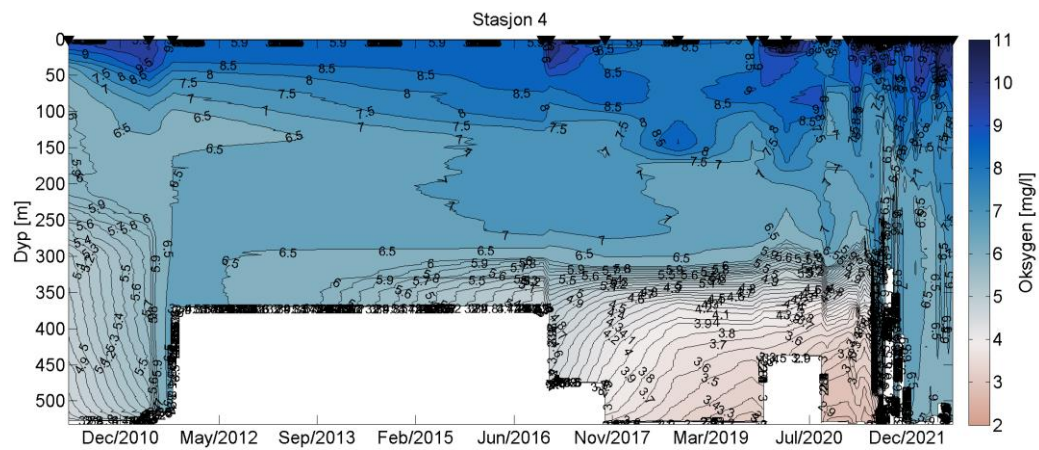
Temperatur, hovmøller-figur



Tetthet, hovmøller-figur



Oksygen, hovmøller-figur



Vedlegg C: Beregninger av oksygenforbruk

Oksygenforbruk vs. oppdrettsvirksomhet, Mørsvikfjorden, Nordland

Gjennom innsamlede hydrografimålinger i dypbassenget til Mørsvikfjorden, spesielt i perioden 2020 – 2022, foreligger det et bra datagrunnlag (se Tabell 2 og Vedlegg B). Dette datagrunnlaget kan potensielt også benyttes for estimering av oksygenforbruk og diffusivitet (Aure & Stigebrandt, 1989). Oksygenforbruket og diffusiviteten kan beregnes når det ikke er økning i saltholdigheten mellom to måletidspunkt på samme måleposisjon, når det er sannsynlig at det ikke har vært omrøring og dypvannsfornyelse mellom tidspunktene. Når tettheten eller saltholdigheten er stabil eller i hvert fall ikke øker mellom to måletidspunkt, så kan man gå ut fra at det ikke har vært utskiftning av vannmasser i dypbassenget til Mørsvikfjorden.

Det bør ikke være for lang tid mellom de to måletidspunktene. Det bør være maksimalt hele eller halve år, da det kan skje en del større eller mindre endringer og delvise utskiftninger i mellomtiden.

Det har i dette prosjektet vært søkelys på perioden mellom 2020 og 2022, hvor det foreligger høy måletetthet i tid mht. hydrografi i dypbassenget til Mørsvikfjorden. Det har også vært fokusert på data som er innhentet av samme instrument, slik at man med stor sannsynlighet unngår endringer pga. ulike kalibreringer av sensorer på ulike instrumenter.

Det er hentet ut og plottet opp verdier for oksygen og saltholdighet for hver 10. meter. Nedenfor er det plukket ut utvalgte dyp som ligger dypere enn terskeldypet på ca. 180 m. 183 m tilsvarer vannsøylen mellom 180 og 190 m, 194 m tilsvarer vannsøylen mellom 190 og 200 m, osv. (Figur 57).

Det er i denne figuren også inkludert månedlige verdier for stående biomasse i anlegget på Martnesvika, som er det eneste aktive oppdrettsanlegget i nærheten av dypbassenget til Mørsvikfjorden i den aktuelle perioden 2020 - 2022. Oppdrettsanlegget Ånderbakk er også plassert like ved det aktuelle dypbassenget, men lå i brakk i denne perioden.

Like nedenfor terskeldypet, på 183 m, er saltholdighetsverdiene veldig fluktuerende, og lite stabile. Det er lite hensiktsmessig å beregne oksygenforbruk her, fordi vannmassene ser ut til å ha blitt helt eller delvis skiftet ut mellom hver måling.

