

R A P P O R T

Etablering av nytt avløpsreinseanlegg ved Kvasneset i Sula kommune



Måling av straum, modellering av
straumtilhøve og innlagring av
avløpsvatn

Rådgivende Biologer AS 3280



Rådgivende Biologer AS

RAPPORT TITTEL:

Etablering av nytt avløpsreinseanlegg ved Kvasneset i Sula kommune. Måling av straum, modellering av straumtilhøve og innlagring av avløpsvatn.

FORFATTARAR:

Erling Brekke, Gerard Dam₁, Jan N. Langfeldt₂ & Bjarte Tveranger

₁₎ Asplan Viak AS ₂₎ JNL

OPPDRAKGIVAR:

Sula og Ålesund kommunar

OPPDRAGET GITT:

14. mars 2019

RAPPORT DATO:

14. januar 2021

RAPPORT NR:

3280

ANTAL SIDER:

123

ISBN NR:

978-82-8308-790-1

EMNEORD:

- | | |
|---------------|----------------|
| - Storfjorden | - Utslepp |
| - Straum | - Vasskvalitet |
| - Hydrografi | - Miljøverknad |

KONTROLL:

Godkjenning/kontrollert av	Dato	Stilling	Signatur
Bjarte Tveranger	17.11.2020	Forskar	<i>Bjarte Tveranger</i>

RÅDGIVENDE BIOLOGER AS
Edvard Griegs vei 3, N-5059 Bergen
Foretaksnummer 843667082-mva

www.radgivende-biologer.no Telefon: 55 31 02 78 E-post: post@radgivende-biologer.no

Rapporten må ikkje kopierast ufullstendig utan godkjenning frå Rådgivende Biologer AS.

Framsidebilete: Flisnesholmen med straumrigg i framgrunnen. Storfjorden i retning Sykkylven til høgre i biletet. Foto: E. Brekke.

FØREORD

Sula og Ålesund kommunar planlegg å etablere eit nytt avløpsreinseanlegg ved Kvasneset i Sula. Reinseanlegget har ein planlagd framtidig kapasitet på 70.000 *pe*, og det vert m.a. planlagt for ein reinsegrad på 80 – 90 % av organisk stoff (BOF₅). Kravet for sekundærreinseanlegg er 70 % reinsing av BOF₅. Avløpet er planlagt lagt ut i Storfjorden utanfor Kvasneset.

Rådgivende Biologer AS har på oppdrag frå Sula kommune gjennomført straummålingar i eit år og samla inn hydrografidata i sjøområdet utanfor planlagt nytt reinseanlegg ved Kvasnes. Det er gjennomført modellering av utslepp (Visual Plume) som grunnlag for å finne hensiktsmessig utsleppsdjup, utsleppstad og utsleppsarrangement for avløpsvatnet. Innsamla data av straumtilhøve og hydrografi er vidare nytta som input i ein 3D-straummodell (FINEL3d) for ytre Storfjorden/Sulafjorden. Ein har og vurdert miljøverknaden av det planlagde utsleppet.

Feltgranskningar med måling av straum og hydrografi er utført av Rådgivende Biologer AS i perioden mai 2019 – mai/juni 2020. Modellering av avløpet er utført av Siv Ing. Jan N. Langfeldt og modellering av straumtilhøva i fjorden er utført av Asplan Viak AS v/Gerard Dam.

Rådgivende Biologer AS takkar Sula kommune for oppdraget. Me takkar og Gerard Dam (Asplan Viak AS) og Jan N. Langfeldt for godt samarbeid og deira bidrag i prosjektet, samt Sandsøy Sjøservice AS for god assistanse i samband med feltarbeidet.

Bergen, 14. januar 2021

INNHOLD

Føreord	2
Innhald.....	2
Samandrag.....	3
Områdeskildring.....	5
Planlagt Reinseanlegg ved Kvasneset	9
Metode og datagrunnlag	11
Resultat.....	21
Diskusjon.....	49
Referansar.....	60
Vedlegg	61

SAMANDRAG

Brekke, E., G. Dam, J. N. Langfeldt & B. Tveranger 2021. Etablering av nytt avløpsreinseanlegg ved Kvasneset i Sula kommune. Måling av straum, modellering av straumtilhøve og innlagring av avløpsvatn. Rådgivende Biologer AS, rapport 3280, 123 sider, ISBN 978-82-8308-790-1

Det er planlagt etablert eit nytt reinseanlegg ved Kvasneset i Sula kommune, som på sikt skal ta i mot avløpsvatn frå store delar av Ålesund og Sula, berekna til opp mot 70.000 pe i 2050. Denne rapporten omhandlar utsleppet til fjorden, med forslag til anbefalt utsleppsarrangement og vurdering av effektar.

Som bakgrunn for ein del av vurderingane har Rådgivende Biologer AS målt straum på ulike stader i området gjennom eit år, samt at det er teke hydrografiske profilar annakvar månad i fjorden. Data frå desse målingane inngår i vidare modellering, først med Visual Plume direkte for avløpet, med berekning av innlagsdjup og fortynning for utsleppet, og deretter med FINEL3d for vidare spreiling og fortynning i fjordsystemet.

Tilrådd løysing for avløpet er å legge det på 60 meters djup ut mot Storfjorden på sørssida av Kvasneset, i ca. posisjon N 62° 24,980' / Ø 6° 21,730', ca. 280 meter frå land ved Kvasneset. Avløpet vert vidare anbefalt med eitt enkelt røyr utan diffusor (perforering), men med noko innsnevring på enden, fortrinnsvis frå 705 mm til 555 mm. Himmelretning på avløpsleidningen bør vere ca. 200 grader (om lag sørsvest).

Storfjorden/Sulafjorden er ein svær recipient med stor kapasitet og god utskifting. Verknaden av tilførslar av organisk materiale frå utsleppet vil vere heilt ubetydeleg, og det årlege oksygenforbruket frå det planlagde utsleppet er berekna til ca. 0,05 – 0,1 % av oksygeninnhaldet i recipienten. Det er heller ikkje sannsynleg at det vil akkumulere vesentlege mengder organisk materiale rundt avløpet, sidan botnstraumen i området er svært sterk, med over 80 cm/s som høgaste maksfart i alle måleperiodar, og ein snittfart på ca. 12-26 cm/s i dei ulike periodane. Overvaking av botnfauna i nærleiken av avløpet må gjerast med ROV eller tilsvarande, sidan substratet er så grovt at det ikkje vil vere mogeleg å nytte grabb til å ta prøver i området.

Tilførslar av næringssalt vil ha god spreiling og fortynning frå avløpet, og utsleppet sitt bidrag til den totale mengda næringssalt i området langs land frå utsleppet og inn mot Vågane ligg i storleiksorden 1-5 %. Det vil såleis bli vanskeleg å skilje effektar av utsleppet frå naturleg variasjon i fjorden med omsyn til algevekst.

E. coli vil ikkje ha påviseleg negativ påverknad på til dømes badevasskvalitet ved Kvasneset eller innover i Vågen. Størstedelen av tida vil ikkje E. coli kome til overflata, og i dei periodane E. coli kjem til overflata vil den store fortynningsgraden medføre at restkonsentrasjonane av E. coli inne ved land ved Kvasneset vil vere svært låge, med teoretisk opp mot maksimalt 4 – 14 E. coli/100 ml etter to døgn. Dersom ein tek i betraktning normal dødelegheit for E. coli, som truleg vil vere meir enn 90 % i løpet av to døgn i sjøvatn, så kan det kanskje finnast opp mot 1-2 E. coli/100 ml i overflatelaget inne ved land, og då for det meste i kortare periodar vinter/vår. Det betyr det at det i praksis kan verte vanskeleg å påvise E. coli spesifikt frå avløpet inne ved land ved Kvasneset. Konsentrasjonane vil ligge langt under grenseverdien for kva som er rekna som "Godt eigna" for bading og rekreasjon (<100 E. coli/100 ml), og også under grensa for tilstandsklasse I ("meget god") for tarmbakteriar (<10 E. coli/100 ml). Konsentrasjonar opp mot 10 E. coli/100 ml vert rekna som bakgrunnsnivå på grunn av mogeleg førekomst av tarmbakteriar frå fuglar og andre varmlodige dyr i nedslagsfeltet.

Eit utslepp frå reinseanlegget vil i praksis ha om lag same tettleik som ferskvatn, og er dermed lettare enn det omkringliggjande sjøvatnet ved avløpet. Utsleppet vil difor stige oppover i vassøyla som ei søyle eller sky ("plume"), og vil etter kvart bli fortynna og innlagra i vassmassane rundt. Dersom plumen stig heilt opp til overflata får me "gjennomslag". Eit gjennomslag kan bety alt frå at nesten heile plumen legg

seg på overflata til at berre ein liten svært fortynna del kjem til overflata. Det viktigaste som styrer innlagring og gjennomslag er tettleiksprofilen til sjøvatnet, som i all hovudsak er avhengig av kor mykje ferskvatn som er innblanda i øvre vasslag i fjorden. Andre viktige faktorar er straumhastigheita i sjøen og vassmengda i utsleppet, der sterkare straum gir innlagring djupare ned, medan større vassmengd i utsleppet vil gi større oppdrift og innlagring høgare oppe.

Modellering av utsleppet tyder på at utsleppet mesteparten av tida vil bli innlagra nedi vassøyla, med frå ca 84 – 100 % av tida avhengig av m.a. tidsperiode og tilhøyrande tettleiksprofil i sjøen. Gjennomslag vil ikkje førekome med tilsvarande tettleiksprofilar som var i juli og september, medan ein vil ha stort frekvens av gjennomslag dersom tettleiksprofilen er slik som den var i november og mai 2019, med ca. 15 – 16 % av tida. For situasjon som i mars og januar kan ein forvente gjennomslag om lag 4 – 6 % av tida med ein dimensjon på avløpet på 555 mm. Frekvensen med ein profil som i mai 2020 vil vere nede i 0,5 % (3,6 timer i månaden), og ein må i tillegg om lag opp i maksimal vassmengd for i det heile teke å få gjennomslag. Med tanke på at mai normalt er ein relativt tørr månad, er det i praksis lite sannsynleg at ein vil få gjennomslag med ein tettleiksprofil som målt i mai 2020.

Fortynnungsgraden er stor frå avløpet og oppover vassøyla og vidare utover i fjorden. Berekningar med Visual Plume viser at gjennomsnittleg fortynning ved innlagring for dei scenario der ein har gjennomslag er på rundt 80 – 200 gonger. Det betyr også at fortynninga ved overflata mesteparten av tida truleg vil vere noko større enn dette, sidan det for det meste berre er toppen av plumen som kjem opp (med unntak av ein novembersituasjon). For å kome inn under kravet til "god" badevasskvalitet, som er <100 E. coli/100 ml, er det naudsynt med ein vidare fortynnungsgrad på minst 34 gonger ved det tilfellet der ein har berekna høgast konsentrasjon av E. coli i overflata (november-profil). Modellering med FINEL3d viser ein vidare fortynnungsgrad på minst 800 gonger inne ved land ved Kvasneset, og kjem ein litt inn i Vågen aukar fortynnungsgraden ganske raskt til over 1500-2000x. Konsentrasjonen av E. coli vil følgjeleg vere langt under grenseverdien for "god" badevasskvalitet i heile området langs land og innover i Vågen. FINEL3d-modelleringane viser at dei høgaste konsentrasjonane av stoff frå utsleppet i hovudsak vil kome langs land frå Kvasneset til Sunde, men eit scenario med storm frå sørvest vil gi høgast konsentrasjonar i området inn mot Flisnesholmen og lite inn mot land ved Kvasneset.

OMRÅDESKILDRING

Kvasneset ligg på nordsida av Storfjorden i Sula kommune. Storfjorden er vel 430 meter djup på høgde med Kvasneset, og største djup i ytre del av fjorden er 448 meter i følgje sjøkart (**figur 1**). Fjorden er om lag like djup heile vegen vestover og etterkvart nordover gjennom Sulafjorden og ut mot Breisundet vest for Ålesund. I Breisundet vert det gradvis litt grunnare mot vest, opp til hovudterskelen på ca. 254 m djup vest for Godøya. Herifrå er djupna mellom ca. 260-270 meter eit godt stykke utover i Breisunddjupet ut mot Norskehavet.

Frå Kvasneset/Hjørundfjorden og innover går botnen i Storfjorden litt oppover mot ein "terskel" på vel 400 m djup på høgde med Sykkylvsfjorden. Vidare innover vert det gradvis djupare igjen, og største djup er 686 m ved Dyrkorn. Det er framleis over 400 meter djupt eit stykke inn i høvesvis Norddalsfjorden og Sunnylvsfjorden.

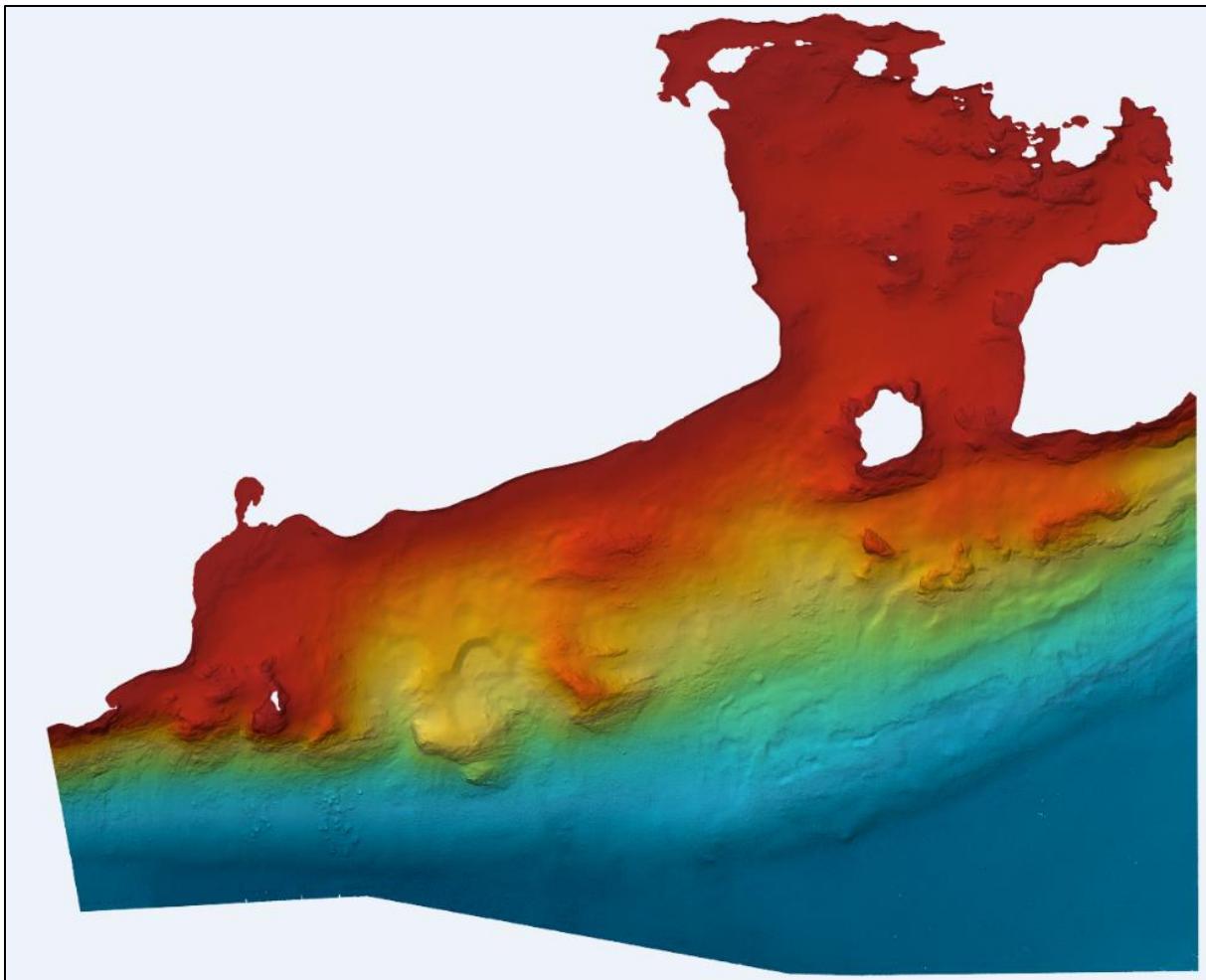


Figur 1. Oversiktskart over delar av Storfjorden og Sulafjorden. Aktuelt område ved Kvasneset er markert med raud prikk. Nokre djupner er markert, raude tal viser "terskeldjup".