På omkring 254 m er man kommet ned godt under terskeldypet, og det er atskillig sjeldnere og mindre svingninger i saltholdigheten. En tydelig periode med stabil saltholdighet kombinert med høy målefrekvens er mellom november 2021 og mars 2022. Fra november 2021 til januar 2022 er det omtrent maksimal produksjon og stående biomasse i anlegget. Da beregnes det apparente eller netto oksygenforbruket til 0,3 mg/l per måned, som er ca. 0,2 ml/l per måned. Dette er det faktiske oksygenforbruket hvor tilskudd av oksygen gjennom diffusivitet er trukket fra.

Videre nedover i vannsøylen, fra 300 m og ned til havbunnen på ca. 523 m, ser det apparente oksygenforbruket ut til å være noenlunde konstant med dypet, i løpet av perioden mellom november 2021 og mars 2022. Verdien ligger på ca. 0,25 – 0,30 mg/l per måned, som tilsvarer 0,18 – 0,21 ml/l per måned. Det var noe lavere verdi helt ned mot havbunnen (0,21 mg/l eller 0,15 ml/l per måned).

I en utvalgt periode med brakklegging fra 27. april til 5. juli 2022, med null produksjon, samtidig med noenlunde stabil saltholdighet, så øker netto oksygeninnhold i vannsøylen med ca. 0,05 – 0,13 mg/l per måned, tilsvarende 0,04 – 0,09 ml/l per måned. Det må tas forbehold om at det foregår svak omrøring i denne perioden, da det fortsatt er tegn til små økninger i saltholdighet innimellom. Denne oksygenøkningen kan da muligens være tegn på delvis omrøring. Denne økningen kan også være påvirket av diffusivitet. Måleinstrumentets følsomhet er for grov til å kunne avgjøre dette med sikkerhet.

Den vertikale diffusiviteten kan beregnes ved hjelp av tettheten eller saltholdigheten, og er spesifikk for både lokalitet og årstid (Stigebrandt & Aure, 1989). Beregningenes gyldighet er betinget av antakelsen om at det ikke skjer noen omrøring i denne perioden. Den kartlegges når det er stabil saltholdighet eller svakt og jevnt minkende saltholdighet over tid. I denne studien vurderes at usikkerhetene og unøyaktighetene i målingene med den benyttede konduktivitetssensoren til CTD-instrumentet er for store til å beregne diffusiviteten. En gylden regel er at diffusiviteten er ca. 20% av oksygenforbruket (Aure & Stigebrandt, 1989), men med motsatt fortegn da det kommer en økning av oksygen på grunn av diffusjon fra ovenforliggende vannlag.

Oksygenbudsjettet består av selve oksygenforbruket som går med til nedbrytning av det organiske materialet og diffusiviteten som motvirker oksygenforbruket. Til sammen gir dette det apparente eller netto oksygenforbruket.

Oksygenforbruk – Diffusivitet = Apparent oksygenforbruk (netto)

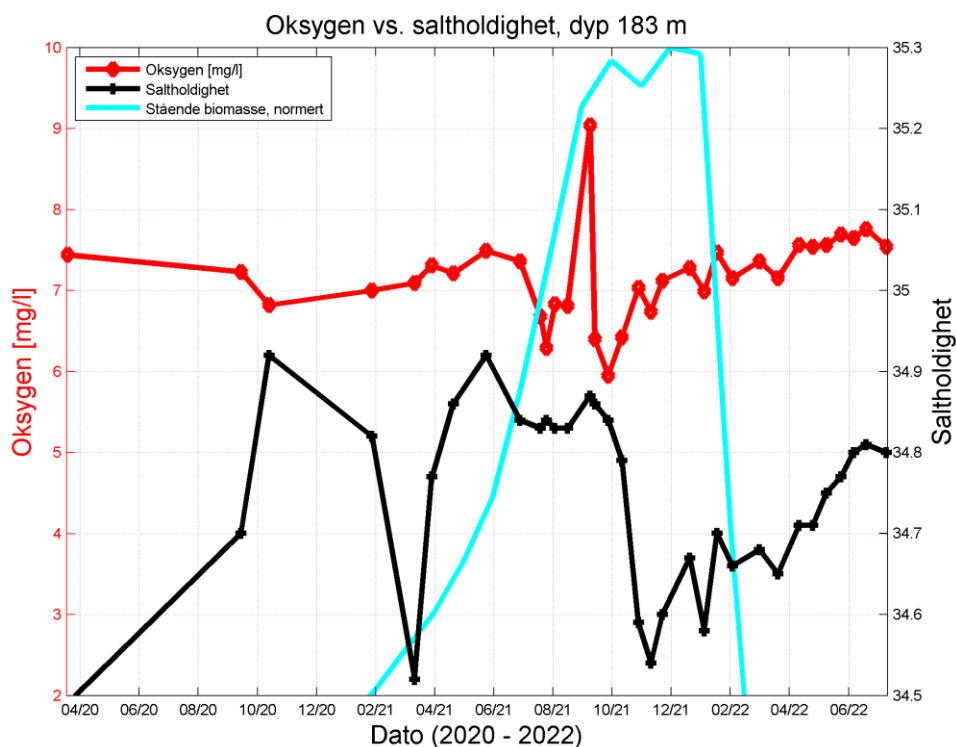
Oksygenforbruket i dypbassenget til Mørsvikfjorden er som gitt ovenfor ca. 1,1 – 1,25 ganger denne verdien. Dette betyr at ifølge denne studien er oksygenforbruket i Mørsvikfjorden på grunn av nedbrytning av organisk materiale omkring 0,3 – 0,4 mg/l per måned eller 0,2 – 0,3 ml/l per måned når det er høy fiskeproduksjon i det nærliggende akvakulturanlegget Martnesvika.

I perioden i løpet av våren 2022 med lav fiskeproduksjon i umiddelbar nærhet til Mørsvikfjordenbassenget, så viser målingene at oksygenverdiene er konstante eller øker litt, i størrelsesorden 0,1 mg/l måned. Det vurderes at det er usikkerhet omkring disse verdiene, pga. mulig delvis omrøring og/eller usikkerhet i målesensoren. I perioden mellom oktober 2020 og februar 2020, hvor saltholdigheten sank marginalt i de ulike dyp mellom de to målingene fra ca. 400 m og dypere, ble oksygenet redusert med 0,01 – 0,05 mg/l per måned.

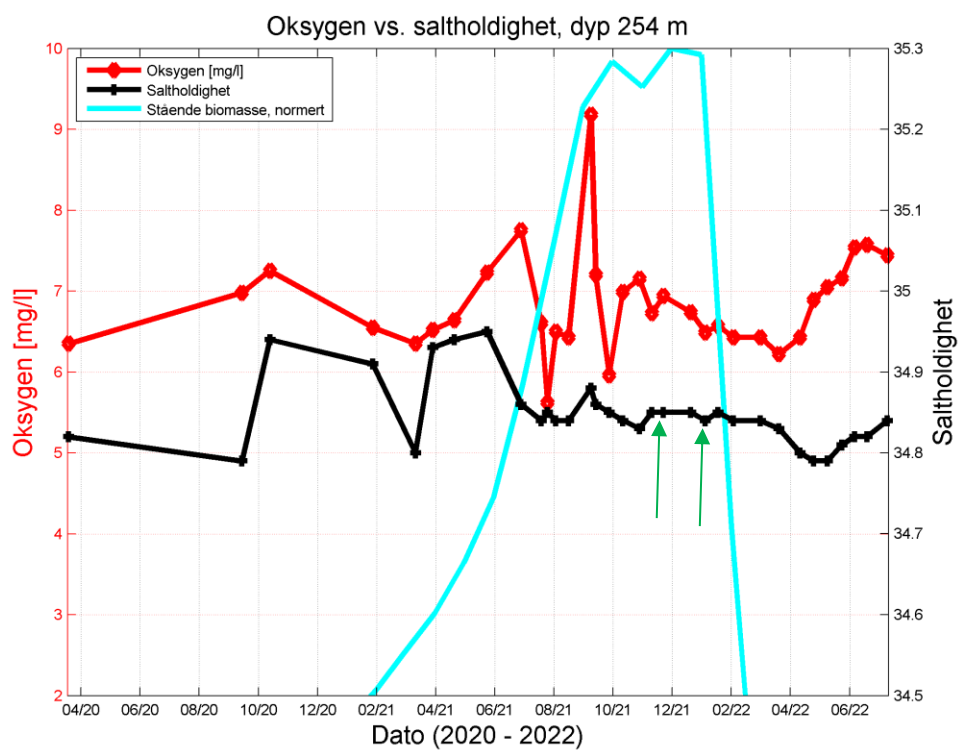
Det anbefales å fortsette måleprogrammet med hyppighet på helst hver måned, og helst med en konduktivitetssensor med høyere nøyaktighet for å kunne med større sikkerhet finne oksygenforbruket, både når det er maksimal produksjon og når det er liten eller ingen produksjon i nærheten av dypbassenget til Mørsvikfjorden.