Nordover inn mot området mellom Kvasneset og Flisnesholmen går Storfjorden over i Flisfjorden, som går vidare nordover gjennom Vågane og dreiar vest gjennom det smale og grunne Vegsundet (**figur 2**). Djupna i Vågane er for det meste mellom ca. 20 og 45 meter, medan Vegsundet for det meste er 4-5 meter djupt. Frå Kvasneset og sørover er botnen relativt jamt skrånande ned mot ca. 400 meters djup i Storfjorden (**figur 3**). Tilstanden i vassmiljøet i Sulafjorden - Storfjorden er klassifisert som «God», jf. vann-nett.



Figur 2. Oversiktskart over Kvasneset, Flisnesholmen og omkringliggende sjøområde (frå <https://a3.kystverket.no/kystinfo>).



Figur 3. Relieffkart over djupnetilhøva i området Sunde-Kvasneset-Flisneset. Opplodding og kart er utført av Norkyst AS (tidlegare Wise Survey).

VOLUM AV RESIPIENTEN

På grunn av dei djupe tersklane frå Sulafjorden via Breisundet og utover mot Norskehavet, er det ikkje noko openberr naturleg avgrensing av resipienten i Storfjorden. Dersom ein tek utgangspunkt i djupner og topografi kan eit forslag til avgrensing vere frå inngangen av Sulafjorden ved Kvitneset/Eltraneset og fram til utløpet av Sykkylvsfjorden mot Storfjorden (**figur 4**). Djupna i Sulafjorden/Storfjorden er svært jamn med mellom 436 og 448 meter i heile fjorden inn til samløp med Hjørundfjorden, der botnen går litt oppover mot ein "terskel" på vel 400 m djup på høgde med Sykkylvsfjorden. Lengda av dette fjordavsnittet er 29 km gjennom djupålen.



Figur 4. Utsnitt av Storfjorden og Sulafjorden som er brukt til volumbereking. Areal av 200- og 400 meters kotene er markert, samt aktuelt utsleppsområde (raudt punkt). Kartgrunnlaget er henta frå <https://a3.kystverket.no/kystinfo>.

For å få eit inntrykk av storleiken til resipienten er det gjort ei enkel berekning av volumet i dette fjordavsnittet. Det er kun berekna volum for hovudløpet, og ikkje innover i sidefjordane, som Vartdalsfjorden eller Hjørundfjorden (jf. **figur 4**). Ved hjelp av polygonfunksjon på Kystverket sine kartsider (<https://a3.kystverket.no/kystinfo>) er det målt areal av fjorden ved overflata, samt ved 200 og 400 meters kotane (**tabell 1**). Det er antatt jamt avtakande breidde mellom kotane, og eit gjennomsnittleg maksimaldjup på 430 meter gjennom fjordavsnittet. Dette gir eit berekna volum for hovuddelen av resipienten på ca. 36 km³ (**tabell 1**). Dette tilsvarar 36 milliardar m³, eller 36.000 milliardar liter.

Tabell 1. Berekning av volum i Storfjorden/Sulafjorden, frå inngangen til Sulafjorden ved Kvitneset/Eltraneset og inn til terskelen på høgde med Sykkylvsfjorden/Magerholm. Verdiane baserer seg på arealberekingar på djupnekotekart henta frå <https://a3.kystverket.no/kystinfo> (jf. **figur 4**).

DJUP km	AREAL UNDER DJUP km ²	VOLUM UNDER DJUP km ³
0	123	21,45
0,2	91,5	14,10
0,4	49,5	0,74
0,43	0	0
Samla		36,29

PLANLAGT REINSEANLEGG VED KVASNESET

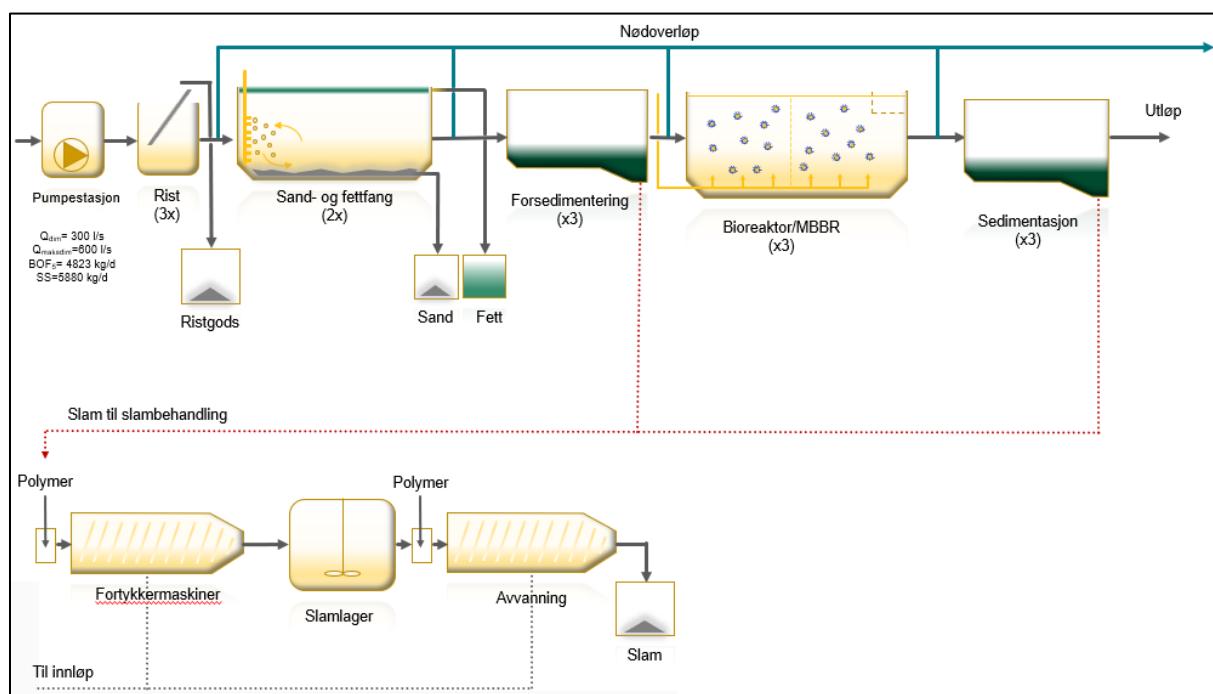
Det er planlagt etablert eit reinseanlegg for området Ålesund-Spjelkavik-Sula med framtidig kapasitet på 70.000 *pe*. Førebels er ikkje nøyaktig plassering eller design av anlegget endeleg fastsett, men det er lagt opp til at avløpet skal gå til Storfjorden utanfor Kvasneset. Definisjonen av 1 *pe* er gitt i NS 9426:

én personekvivalent er den mengden organisk stoff som brytes ned biologisk med et biokjemisk oksygenforbruk over fem døgn (BOF_5) på 60 gram oksygen per døgn. Avløpsanleggets størrelse i *pe* beregnes på grunnlag av største ukentlige mengde som går til renseanlegg eller utslipppunkt i løpet av året, med unntak av uvanlige forhold som for eksempel skyldes kraftig nedbør

Anlegget er planlagt med sekundærreinsing, som inkluderer biologisk reining i tillegg til mekanisk reining. Sekundærreinsing er eit krav ved utslepp større enn 10.000 *pe*, og det inkluderer krav om at mengda organisk stoff (rekna som BOF_5) i avløpsvatnet skal reduserast med minst 70 %. Planlagt reinseanlegg ved Kvasneset legg opp til ein reinsegrad på ca. 80-90 % av BOF_5 (tabell 2), med ambisjon om rundt 90 % reining i ein normalsituasjon.

Tabell 2. Planlagt reinseeffekt ved sekundærreinsing ved Kvasneset.

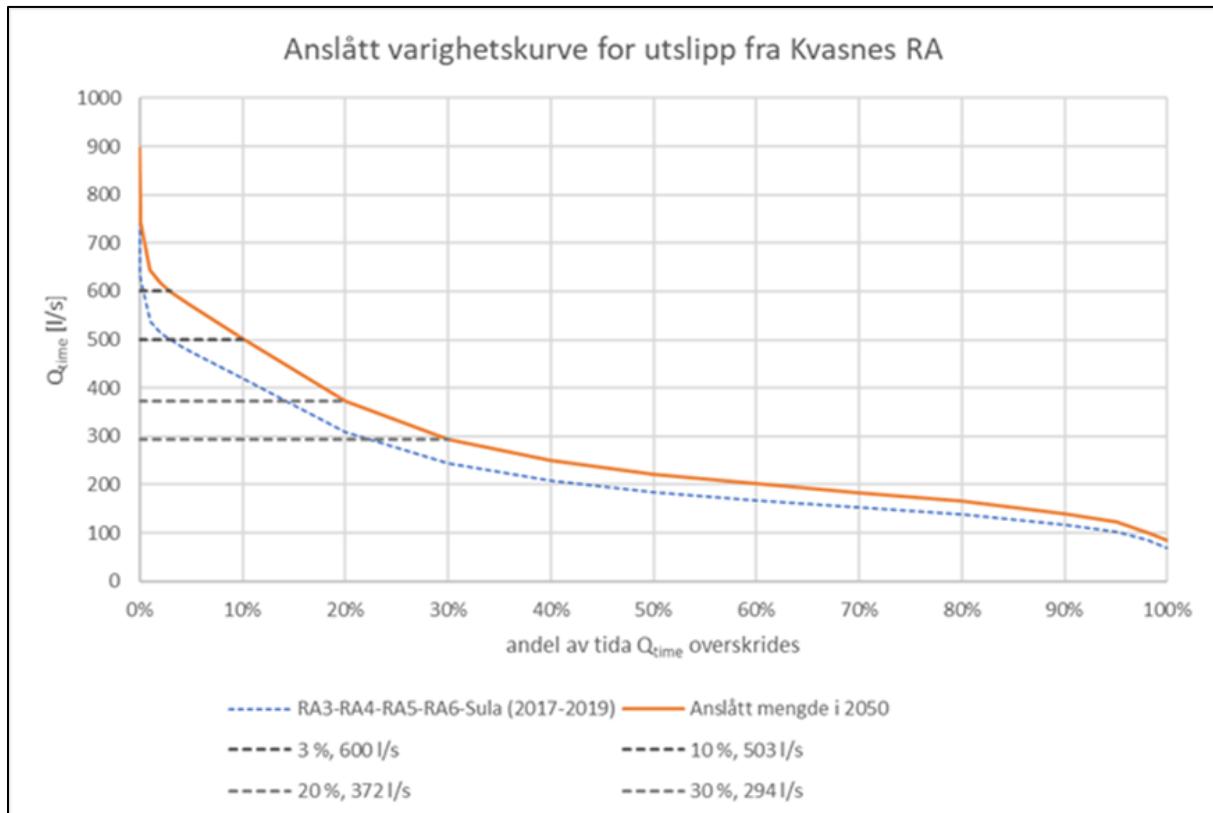
Sekundærreinsing	Suspendert stoff (SS)	Organisk stoff (BOF_5)	Fosfor (Tot P)	Nitrogen (Tot N)
Reinseeffekt (%)	80-90	80-90	25-45	20-35
Restkonsentrasjon (mg/l)	15-30	15-35	2,5-3,5	20-25



Figur 5. Prinsippskisse for aktuelt reinseanlegg ved Kvasneset.

Mengda av avløpsvatn gjennom anlegget vil variere med m. a. nedbør. Basert på tal frå dei eksisterande reinseanlegga er det laga ei varigheitskurve som viser kor stor del av tida ein kan forvente vassmengd over eit gitt nivå (**figur 6**). Til dømes vil det med dagens nivå gå ca. 310 l/s eller meir gjennom anlegget i 20 % av tida. Det er også laga ei kurve for 2050, der ein har lagt til eit anslag for auka tilrenning. Ut frå denne vil det 20 % av tida i 2050 gå meir enn 372 l/s gjennom anlegget (**figur 6**).

Som grunnlag for modellering av utsleppet (innlagring og fortynning) er det nytta noko ulike verdiar av vassmengd. Det er lagt til grunn "middel" og "maks" vassmengd på høvesvis 300 og 600 l/s, noko som anslagsvis vil førekommme om lag 30 % og 3 % av tida i 2050 (**figur 6**). Nokre av dei tidlege modelleringane har eit litt anna grunnlag, med høvesvis 324 og 650 l/s som "middel" og "maks" vassmengd.



Figur 6. Varigheitskurve for utslepp ved Kvasneset basert på eksisterande reinseanlegg (blå stipla linje) og framtidig anslag for 2050 (oransje linje). Figur motteken frå Asplan Viak.

METODE OG DATAGRUNNLAG

HYDROGRAFI

Det vart teke hydrografiske profilar av temperatur, saltinnhold, tettleik samt oksygen gjennom heile vassøya ned til botn med ein SAIV STD/CTD modell SD204. Profilar vart teke utanfor Kvasnes ved planlagt utsleppspunkt 7 gonger med rundt to månaders mellomrom i perioden 14. mai 2019 – 27. mai 2020 (jf. **figur 8**). Posisjon er om lag som for straummåling (**tabell 3**) eller litt lenger ut på djupare vatn. Det vart i tillegg tatt to hydrografiprofilar ned mot det djupaste i Storfjorden 26. mars og 27. mai 2020, høvesvis i ca. posisjon N $62^{\circ} 23,527'$ / Ø $6^{\circ} 20,804'$ og N $62^{\circ} 23,791'$ / Ø $6^{\circ} 21,646'$. Det var mykje avdrift på båten ved målinga i mai, og posisjonen kan såleis vere noko unøyaktig. Ved målingane i mai – september vart det også målt klorofyll a (fluorescens) med sonden.