Tabell 27: Oversikt over oksygen-resultater innhentet fra CTD-målinger i periode med omtrentlig maksimal produksjon og periode hvor det ikke er produksjon i anleggene i nærheten av dybbassenget til Mørsvikfjorden (Ånderbakk og Martnesvika). I periodene det er snakk om, er saltholdigheten stabil mellom målingene.

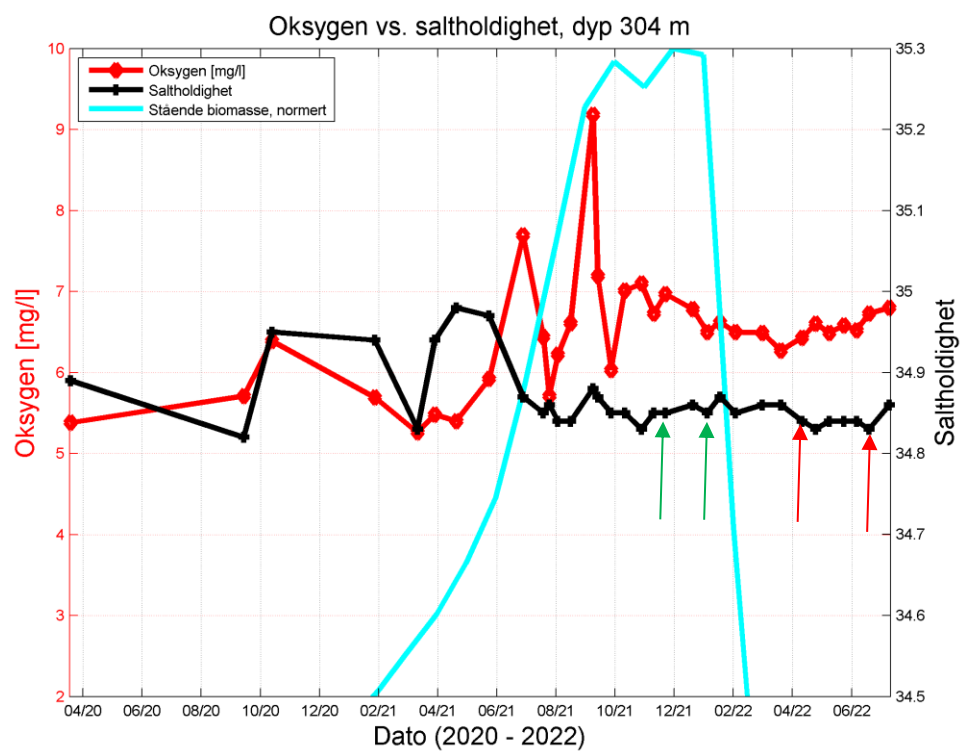
Dyp	Maks produksjon			Ingen produksjon (og en viss tid etter brakklegging)		
	07/12-21	19/1-22	Delta O [mg/l mnd]	27/4-22	05/07-22 (*09/06-22)	Delta O [mg/l mnd]
183 m						
254 m	6,94	6,49	0,3			
304 m	6,97	6,5	0,31	6,43	6,73	-0,13
354 m	6,94	6,51	0,29	6,44	*6,58	-0,09
404 m	6,94	6,55	0,26-	6,43	6,56	-0,06
454 m	6,93	6,52	0,27	6,3	6,46	-0,07
494m	6,84	6,43	0,27	6,17	6,37	-0,09
515 m	6,71	6,33	0,25	6,16	6,27	-0,05
523 m	6,43	6,12	0,21			