STRAUMMÅLING

Det er målt straum i området ved Kvasneset med to ulike riggar. Ein rigg (Hovudrigg) bestod av to målarar, der nedste målar var festa ca. 1,5 – 2 meter over eit betonglodd på 100-150 kg. Deretter var det ca. 35 meter med 10 mm tau opp til øvste målar som stod på ca. 17 meters djup. Ca. 8 meter over denne var det festa fire trålkuler for oppdrift, og deretter eit slakt tau til ei blåse og ein blink i overflata (**figur 7**). Den andre riggen bestod av ei nedsenka botnramme av syrefast stål, der målaren vert plassert så nær botnen som praktisk mogeleg (**figur 7**). Innfestinga er konstruert etter gyro-prinsippet, slik at målaren vil stå i lodd sjølv om riggen vert ståande på noko skrånande botn. Til ramma var det festa eit par meter syrefast kjetting og deretter nokre titals meter synketau, anten til land eller til eit lodd med blåse til overflata, for å kunne hente opp att ramma. Alle målarane målte straum oppover gjennom vassøya.



Figur 7. Prinsippskisse for straumrigg (t.v.) og botnramme klargjort for utsett (t.h.).

GENERELT OM MÅLEINSTRUMENT

I prosjektet er det nytta Aquadopp Profiler 400 kHz straummålarar frå Nortek. Desse måler straum ved hjelp av høgfrekvente akustiske signal. Signalet vert sendt ut i tre aksar, kvar med 15° vinkel i høve til instrumentet, og partiklar i vatnet reflekterer signalet. Når ein antar at partiklane har same fart og retning som vatnet kan straumfart og -retning bereknast på bakgrunn av doppler-effekten. Ved hjelp av innebygd kompass kan retninga på straumen relaterast til himmelretning. Straummålarane har trykksensor som registrerer djup, og tiltsensor som registrerer hellinga til målaren, samt temperatursensor. Målarane har ein "blanking distance" på 1 meter, og vil såleis måle straum frå 1 meter frå instrumenthovudet og utover (oppover). På grunn av vinkelen til lydstrålen vil ein få "falske ekko" mot vassoverflata, noko som typisk gjer at ein ikkje får straumdata for dei øvste ca. 10 % av måledjupet. Dersom ein målar er plassert på 50 m djup vil ein dermed ikkje få data for dei 4-5 øvste metrane av vassøyla. Sjå <http://www.nortek-as.com/> for meir informasjon om straummålarane.

Konfigurering

Cellestorleik har vore sett til 2 meter for målaren i botnramma og Hovudrigg nede, og 1 meter for Hovudrigg opp. Ein mindre cellestorleik vil gje større oppløysing i ulike djupnelag, men kan få færre godkjente målingar dersom det er lite partiklar i sjøen for eksempel vinterstid. Intervalltid for målingane var 10 minutt. I praksis sender då målaren ut mange signal (typisk 60 "ping") konsentrert i eitt minutt, og er deretter passiv i ni minutt før neste måling. Dei to målarane i Hovudriggen har såleis vore starta med ca. 5 minutt mellomrom, for å ikkje få interferens mellom dei ulike instrumenta i den aktive perioden. Styrkenivå for utsendt signal har gjennomgåande vore sett til "High –".

UTPLASSERING

Det er målt straum på i alt fire ulike stader i løpet av prosjektperioden. Ein rigg med to målarar (hovudrigg) har stått på tilnærma same staden heile måleperioden frå mai 2019 til mai 2020, ca. i posisjon N 62° 25,055' / Ø 6° 22,148' (**figur 8**). Riggen vart teken opp ca. annakvar månad for avlesing av data og byte av batteri, og deretter sett ut i om lag same posisjon, innanfor eit slingringsmonn på 5-15 meter.

Ei botnramme med ein profilerande målar har vore utplassert på tre ulike stader, først i Vegsundet om lag midt i sundet ved det smalaste like aust for brua, deretter i planlagt område for avløp nokre periodar, samt i sundet mellom Kvasneset og Flisnesholmen (Vågane) (**tabell 3, figur 8**). Ved utsettet 21. januar 2020 viste det seg at botnramma hadde velta på sida ved utplassering. Dette vart oppdagat ved inspeksjon med ROV etter ca. ein månad, og det vart gjort forsøk på å rette opp ved hjelp av ROV. Dette lukkast ikkje, og på grunn av mykje dårlig vær i perioden fekk ein ikkje retta opp før ved neste hovudrunde 26. mars.

Tabell 3. Botnramme måleperiodar og plassering. Eksakt posisjon for den neddykka ramma kan avvike litt frå oppgitte posisjonar, som er tatt frå båten ved overflata. Ved utsettet 21.01.2020 havarerte riggen ved utplassering, og ein fekk ingen straumdata frå perioden.

FRÅ	TIL	Plassering (djup):	Posisjon N:	Posisjon Ø:
14.05.2019	09.07.2019	Vegsundet (9m)	60° 25,922'	6° 21,400'
09.07.2019	10.09.2019	Ved planlagt avløp (50,5m)	62° 24,994'	6° 21,714'
10.09.2019	12.11.2019	Ved planlagt avløp (52m)	62° 24,994'	6° 21,714'
12.11.2019	21.01.2020	Vågane (47m)	62° 25,203'	6° 22,333'
21.01.2020	26.03.2020	Ved planlagt avløp (53,5m)	62° 24,994'	6° 21,714'
26.03.2020	05.06.2020	Ved planlagt avløp (55m)	62° 24,987'	6° 21,711'



Figur 8. Oversikt over målestasjonar for straummåling. Raud stjerne viser posisjon for hovudriggen som stod på same stad heile måleperioden på eit år. Gule stjerner viser ulike posisjonar for måling med botnramma (jf. **tabell 3**).

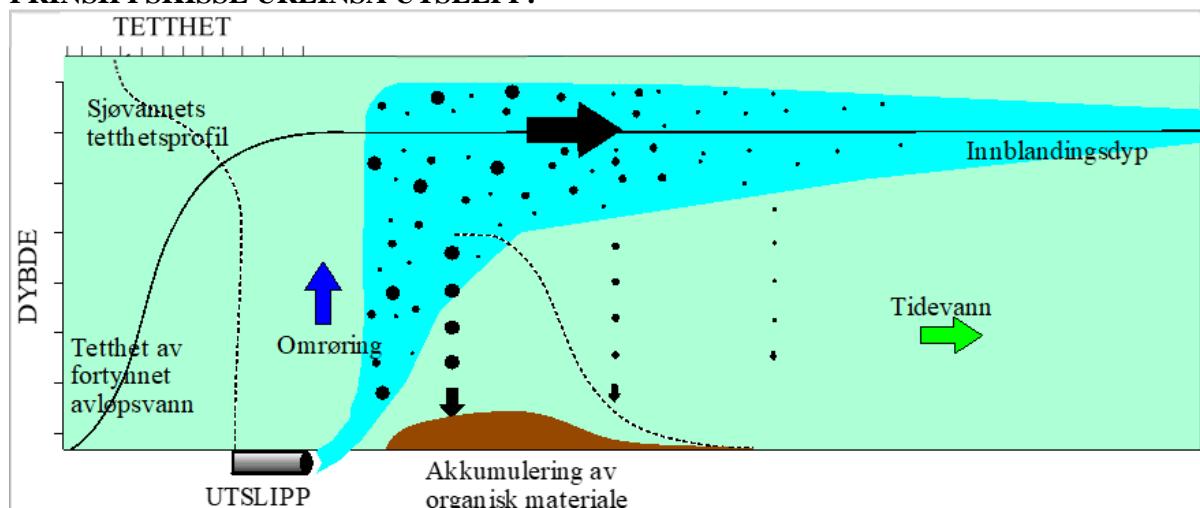
HANDTERING AV STRAUMDATA

Kontroll av data og generering av figurar er gjort med programmet SeaReport, versjon 1.1.8, eit dataprogram utvikla av Nortek AS. Ved import av datafiler vert data automatisk kontrollert i høve til førehandsbestemte grenseverdiar for signalstyrke, trykk og tilt. Ved gjennomgang av data vert det gjort ein manuell kontroll av data der ein ser på parametrane trykk og tilt. Excel er i tillegg nytta for generering av nokre figurar, samt enkel handsaming og samanstilling av data.

OM AVLØPSVATN

Avløpsvatn har i praksis same eigenvekt som ferskvatn og er dermed lettare enn sjøvatn. Når avløpsvatnet vert sleppt ut gjennom ein leidning på djupt vatn, vil det difor stige opp mot overflata, samstundes som det blandar seg med det omkringliggende sjøvatnet. Dersom sjøvatnet har stabil sjiktning (eigenvekta aukar mot djupet) fører dette til at eigenvekta til blandinga av avløpsvatn og sjøvatn aukar samstundes som eigenvekta til det omkringliggende sjøvatnet minkar på veg oppover, og i eit gitt djup kan dermed blandingsvatnet få same eigenvekt som sjøvatnet omkring. Då har ikkje lenger blandingsvatnet "positiv oppdrift", men har framleis vertikal rørsleenergi og vil vanlegvis stige noko forbi dette "likevektsdjupet" for så å sørkje tilbake og innlagrast (**figur 9**).

PRINSIPPSKISSE UREINSA UTSLEPP:



Figur 9. Prinsippskisse av eit ureinsa utslepp til sjø utan gjennomslag til overflata, og lokal sedimentering av organiske tilførslar i resipienten sin umiddelbare nærleik til utsleppspunktet. Det aktuelle utsleppet ved Kvasneset vil ha reinsing av alle større partiklar.

Ved eit utslepp vil finpartikulære tilførslar og ikkje partikkelbundne stoff spreia vekk frå utslippsstaden med vasstraumen. Berre dei største partiklane vil sedimentere lokalt ved sjølve utsleppet.

MODELLERING AV UTSLEPP

Det er føreteke modellering av innlagringsdjup, spreiing og fortynning av planlagt nytt utslepp utanfor Kvasnes (**figur 8**). Til berekning er den numeriske modellen Visual Plumes utvikla av U.S. EPA nytta (Frick et al. 2001). Modelleringane er utført av Jan N. Langfeldt.

NOKRE DEFINISJONAR OG FORKLARINGAR

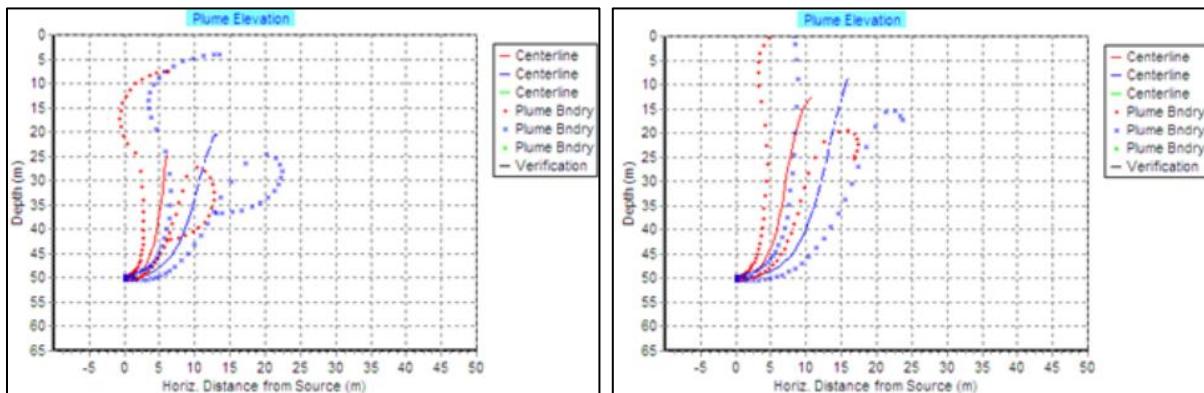
Plume: Ei kolonne som består av ei væske som bevegar seg gjennom ei anna væske. Til dømes eit oppstigande utslepp av ferskvatn i sjøvatn.

Innlagring: Dersom det oppstigande avløpsvatnet etterkvart når likevekt med sjøvatnet omkring (same eigenvekt) vil det bli innlagra (sjå over "Om avløpsvatn"). Dersom tettleiksprofilen til sjøvatnet er aukande nedover i vassøyla kan ein få innlagring nede i vassøyla. Dersom tettleiksprofilen er tilnærma lik gjennom heile vassøyla vil i prinsippet det oppstigande avløpsvatnet halde fram å stige og ein få "gjennomslag" (**figur 10**).

Gjennomslag: Uttrykka "plumen bryt overflata" eller "plumen har gjennomslag" betyr at ein del av plumen vil leggje seg på overflata. Det kan bety alt frå at nesten heile plumen legg seg på overflata til

at berre ein liten svært fortynna del kjem til overflata. Forskjellen på om større eller mindre delar av plumen har gjennomslag kan bedømmast ut frå kor djupt senterlinja til plumen blir innlagra (**figur 10**).

Konsentrasjonen av stoff frå avløpsvatnet vil vere størst i senter av plumen, medan det vil vere avtakande ut mot randsona av plumen. Er det gjennomslag når senterlinja til plumen blir innlagra djupt, vil det som går gjennom overflata vere svært fortynna og ikkje særleg forskjellig frå det omkringliggjande vatnet. Sjølv om senterlinja blir innlagra nær overflata vil det uansett ha vore ei vesentleg fortynning på veg frå avløpet og opp gjennom vassøya på grunn av innblandinga med det omkringliggjande sjøvatnet.



Figur 10. Døme på visualisering av utslepp i Visual Plumes. Figurane viser horisontal og vertikal utstrekning av plumen (prikka linjer), samt senterlinja for utsleppet (stipla linje). Raud og blå farge representerer to ulike vassmengder i utsleppet. Figuren til venstre viser eit utslepp utan gjennomslag, der plumen blir innlagra på om lag 5 – 40 meters djup, med senter for innlagring (med den høgaste konsentrasjonen) på 20 og 25 meter. Figuren til høgre viser eit utslepp med gjennomslag, der plumen blir innlagra i dei øvste ca. 25 metrane av vassøya, og senter for innlagring er på om lag 9 og 13 meter. Sjå tekster over for nærmere forklaringar.

Etter innlagringa som vist i figurane over vil det skje ei passiv turbulent fortynning. Det vil seie at fortynninga held fram som ein funksjon av turbulensen i vassøya. Plumen driv då med same hastigkeit som straumen i vassmassane, og vil spreia og fortynnast vidare i dei fleste retningar, både horisontalt og vertikalt.

FORUTSETNINGAR FOR MODELLERING

Naudsynte opplysningar for modellsimuleringane er vassmengd, tettleik og temperatur for avløpsvatnet, utsleppsdjup, diameter for utsleppsøyret, med eller utan diffusor, vertikalprofilar for tettleik i sjøen (temperatur og saltinhald), samt straumfart i utsleppsområdet.

Gjennomgåande i modelleringane er tettleiken til avløpsvatnet sett til 1000 kg/m^3 (=ferskvatn). Det er lagt inn ein temperatur i utsleppsvatnet på 12°C , også for vintermålingar.

Undervegs i arbeidet har det vorte utført ei rekke ulike modelleringar, mellom anna for å sjå kva innverknad endring av ein del av dei ovanfor nemnde forutsetningane har på resultatet. Ein del av resultata har gjort at ein har forkasta enkelte forslag til utsleppsarrangement til fordel for andre. Ei oversikt over dei fleste ulike tidlege/førebelse scenario det er modellert for er vist i **vedlegg 4 – 7**.

Nyaste modelleringar

Ved dei siste modelleringane er det lagt inn litt ulike føresetnader i høve til tidlegare for ein del parametrar. Noko av det har årsak i oppdaterte tal frå anlegget ettersom prosjekteringa har utvikla seg, og noko har årsak i endring av sannsynleg utsleppsdjupne.

I den siste modelleringa er det lagt inn følgjande:

- Utsleppsdjup på 60 meter
- Dimensjon på avløp 626 mm (eventuelt 555 mm)
- Middel og maks vassmengd i utsleppet på høvesvis 300 og 600 l/s (tilsvrar høvesvis ca. 30 % og 3 % av tida i 2050, jf. **figur 6**).
- Antar ei retning på avløpet på ca. 200 grader (sørsørvest). I modellen er det lagt inn at straumen går vinkelrett (90°) på avløpet, altså i retning $290^\circ / 110^\circ$.
- Det er brukt straumdata frå måleperioden 26. mars – 5. juni 2020. Denne er vurdert som mest representativ, m.a. på grunn av størst måledjup, og også i høve til dei fleste periodane ein har størst oppdrift i vassøyla (tettleiksprofilar). Det er brukt middel straumhastigkeit og signifikant låg straumhastigkeit (gjennomsnitt av 1/3 lågaste straumverdiar).
- Det er målt straum ned til 53 m djup, men modellert med utgangspunkt i 60 meter. Sidan ein ikkje har straummålingar så djupt, er verdiar for straumhastigkeit ekstrapolert ned til 60 meter. Måten dette er gjort på er å flytte nokre verdiar 7 meter nedover, slik at straumen på 53 m er sett til 60 meter, 51 m er sett til 58 m osv. (**tabell 4**). Dette er gjort for målingane frå 43 meter og nedover. Målingane mellom 30 og 43 meter var i utgangspunktet nokså jamne med ein middel straum rundt 4-5 cm/s og ein signifikant minimum på 2 cm/s, og dei lågaste verdiane på høvesvis 4 og 2 cm/s er brukt til å etterfylle frå 43 til 50 meter i den justerte tabellen (**tabell 4**). Det vil gje eit konservativt anslag for straumen gjennom vassøyla. Ekstrapolering av data er vanlegvis ikkje ønskjeleg, men grunnlaget for å gjere det her er basert på at den sterke straumen ned mot botnen i området ser ut til å følge topografien, slik at det er ein kraftig auke i straumstyrke dei nedste 5-6-7 metrane ned mot botnen, noko uavhengig av kor djupt det er (sjå også diskusjonen bak). Utan ei slik eller tilsvarande justering ville modellen ha lagt inn den siste registrerte verdien i datasettet nedover, dvs. lagt inn ei middel straumhastigkeit på 26 cm/s heile vegen frå 53-60 meter.

Tabell 4. Målte straumdata til venstre og straumdata som er brukt ved dei nyaste modelleringane i Visual Plumes til høgre. Sjå tekst over for forklaring og vurdering.

Vinter/vårmålinger i perioden 26. mars - 5. juni 2020			Vinter/vårmålingar justert til 60 meters djup		
målte djup	middel straumfart cm/s	låg straumfart (signifikant min.) cm/s	justerte djup (under 40 m)	middel straumfart cm/s	låg straumfart (signifikant min.) cm/s
Kvasnes 5 m	6	2	Kvasnes 5 m	6	2
Kvasnes 10 m	6	2	Kvasnes 10 m	6	2
Kvasnes 20 m	5	2	Kvasnes 20 m	5	2
Kvasnes 30 m	5	2	Kvasnes 30 m	5	2
Kvasnes 40 m	4	2	Kvasnes 40 m	4	2
Kvasnes 43 m	4	2	Kvasnes 44 m	4	2
Kvasnes 45 m	5	2	Kvasnes 46 m	4	2
Kvasnes 47 m	7	3	Kvasnes 48 m	4	2
Kvasnes 49 m	11	4	Kvasnes 50 m	4	2
Kvasnes 51 m	18	7	Kvasnes 52 m	5	2
Kvasnes 53 m	26	11	Kvasnes 54 m	7	3
			Kvasnes 56 m	11	4
			Kvasnes 58 m	18	7
			Kvasnes 60 m	26	11

MODELLERING AV STRAUMTILHØVE OG SPREIING I FJORDEN

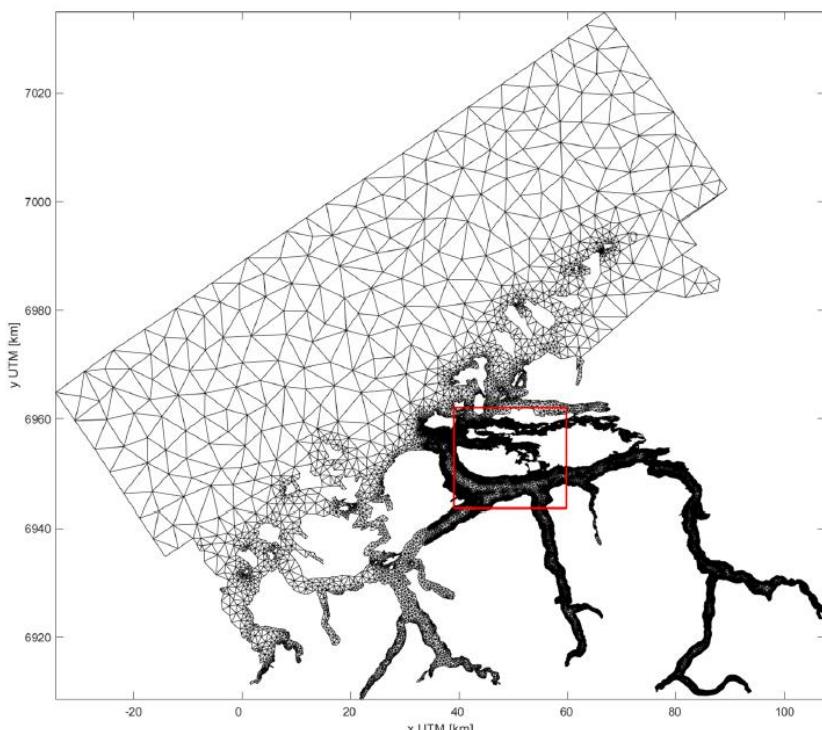
Her vert gjengitt hovudpunkt frå rapporten til Asplan Viak: Strømning- og spredningsmodell Storfjorden (Dam 2020). Heile rapporten kan finnast i vedlegg 9.

Det er føreteke modellering av straumtilhøva i fjordområda rundt planlagt nytt utslepp utanfor Kvasnes. Modellen som er nyttा heiter FINEL3d. Dette er ein 3D ikkje-hydrostatisk finite element modell. Modellen er utvikla av Tekniske Universitet i Delft og Svašek Hydraulics (Labeur 2009, Labeur & Wells 2007, 2009, 2010, Talstra 2016). Modelleringa er utført av Gerard Dam, Asplan Viak AS.

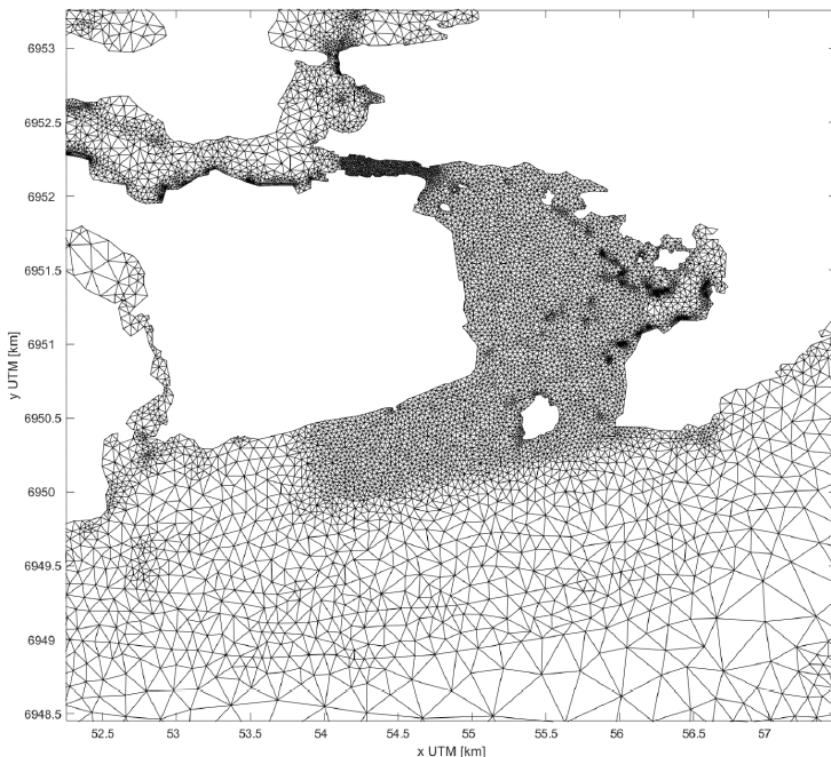
Modellen er ein 3D-modell, og inkluderer effekten av tidevatnet, corioliskrefter og variasjon i eigenvekta til vatnet pga. variasjon i saltinnhald og temperatur. I tillegg kan modellen køyre med meteorologiske effektar (f.eks. lufttrykk og vind).

Modellen nyttar eit trekantnett, som har den fordelen at kompliserte kystområde kan inkluderast i nettet på ein enkel måte. I tillegg kan den horisontale oppløysinga variere i modellen, med høg grad av oppløsing rundt interesseområdet for å gi eit høgt detaljeringsnivå, medan oppløysinga lengre inn i fjorden og utover mot kysten ikkje er så relevant, og ein difor nyttar ei grovare oppløsing. Modellen inkluderer heile fjordområdet for å få med tidevasseffekten (fylling og tømming).

I dette prosjektet er det laga eit berekningsnett som inkluderer heile fjordområdet frå kysten og heilt inn til dei inste fjordområda ved Geiranger (**figur 11**). Grunnen til dette er at fylling og tømming av vatn som følgje av tidevatnet automatisk vil bli generert av modellen, og dermed tidevasstraumen. Andre 3D-modellar inkluderer ikkje alltid tidevasseffekten, men i trønge sund er tidevatnet ofte den viktigaste straumskapande faktoren. I dette prosjektet er det lagt spesiell vekt på spreiing av forureina vatn gjennom Vågane og vidare nord gjennom Pinesundet og Vegsundet. Det er grunn til å tro at tidevasstraum er ein viktig parameter her, og det er difor målt straum i Vegsundet og resultata inkludert i modelleringa. I tillegg er oppløysinga av modellen tilpassa dei trønge sunna der det er nyttar ei oppløsing på ca. 10 meter (**figur 12**). Omkring Kvasnes og i området nord for Flisholmen og Hanseskjæret er det nyttar ei oppløsing på 25 meter, samt i Storfjorden rundt utsleppspunktet. Vidare ut mot kysten og inn til land er oppløysinga grovare.



Figur 11. Heile berekningsnettet.



Figur 12. Mest detaljerte berekningsnett rundt Kvasnes med høgaste oppløysing. Sjå også vedlegg 9.

Vertikale lag kan også tilpassast i modellen. Rundt interesseområdet kan antal lag aukast, t.d rundt utsleppspunktet eller overflata, og med lågare oppløysing elles i vassøyla. På denne måten får ein den maksimale oppløysinga i den delen av vassøyla kor den største interessa er. Ved modelleringa ved Kvasneset er høgaste vertikale oppløysing definert i overflatelaget med ei oppløysing på 1 m, slik at overflatelaget er godt representert i modellen. Rundt interesseområdet er talet på vertikale lag sett til rundt 25 i den djupaste delen, med høgast oppløysing dei øvste 20 m.

I interesseområdet rundt Kvasnes vart det utført detaljerte botnskanningar (jf. **figur 3**). Denne djupneinformasjonen vart brukt i modellen. Utanfor dette området vart djupneinformasjon henta fra kartverket si nettside og interpolert til berekningsnettet.

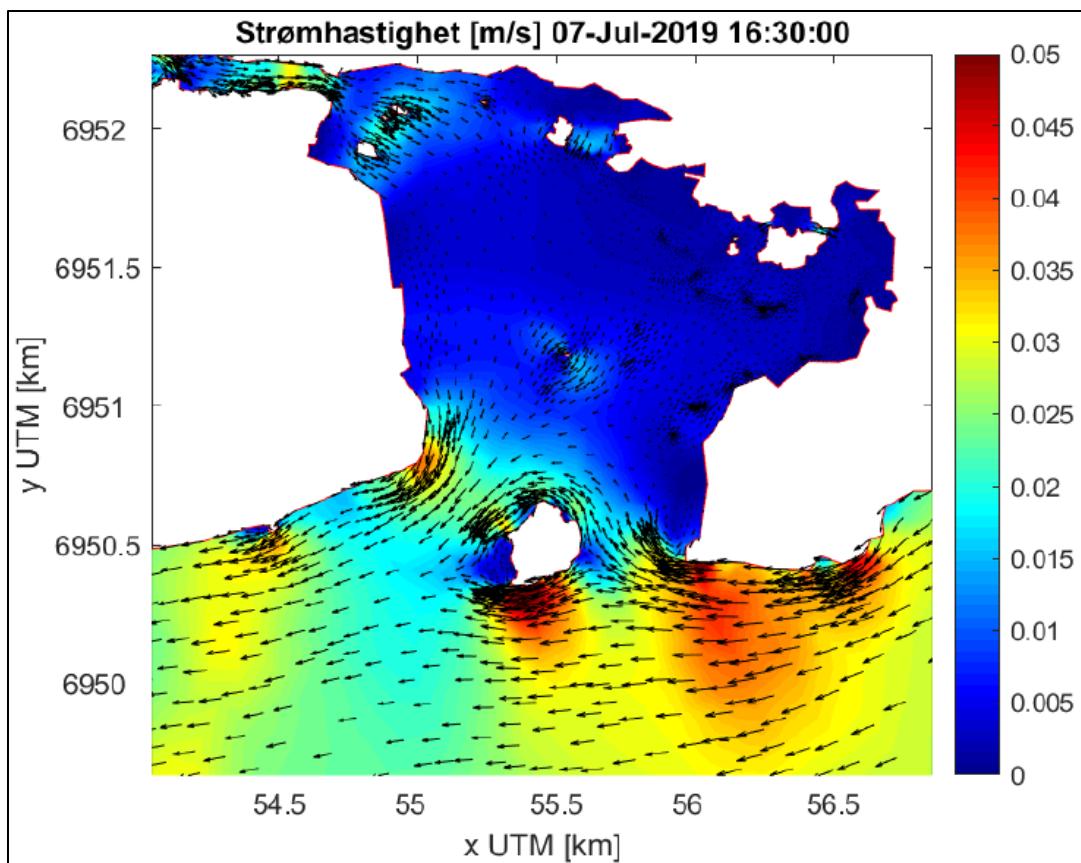
Modellen køyrer med ferskvassavrenning frå elvane i området og tettleikseffektane frå denne avrenninga. Andre innstillingar i modellen er vist i **vedlegg 9**.