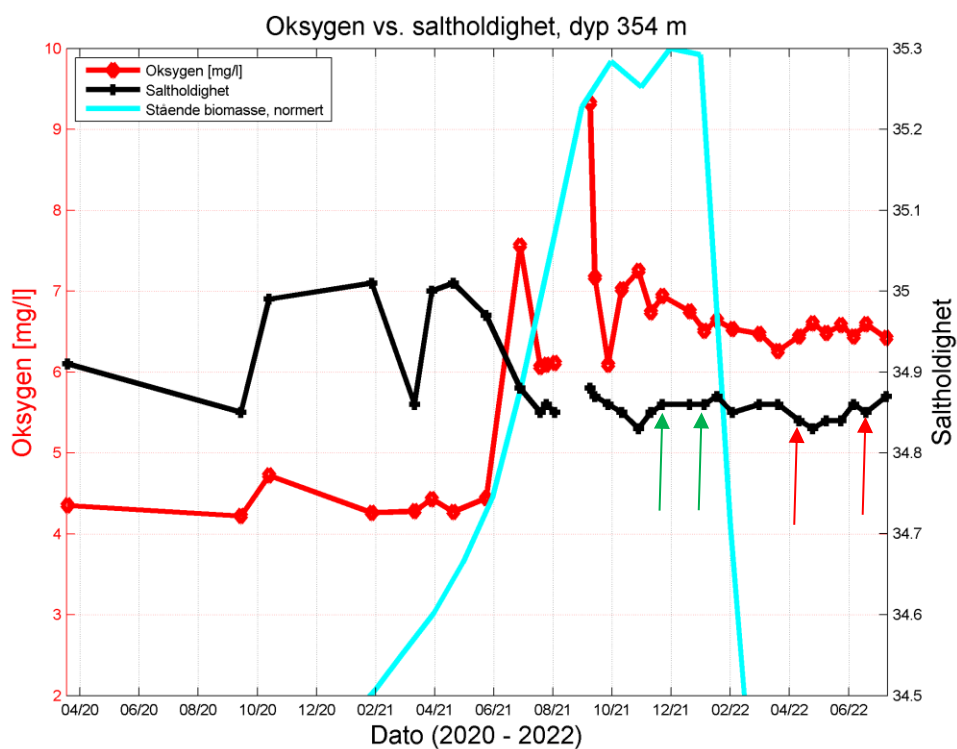
a)



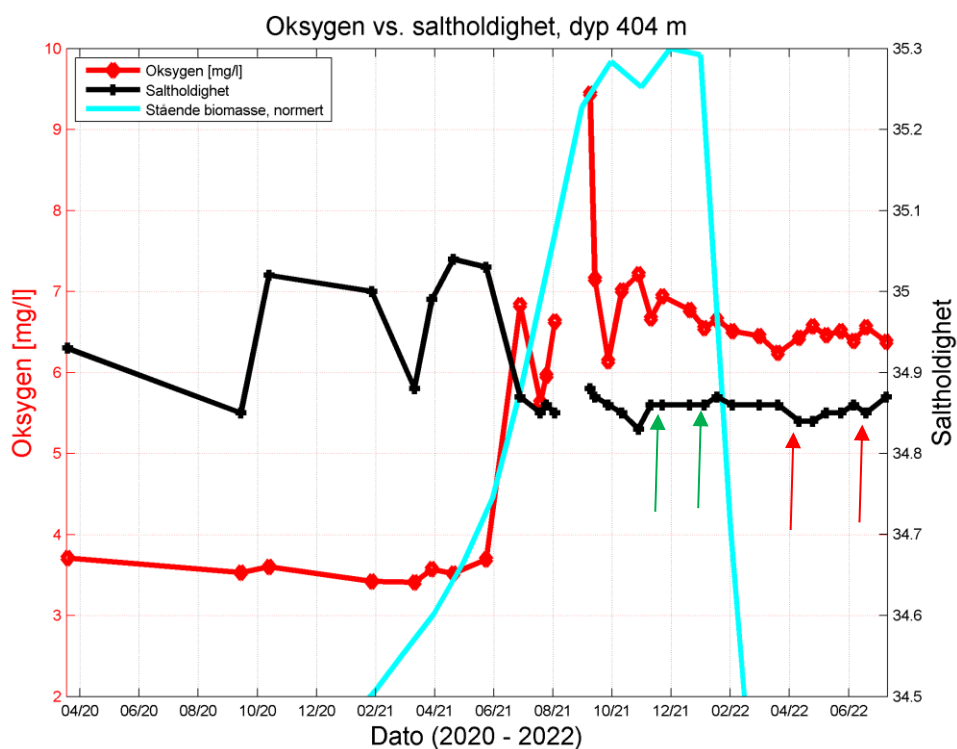
b)