KALIBRERING AV MODELLEN

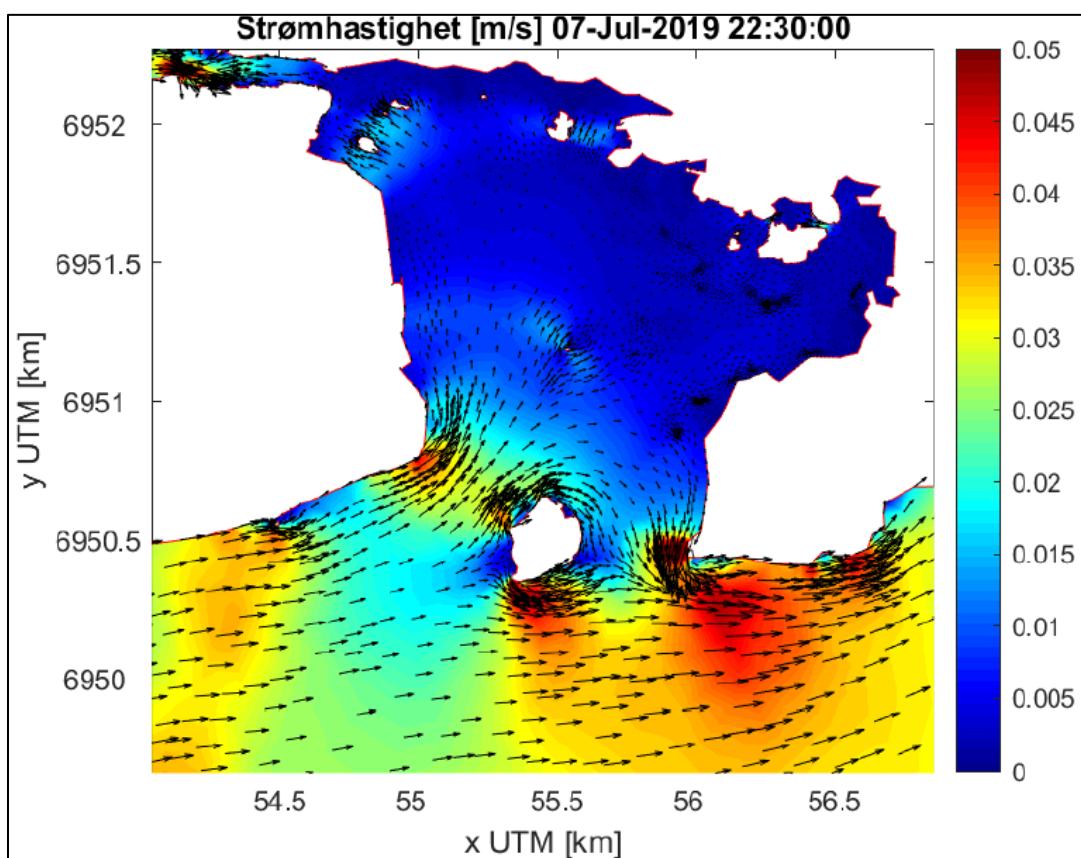
Modellen som er brukt til å simulere spreiing av avløpsvatn i fjordsystemet (FINEL3d) må kalibrerast med ulike felldata frå området, spesielt vasstand (tidevatn), straumhastigkeit og vasstransport nær utsleppspunktet. Data frå ulike stasjonar er gjennomgått og klargjort for input i modellen.

Vasstand

Tidevassinformasjon for sjøen til bruk i modellen kjem frå den globale TPXO-modellen. Før bruk av modellen er den kalibrert med vasstand frå Ålesund målestasjon (www.sehavnivå.no), med bruk av astronomisk tidevassinformasjon (utan meteorologiske effektar). Modellen klarer å beregne og gjenskape vasstandsfordelingen svært bra (sjå **vedlegg 9**). Ved å sjå på kun tidevasseffekt og corioliskraft på straumbiletet i området får ein også eit første inntrykk av dei lokale straumtilhøva ved Kvasneset, utan effekt av t.d. ferskvassavrenning eller vind (**figur 13** og **figur 14**). Figurane viser at den lokale geometrien er ganske avgjerande for tidevasstraumen rundt Kvasnes, og at Flisnesholmen påverkar straumen i stor grad, slik at den i hovudsak går sørvest – nordaust forbi Kvasneset.



Figur 13. Straumbilete frå FINEL3d ved Kvasnes med utgåande straum (berre tidevasseffekt).



Figur 14. Straumbilete frå FINEL3d ved Kvasnes med innoverretta straum (berre tidevasseffekt).

Straum

Modelleringa er kalibrert basert på eit års målingar av straum ved Flisnesholmen, samt utanfor planlagt utslepp ved Kvasnes og i Vegsundet (jf. **figur 8**). Modellen er kalibrert med straummålingar rundt Kvasnes i ein representativ vår/vinter-situasjon med ein god del ferskvassavrenning, og ein sein haustsituasjon med lite ferskvassavrenning. Forskjellen mellom ein vår/vinter-situasjon og ein haustsituasjon er mengda ferskvassavrenning frå elvane som renn ut til Storfjorden. Representativ vår/vinter vart køyrt med 3x gjennomsnitt ferskvassavrenning frå elvane. Representativ haustsituasjon vart køyrt med 0,5x gjennomsnitt ferskvassavrenning. Ofte kan haustane vere prega av ein god del nedbør, men til dømes ved målinga av hydrografisk profil 12. november 2019 hadde det knapt vore nedbør dei siste to vekene i forkant, og berre rundt 27 mm nedbør dei siste fire vekene i forkant ved målestasjonen ved Ørskog. Straumtilhøva vår/vinter er sannsynlegvis meir jamne fordi kraftstasjonane i bl.a. Tafjord produserer mykje straum om vinteren og dermed slepp ut mykje ferskvatn. Vår (og sommar) er snøsmeltinga den viktigaste prosessen for ferskvassstilførsel (Dyb & Tuene, 2003). Dette er det generelle bildet, avvik frå dette bildet kan førekommme frå år til år.

Straumbiletet i Vegsundet og ved Flisnesholmen vart reproduusert ganske bra i modellen (**vedlegg 9**). Ved planlagt avløp klarte modellen å reproduusere vår/vinter-situasjonen godt, men ein haustsituasjon vart meir vanskeleg å reproduusere med modellen på utsleppspunktet. Vi trur værforholda i denne perioden kan være ei av årsakene til kvifor den dominerande straumretninga mot aust ved utsleppspunktet ikkje vart reproduusert, mogeleg på grunn av vindforholda. Sidan det seinare vert undersøkt eit scenario med hauststorm på spreiing av utsleppet, kan det konkluderast med at modellen er klar til å køre ulike scenario.

Posisjon for modellering av avløp er N $62^{\circ} 24,980'$ /Ø $6^{\circ} 21,730'$, med djupne 60 meter. Med ein ferdigkalibrert modell kan det utførast forskjellige utsleppsscenario. Ein viser konsentrasjonsforløp og fortynnning langs kysten og inn i dei ulike sunna.

RESULTAT

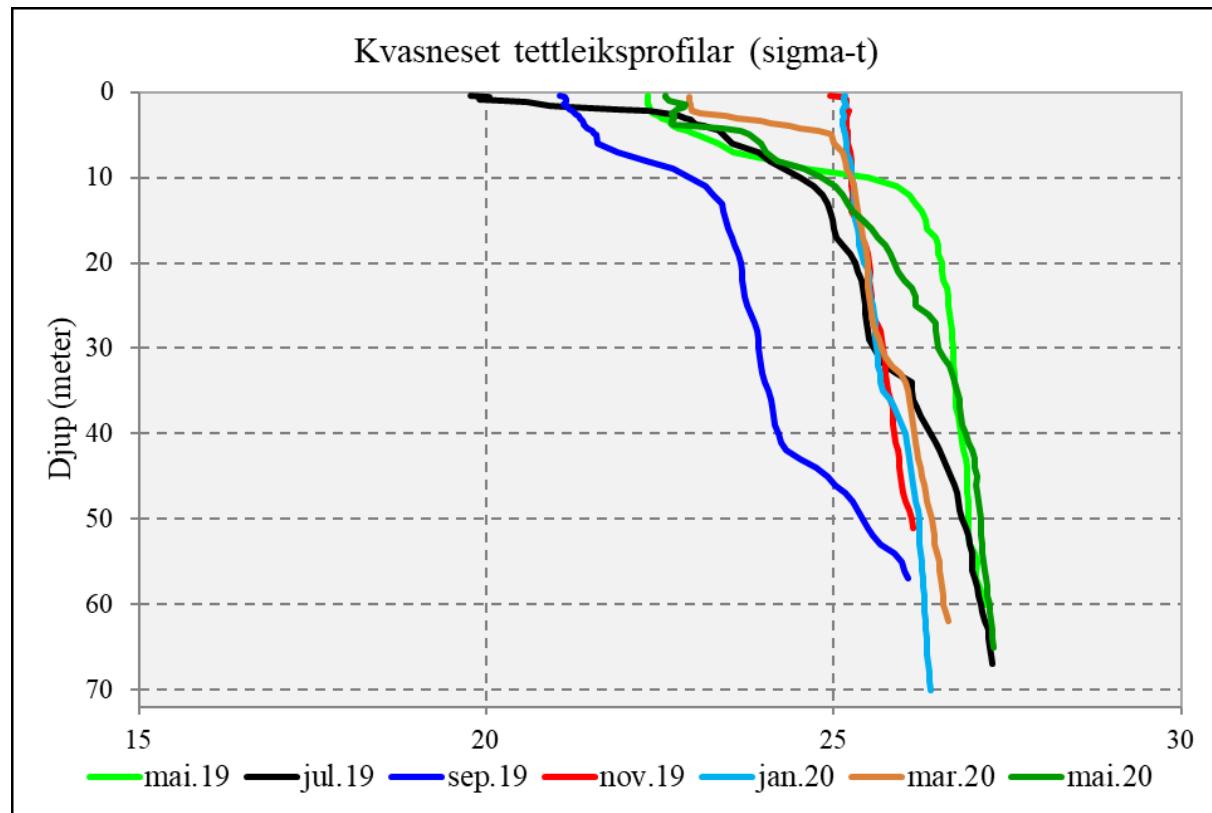
HYDROGRAFI.

Resultat frå hydrografiske målingar i Storfjorden utanfor Kvasneset gjennom måleperioden mai 2019 – mai 2020 er samanstilt i **figur 15 - figur 17**.

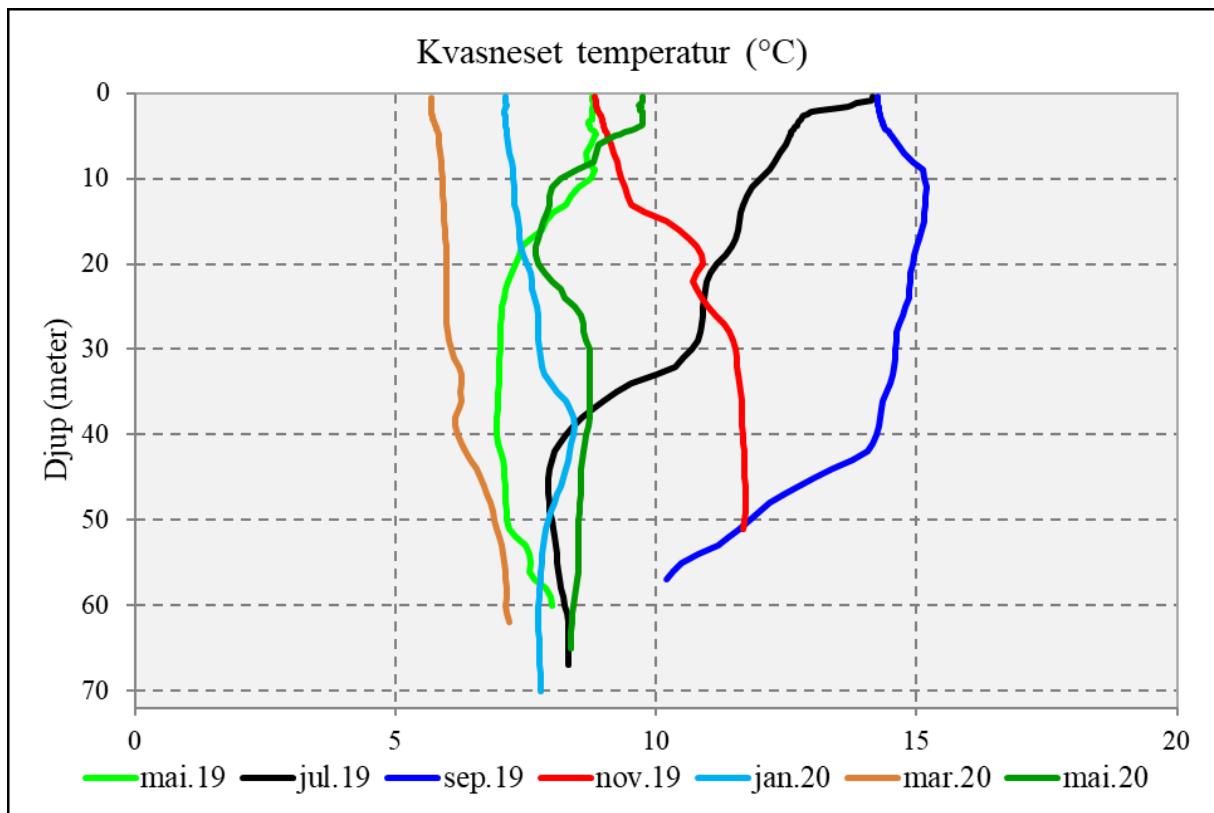
Tettleik (**figur 15**) vert brukt i vidare modellering av innlagring og fortynning av avløpsvatn, og det er nokre profilar som skil seg noko ut. Tettleiken i september var gjennomgåande låg, og med tydeleg sjikting rundt 10 og 40 meter. Motsett var profilane i november og januar ganske rette heilt opp til overflata. Begge profilane frå mai hadde relativt tydeleg sjikting rundt 10 m djup, spesielt i 2019, men hadde ganske høg tettleik djupare enn dette.

Temperaturen varierte gjennom året, og det var gjennomgåande kaldast ut på ettermiddagen i mars, og varmest ut på hausten i september, spesielt dei øvste 40-50 metrane (**figur 16**). Figuren viser også korleis temperaturen eit stikk ned i vassøyla "heng igjen" i høve til årstida, til dømes i juli der ein har aukande oppvarming dei øvste metrane, men framleis ganske kaldt vatn djupare enn 40 meter. Til september er ein større del av vassøyla varma opp, medan i november er overflatelaget på god veg til å bli kjølt ned medan det framleis er ganske høge temperaturar djupare enn 20-30 meter (**figur 16**).