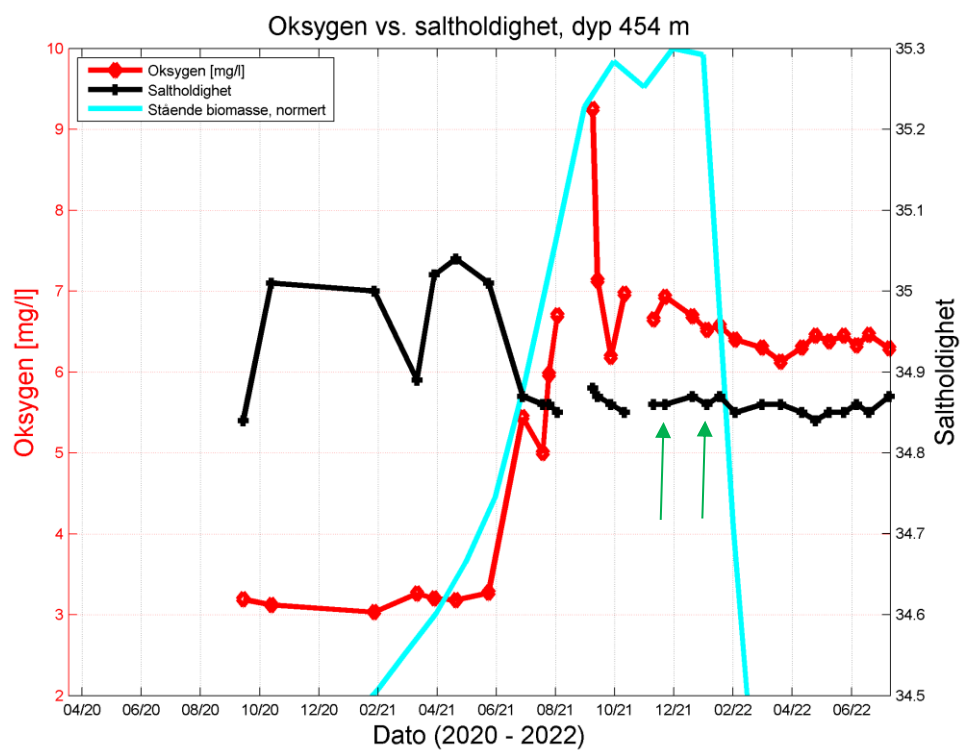
c) -



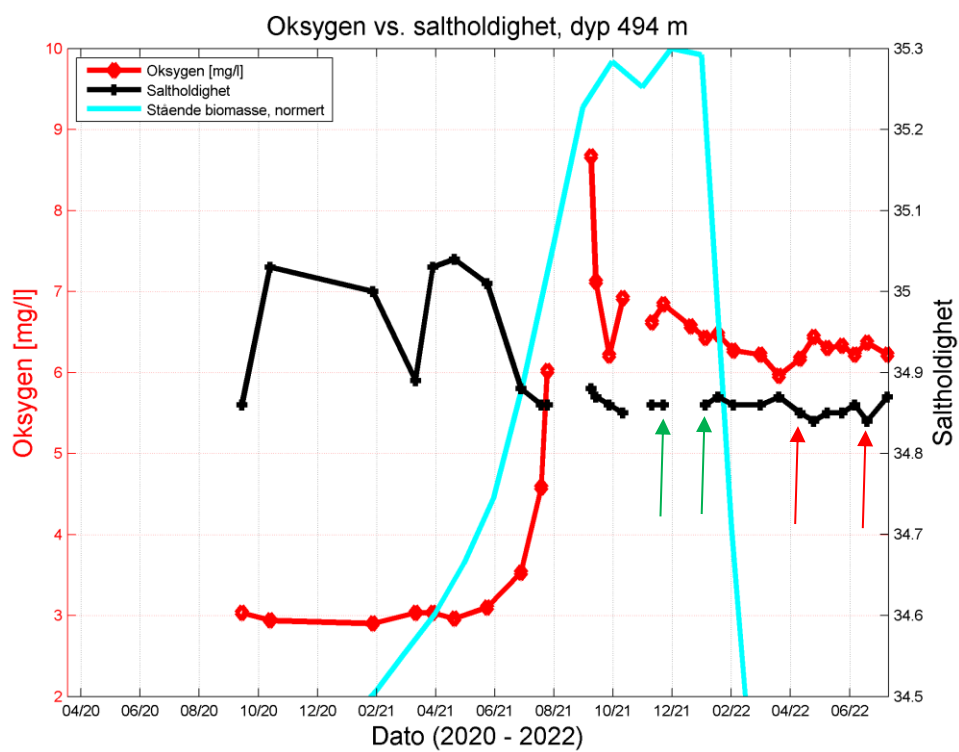
d)