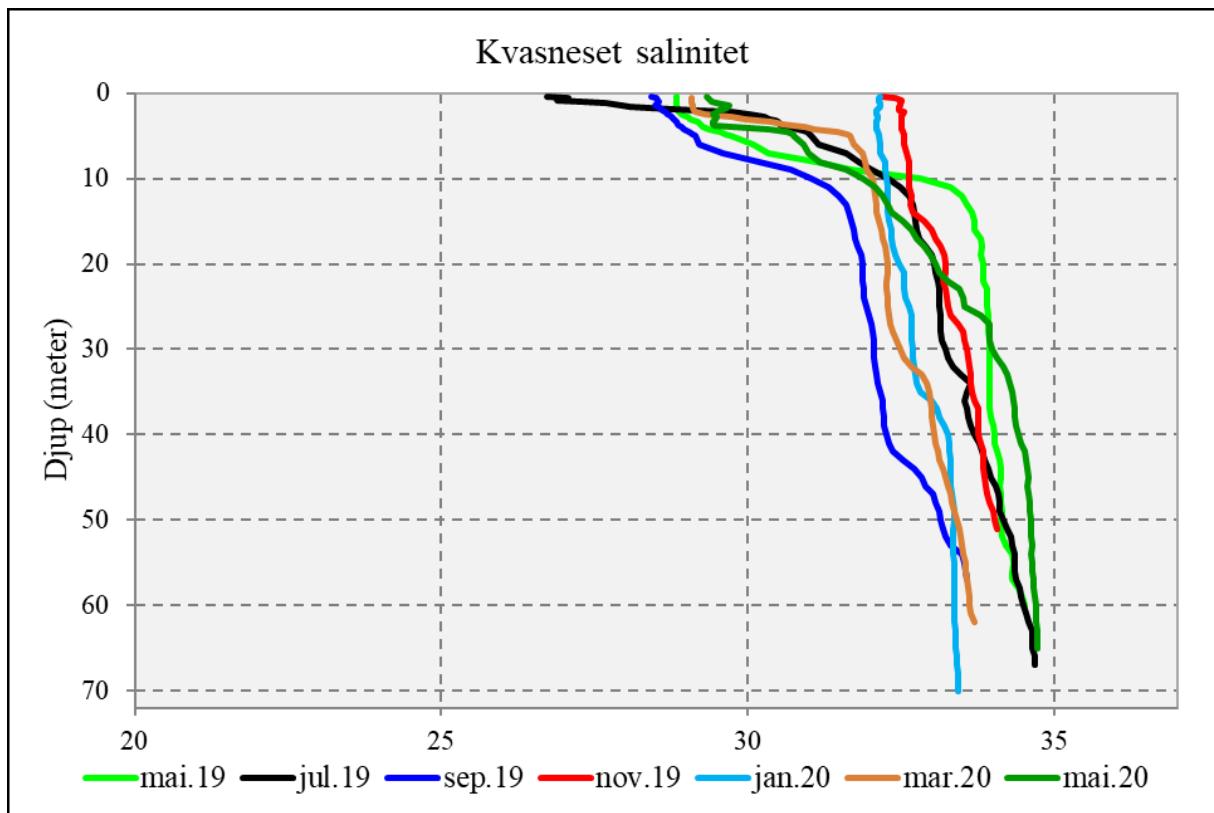
Saliniteten viser at det var ferskvasspåverknad dei øvste ca. 5-10 metrane mesteparten av året, men ved målingane i november 2019 og januar 2020 var det ganske homogene vassmassar med lite sjikting og ferskvasspåverknad (**figur 17**).



Figur 15. Vertikalprofilar av tettleik ved Kvasneset i perioden mai 2019 – mai 2020.



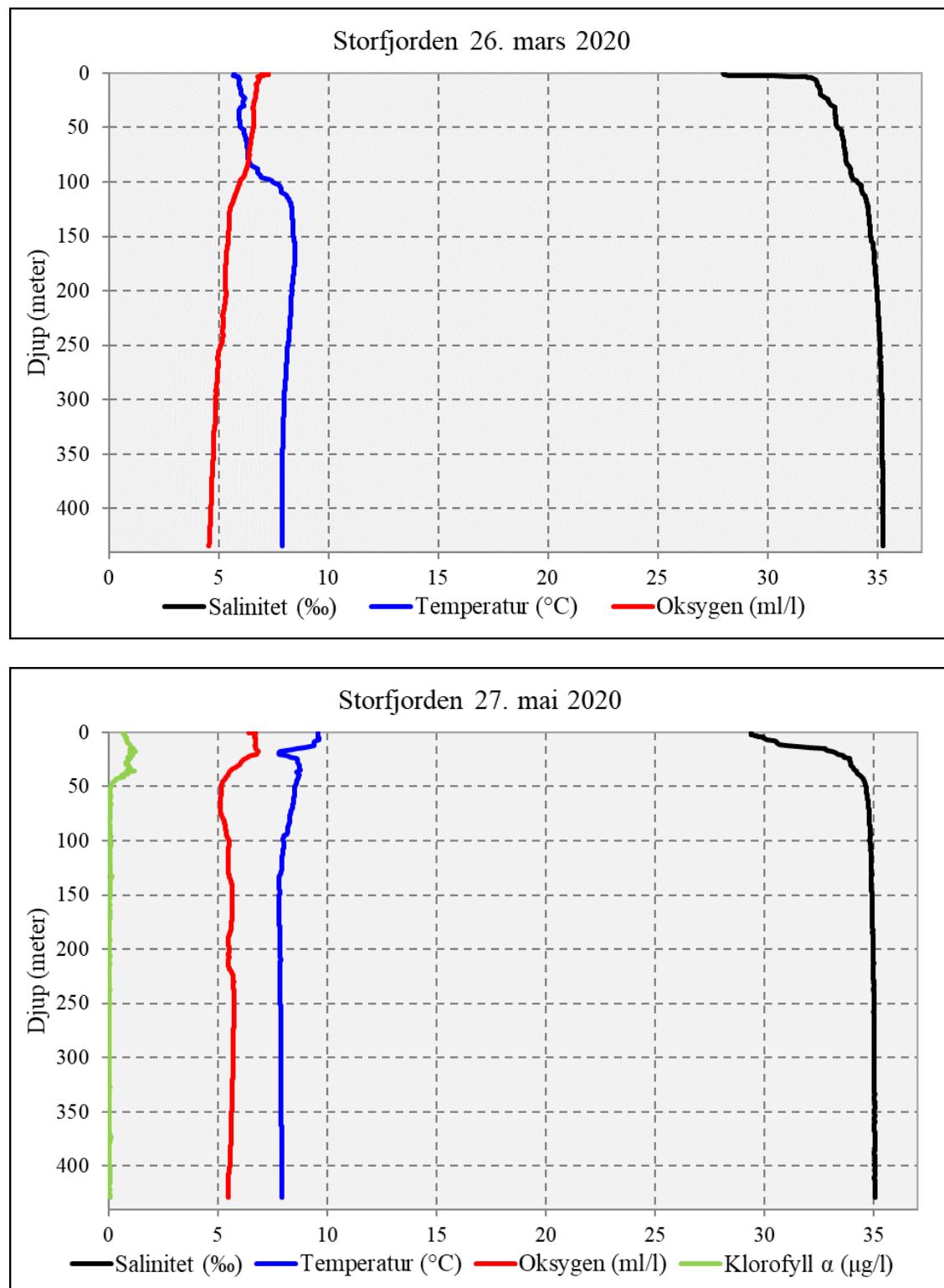
Figur 16. Vertikalprofiler av temperatur ved Kvasneset i perioden mai 2019 – mai 2020.



Figur 17. Vertikalprofiler av saltinnhold ved Kvasneset i perioden mai 2019 – mai 2020.

OKSYGEN I STORFJORDEN

Ved måling i mars 2020 var oksygeninnhaldet om lag 7,3 ml/l ved overflata, og relativt jamt avtakande ned til 4,57 ml/l, tilsvarende ei oksygenmetting på 68 % ved botnen på 434 m djup (**figur 18**). Dette tilsvasar tilstandsklasse I = "svært god" (Veileder 02:2018). Ved målinga i mai såg det ut til å ha vore utskifting av djupvatnet, og oksygeninnhaldet ved botnen var no 5,44 ml/l (82 %).



Figur 18. Sondemåling 26. mars (oppe) og 27. mai 2020 (nede) ved det djupaste av Storfjorden sør for Sunde. inkluderer også måling av klorofyll a (Fluorescens) i mai. Tabellar i vedlegg 1.

STRAUMTILHØVE

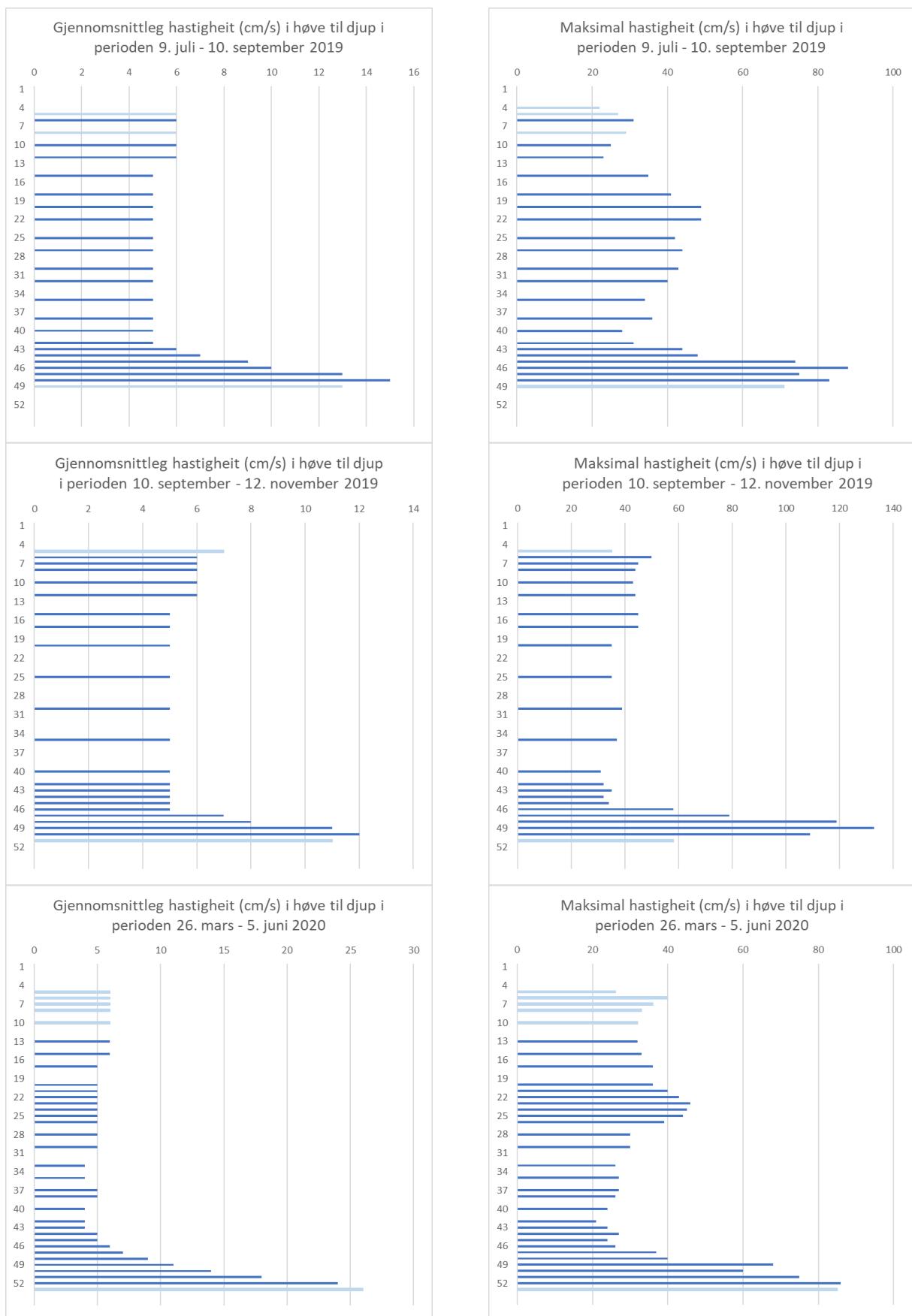
PLANLAGT AVLØP

Det vart målt straum i området ved planlagt avløp i tre periodar: 9. juli – 10. september 2019, 10. september – 12. november 2019 og 26. mars – 5. juni 2020. Hovudføremålet her var å måle straum i området frå planlagt avløpsdjup og oppover i vassøyla for å vurdere spreiing og innlagring av oppstigande avløpsvatn. Resultata er i tillegg brukt til å modellere straumtilhøva i fjorden meir generelt.

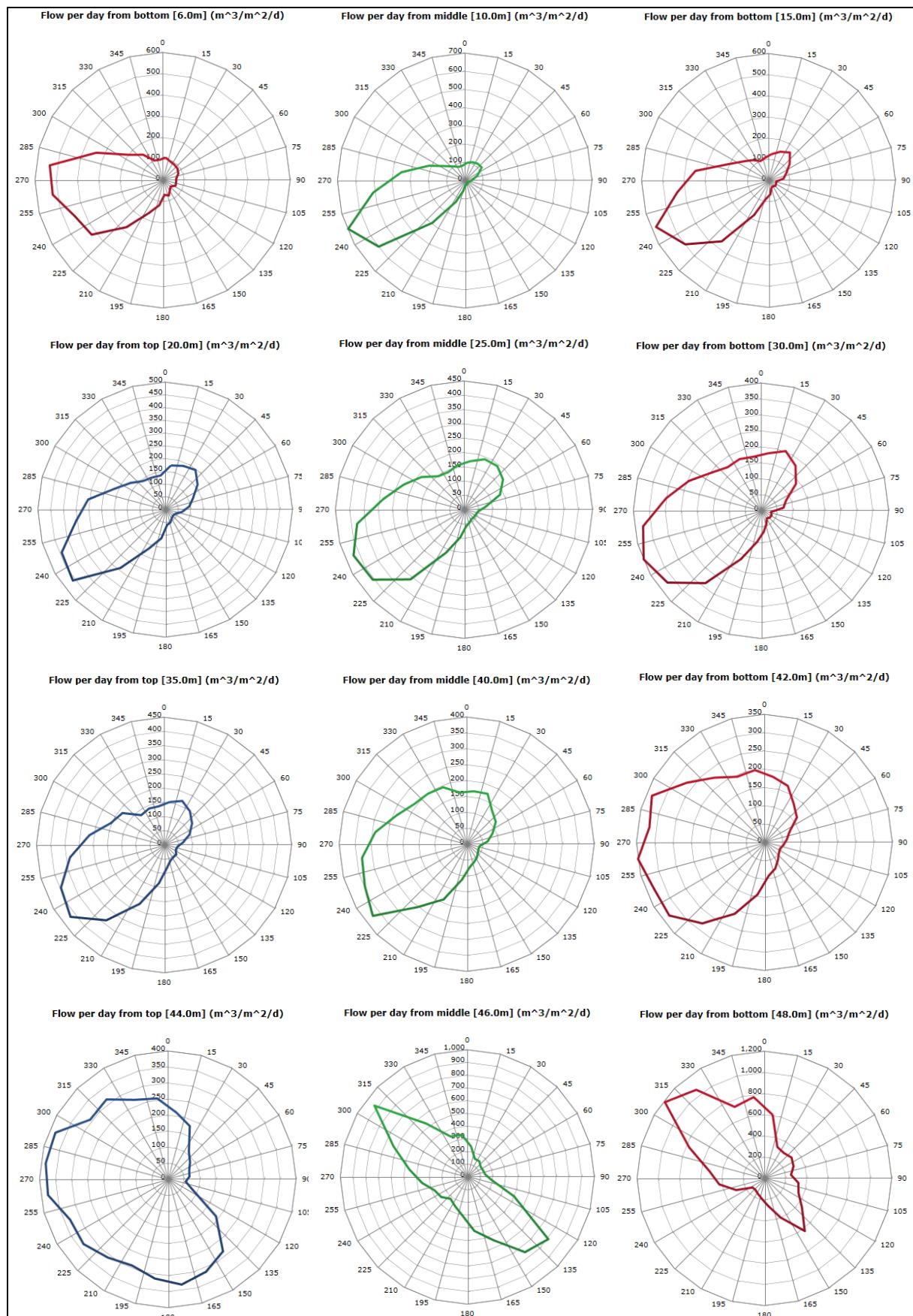
Gjennomsnittleg straumhastigheit viste om lag det same biletet gjennom vassøyla i alle tre periodane. Dei øvste 10-15 metrane var snittstraumen 6-7 cm/s, og litt avtakande til 4-5 cm/s vidare ned mot 40-45 m djup (**figur 19**). Dei siste metrane ned mot botnen var det derimot ein kraftig auke i straumhastigheit, med opp mot 12-15 cm/s i gjennomsnitt dei to første måleperiodane, og rundt 25 cm/s i gjennomsnitt eit par meter over botnen ved måleperioden våren 2020.