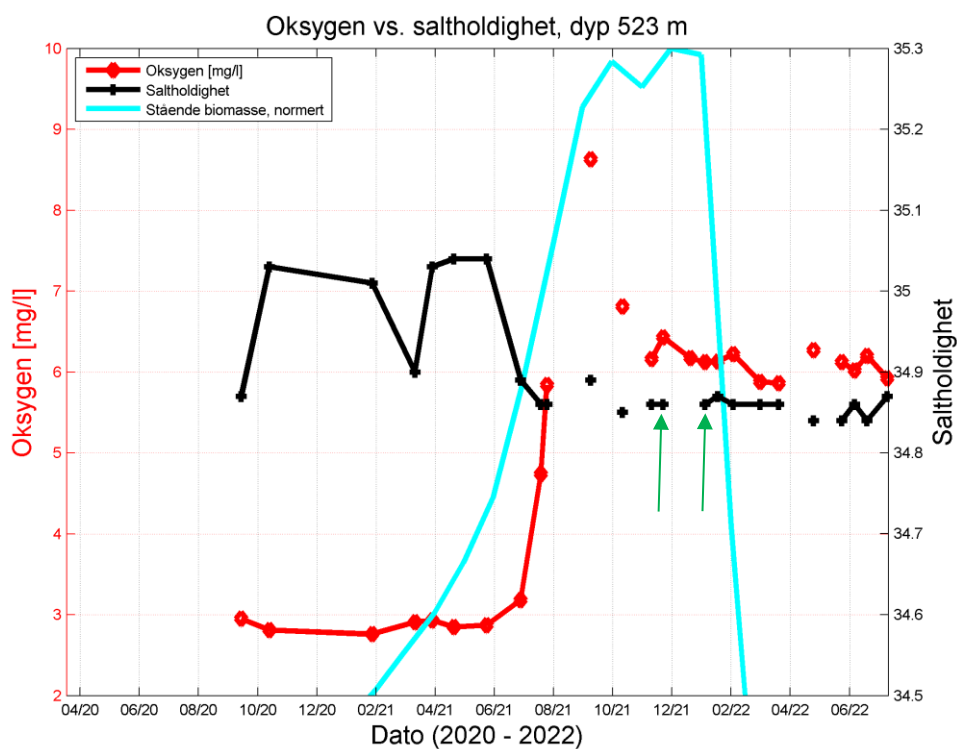
e)



f)