Den maksimale straumhastigheita viste noko av det same biletet, med for det meste opp i 30-40 cm/s dei øvste 40-45 metrane av vassøyla (**figur 19**). Dei siste metrane ned mot botnen var den maksimale straumhastigheita svært sterkt, med over 80 cm/s alle måleperiodar, og med 133 cm/s (ca. 2,6 knop) som det høgaste den 27. september 2019.

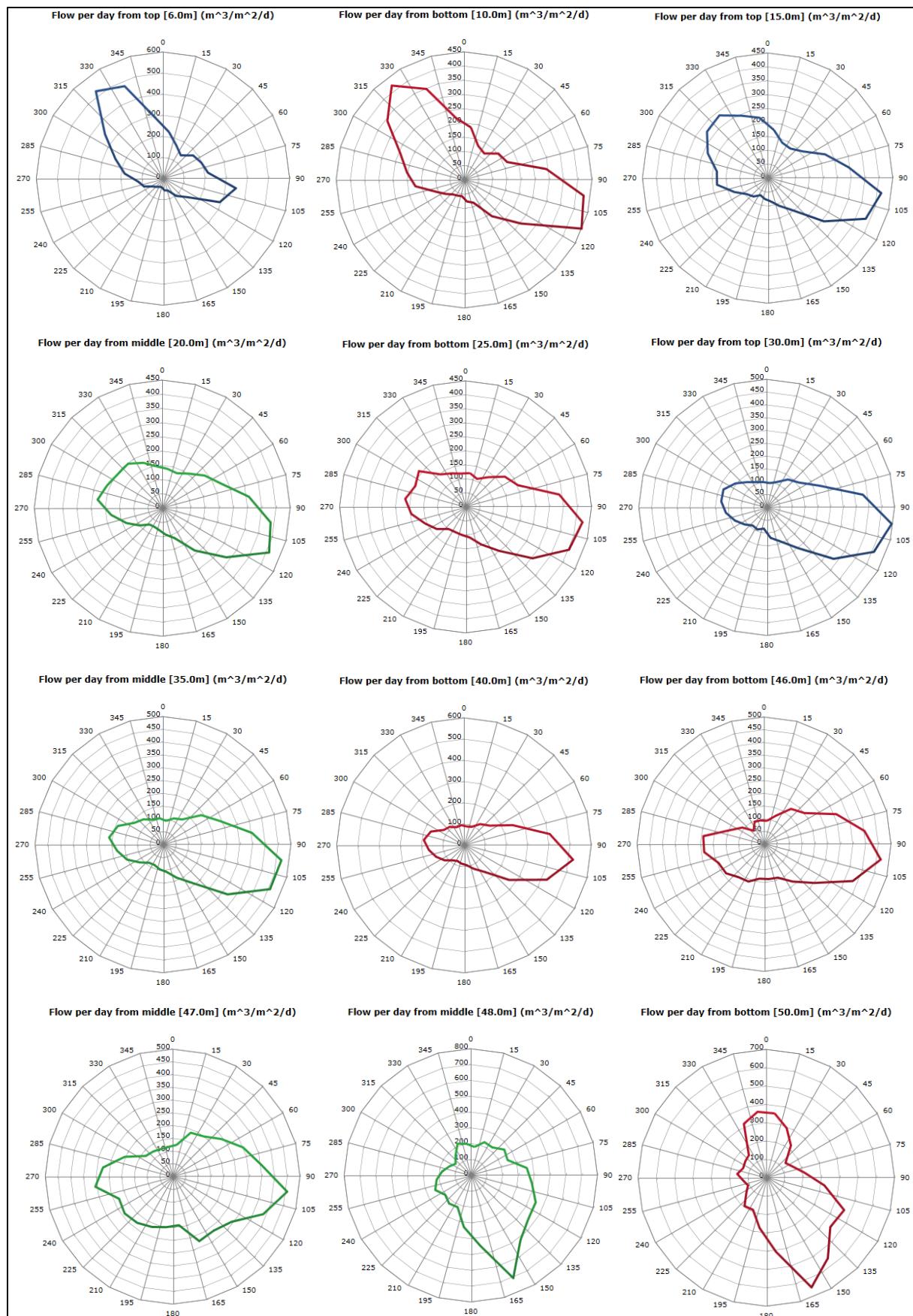
Retninga til straumen var noko variabel mellom måleperiodane. I periodane 9. juli – 10. september 2019 og 26. mars – 5. juni 2020 var det ei tydeleg overvekt av vasstransport i vestleg til sørvestleg retning på dei fleste djup (**figur 20** og **figur 22**). Ned mot botnen dreia straumen meir mot sør aust – nordvest, om lag på same djup som straumen auka i styrke. I perioden 10. september – 12. november 2019 gjekk straumen dei øvste metrane mest mot nordvest, men gradvis meir dominerande i austleg retning frå ca. 15 meters djup og nedover (**figur 21**). Dei siste metrane ned mot botnen dreia straumen også i denne perioden, no mest mot sør sør aust.



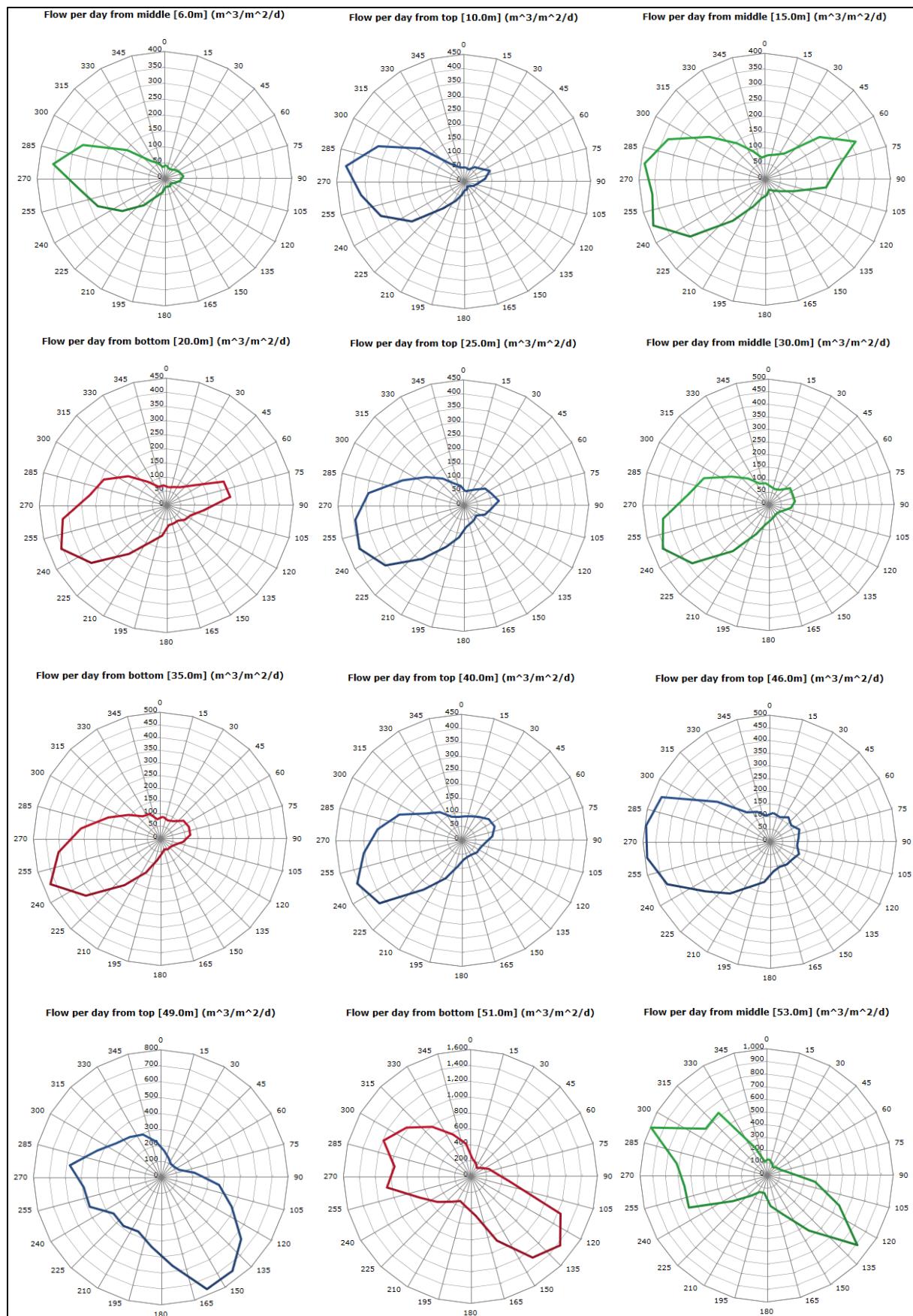
Figur 19. Gjennomsnittleg (til venstre) og maksimal straumhastighet (til høgre) på utvalde djup mellom 5 og 53 meter for tre måleperioder ved planlagt avløp ved Kvasneset. Lysare strekar indikerer djupnær med < 75 % gyldige målingar (pga. svak signalstyrke/refleksjon).



Figur 20. Straumrosor for vasstransport (relativ flux) på utvalde djup for måleperioden 9. juli – 10. september 2019 ved planlagt avløp ved Kvasneset. "Top", "middel" og "bottom" for dei ulike rosene refererer til ulike uttak av figurar i straumprogrammet og har ingen relevans for øvrig.



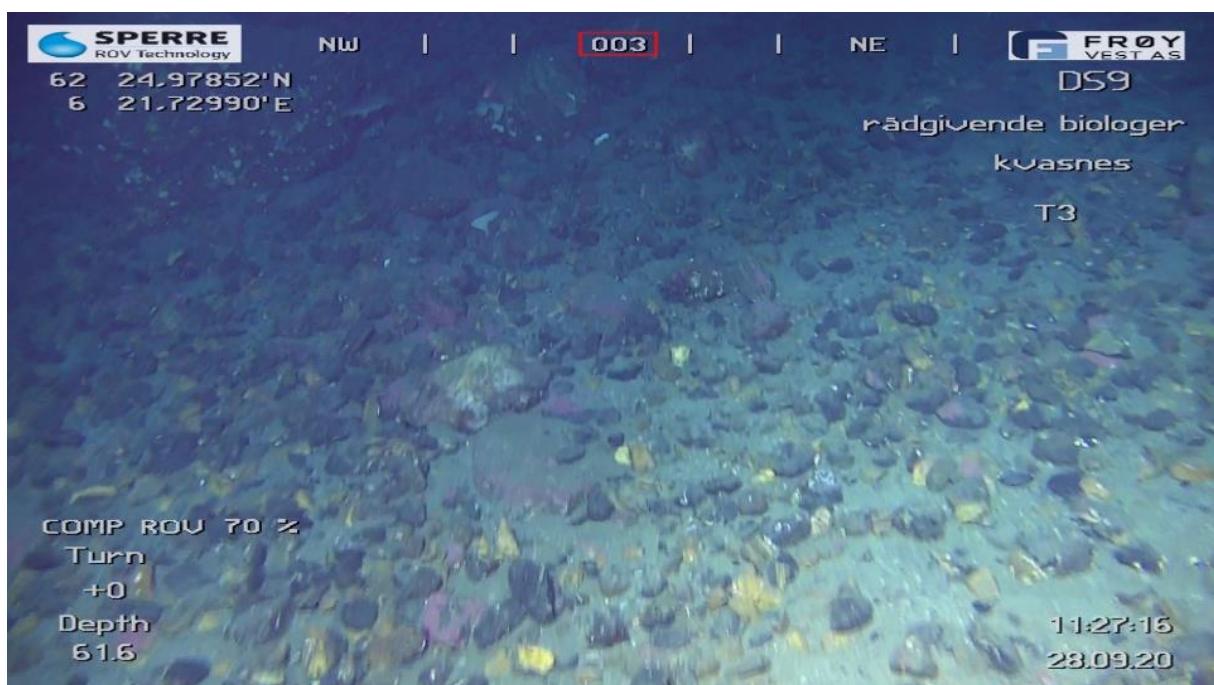
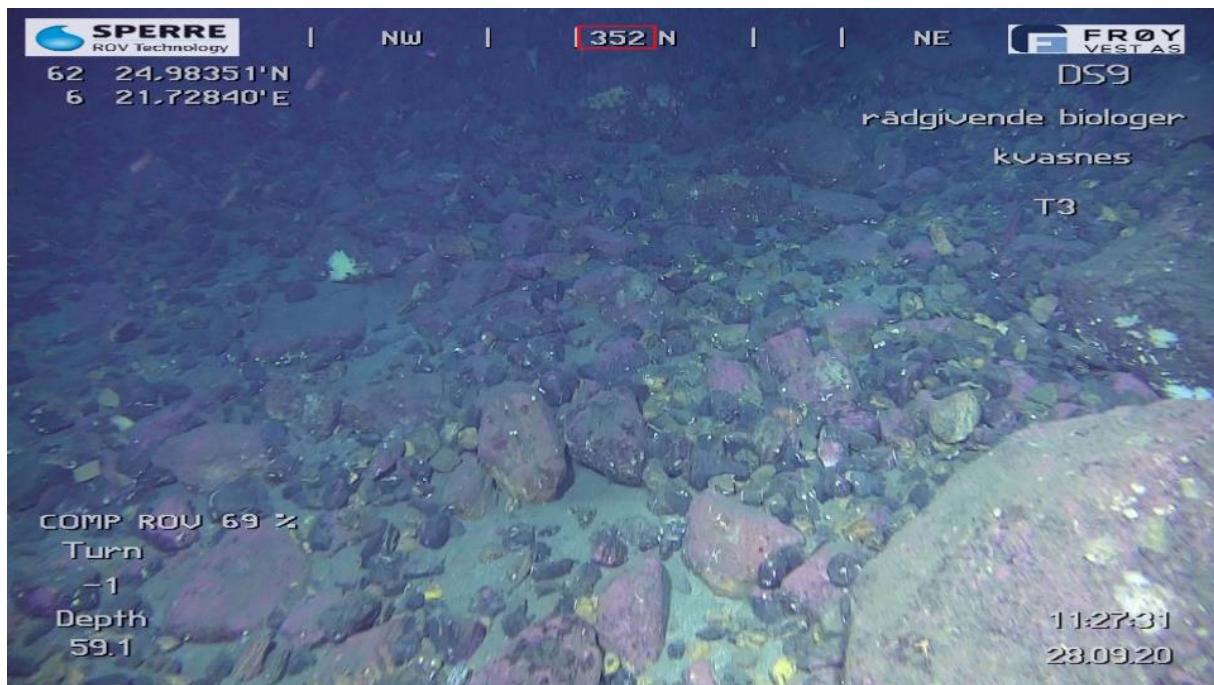
Figur 21. Straumrosor for vasstransport (relativ flux) på utvalde djup for måleperioden 10. september – 12. november 2019 ved planlagt avløp ved Kvasneset.