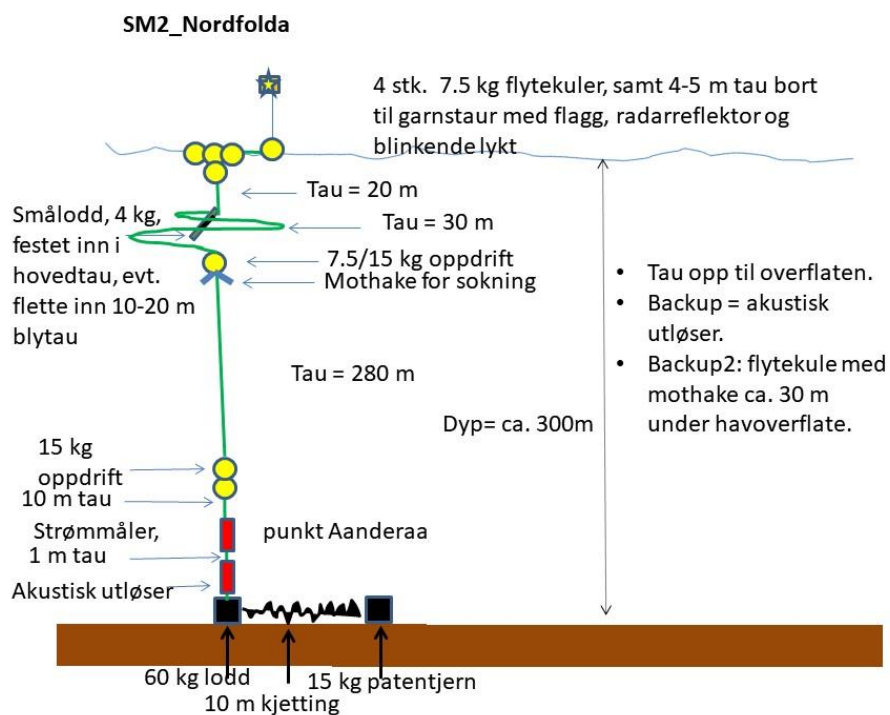
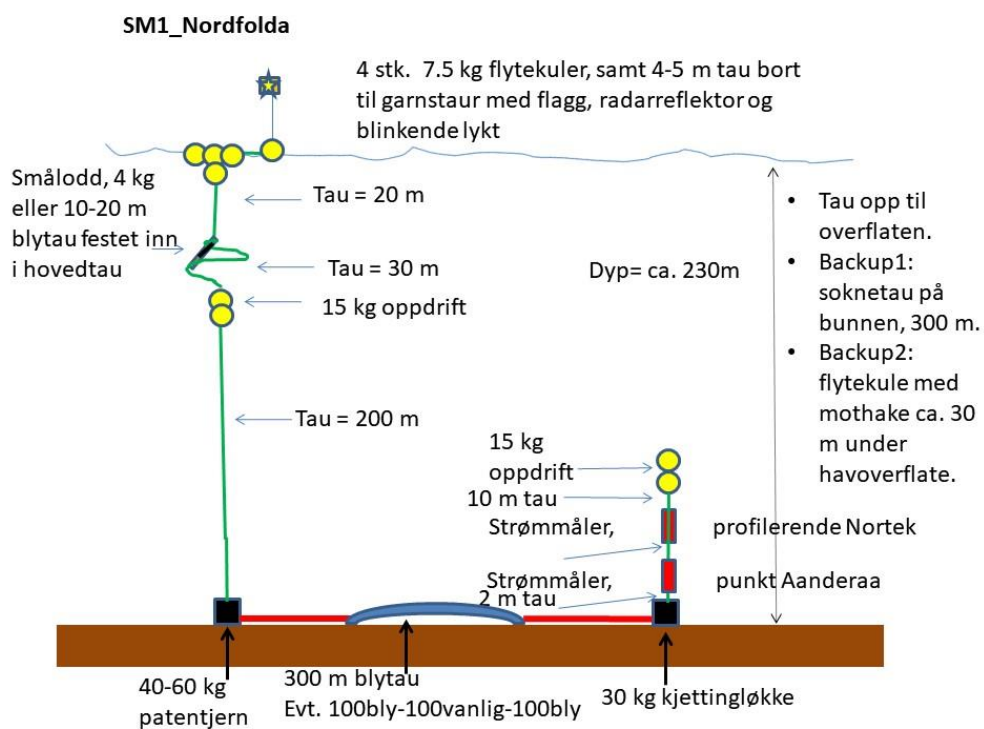
g)



h)

Figur 57: Tidsserier for oksygen (mg/l), saltholdighet og stående biomasse (normert, mellom 0 og maksimal verdi) for perioden 2020 – 2022. Røde piler viser start og slutt for et tidsrom med antatt stagnante vannmasser i dybbassenget til Mørsvikfjorden når det er lite eller ingen fiskeoppdrett ved Martnesvika. Grønne piler viser på samme måte en periode med omtrent maksimal produksjon ved Martnesvika.

Vedlegg D: Riggskisser



4 stk. 7.5 kg flytekuler, samt 4-5 m tau bort til garnstaur med flagg, radarreflektor og blinkende lykt

Smålodd, 4 kg eller 10-20 m blytau festet inn i hovedtau

Tau = 20 m

Tau = 30 m

15 kg oppdrift

Tau = 150 m

Dyp = ca. 180m

- Tau opp til overflaten.
- Backup1: soknetau på bunnen, 220 m.
- Backup2: flytekule med mothake ca. 30 m under havoverflate.

15 kg oppdrift

10 m tau

Strømmåler,

profilerende Nortek

Strømmåler, 2 m tau

punkt Aanderaa

40-60 kg patentjern

220 m blytau

Evt. 50bly-110vanlig-70bly

30 kg kjettingløkke

4 stk. 7.5 kg flytekuler, samt 4-5 m tau bort til garnstaur med flagg, radarreflektor og blinkende lykt

Tau = 20 m

Smålodd, 4 kg, festet inn i hovedtau, evt. flette inn 10-20 m blytau

Tau = 30-40 m

Oppdrift

Mothake for sokning

Tau = 510 m

Dyp= ca. 530m

- Tau opp til overflaten.
- Backup = akustisk utløser.
- Backup2: flytekule med mothake ca. 30 m under havoverflate.

15 kg oppdrift

10 m tau

Strømmåler, 1 m tau

Akustisk utløser

punkt Aanderaa

60 kg lodd

15 kg patentjern

10 m kjetting