Figur 22. Straumrosor for vasstransport (relativ flux) på utvalde djup for måleperioden 26. mars – 5. juni 2020 ved planlagt avløp ved Kvasneset.



Figur 23. ROV-bilete av botnen på ca. 56 m djup i området for straummåling ved planlagt avløp. Posisjon for ROV er ca. 10-15 meter frå posisjonar for utplassert straumrigg i perioden (jf. **tabell 3**). Substratet i området er svært grovt, noko som bekreftar at det er sterkt botnstraum i området.



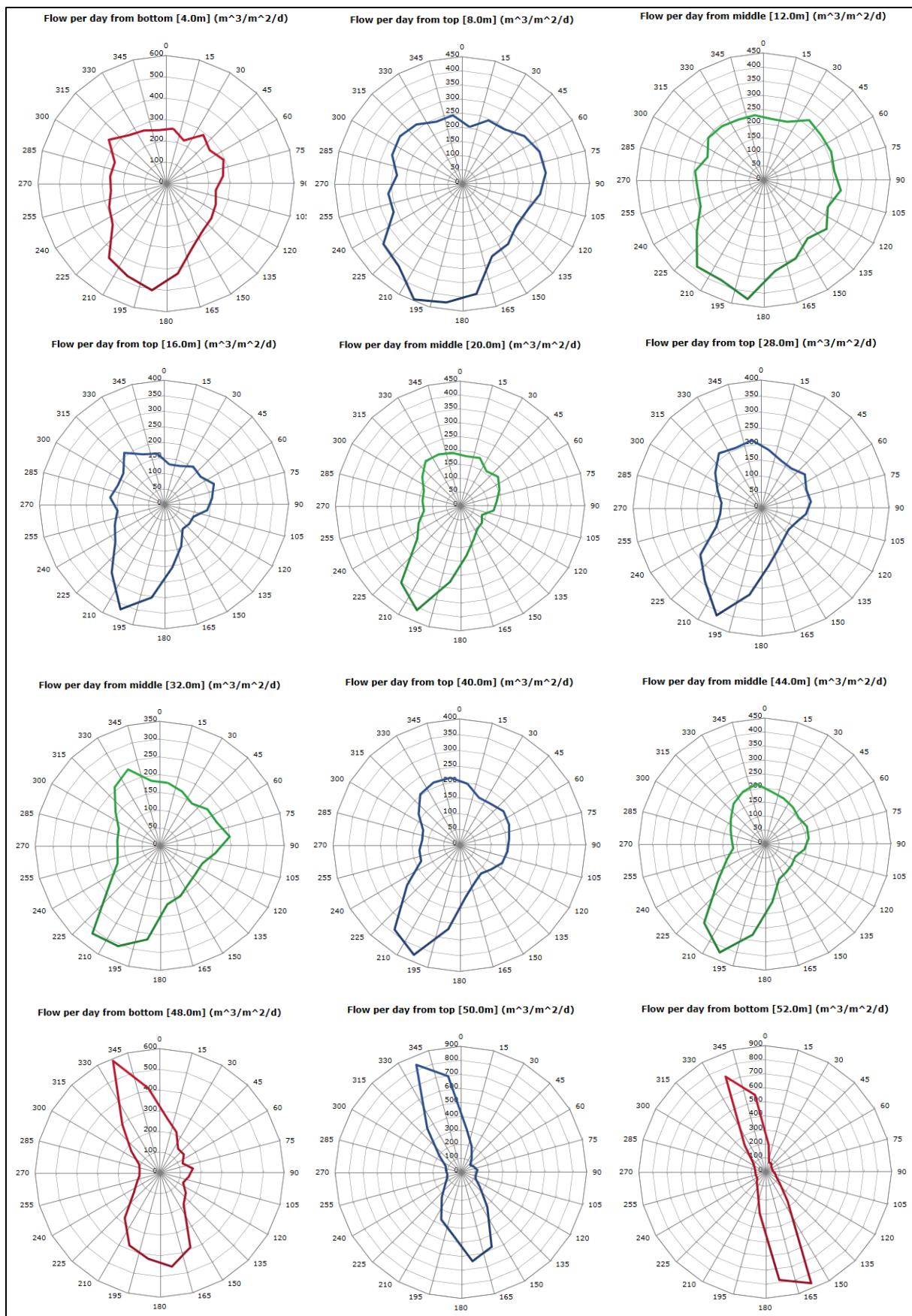
Figur 24. ROV-bilete av botnen på ca. 59 m (oppe) og 62 m djup (nede) om lag i området for planlagt avløp. Det er mykje små og store steinar i området, med litt sand innimellan.

HOVUDRIGG VED FLISNESHOLMEN

Hovudriggen stod utplassert på same stad heile måleperioden frå mai 2019 – mai 2020. Hovudføremålet her var å måle straum for å kalibrere modelleringa av straumbiletet ved Kvasneset/Flisnesholmen og sjøområda rundt.

Det var forholdsvis lite variasjon i straumbiletet her mellom dei ulike måleperiodane. Gjennomsnittleg straumhastigheit var 10-12 cm/s i overflata på 2 m djup, og minna til 7-8 cm/s på ca. 5 – 15 m djup (**vedlegg 2**). Vidare ned mot vel 40 m djup var snitthastigheita rundt 4-6 cm/s, før det auka litt til ca. 7-9 cm/s dei siste metrane ned mot botnen. Den maksimale straumhastigheita viste ikkje så stor variasjon gjennom vassøyla som ved avløpspunktet. Dei øvste få metrane var maksstraumen rundt 40-60 cm/s, deretter varierte maksstraumen for det meste mellom ca. 25-45 cm/s nedover vassøyla, med ein viss auke ned mot botnen dei fleste måleperiodane til rundt 50-65 cm/s, med 72 cm/s som det høgaste den 13. august 2019.

Dei øvste ca. 15 metrane gjekk straumen i dei fleste retningar, men det var ei viss overvekt mot sør til sørvest, og litt mot aust (**figur 25**). Mellom ca. 20 og 45 meters djupne var det for det meste ei tydeleg overvekt av straum mot sør til sør-sørvest, men også ein del mot aust til nordaust nokre periodar. Dei siste 5-7 metrane ned mot botnen dreia straumen noko, og det var om lag like mykje vasstransport i om lag sørleg og nordleg retning (**figur 25**), eller litt meir mot sør-aust – nordvest eller sørvest – nordaust eit par av måleperiodane (**vedlegg 3**).



Figur 25. Eksempel på straumroser for vasstransport (relativ flux) på utvalde djup for måleperioden 10. september – 12. november 2019 ved Flisnesholmen. Sjå vedlegg 3 for flere straumroser.

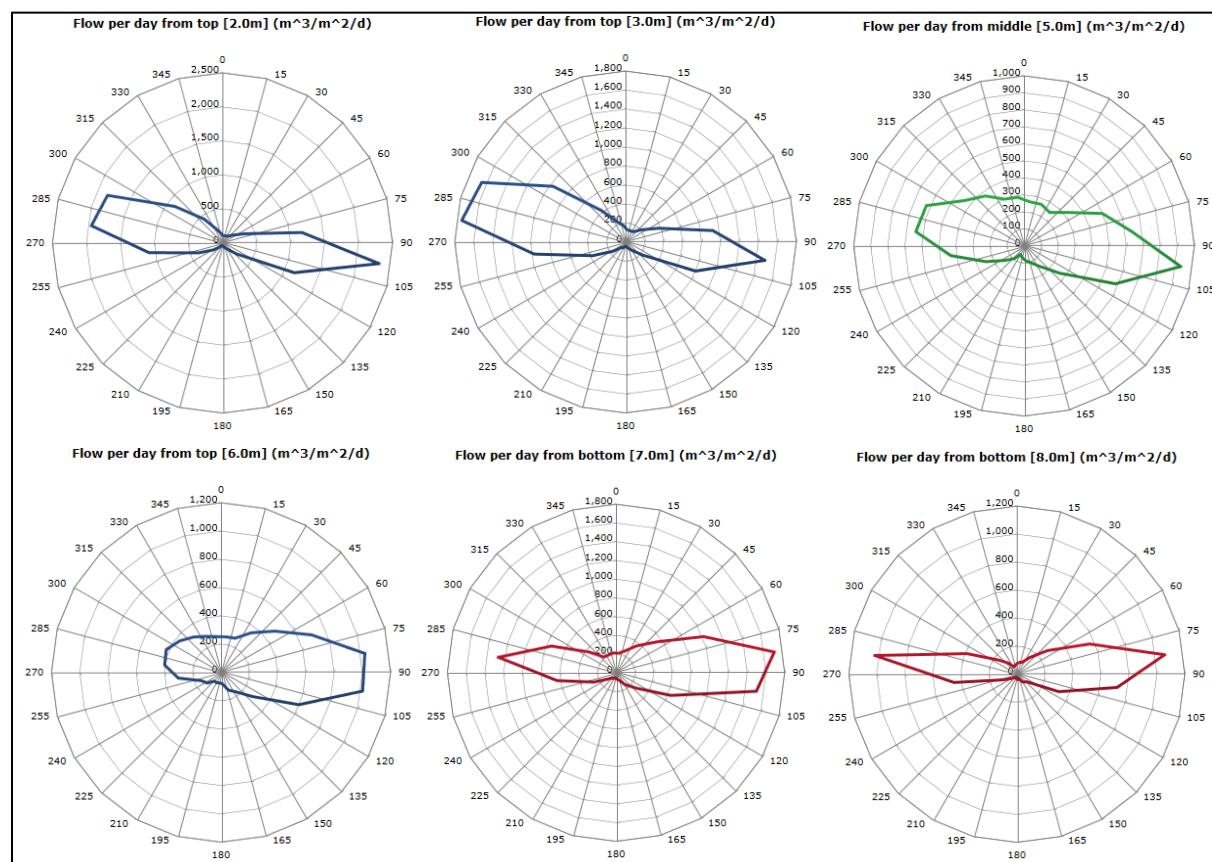
SUPPLERANDE MÅLINGAR

Vegsundet

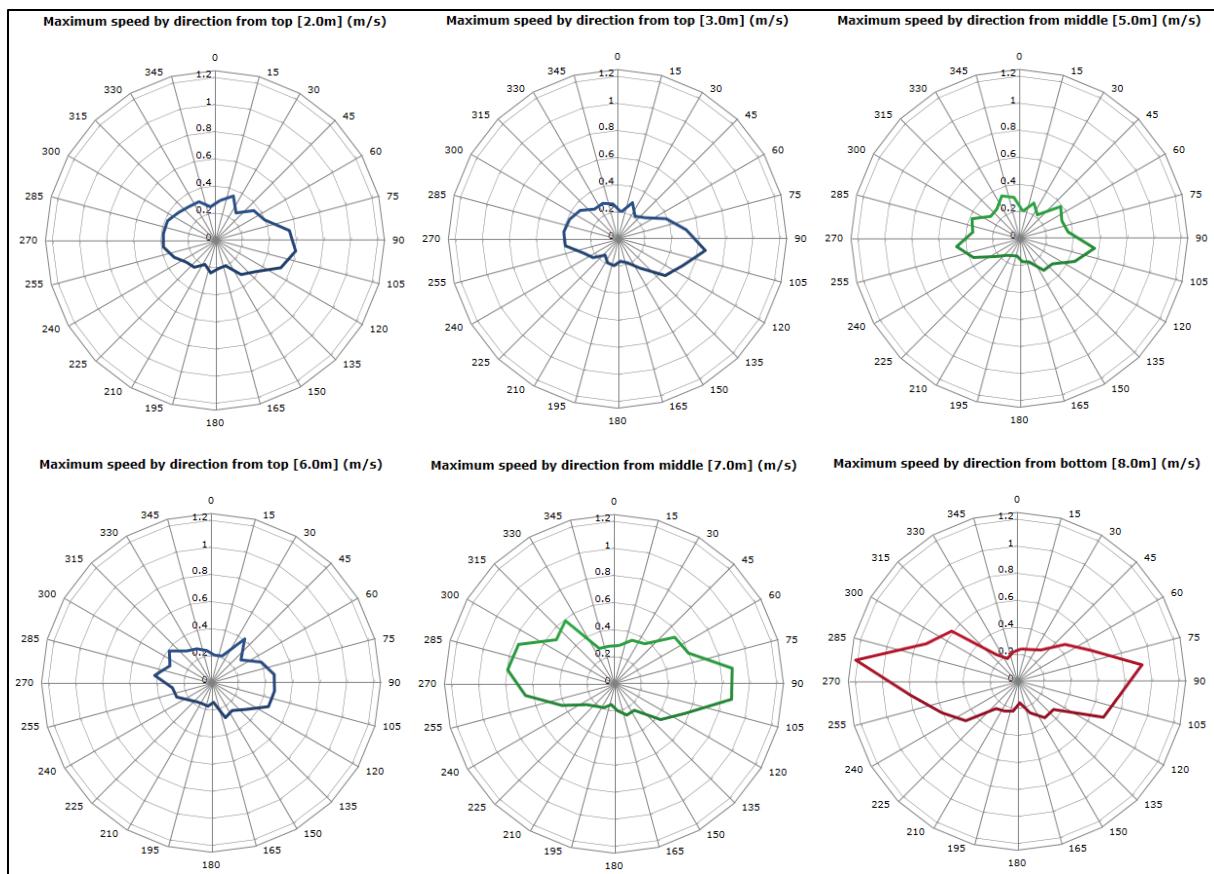
Det vart målt straum ved innløpet til Vegsundet i perioden 14. mai – 9. juli 2019 (**figur 8**). Føremålet her var å sjå på vasstransporten og tidevasseffekten gjennom sundet, for å kalibrere modelleringa av sjøområdet.

Straumen gjekk i all hovudsak att og fram i sundet, om lag i retning aust – vest. Dei øvste 3-4 metrane ved målestaden var det ei lita overvekt av vasstransport i vestleg retning, medan det var ei viss overvekt av vasstransport i austleg retning frå 5 – 8 meters djup (**figur 26**). Den maksimale straumhastigheita var sterkest mot aust på alle djup utanom ved botnen på 8 m djup, der straumen var sterkest mot vest (**figur 27**). Den sterkeste straumen var ca. 50-60 cm/s ned til 6 m djup, men auka til 88 cm/s på 7 m djup og 120 cm/s på 8 m djup (**figur 27**).

Hovudresultata med dominans av straum i austleg og vestleg retning er om lag det same som ved tidlegare målingar i sundet i 1990, men den gong vart det i øvre vasslag målt ei viss overvekt av straum i austleg retning, og sterkest straum mot vest (Molvær m. fl. 1991). Målarane stod på 1,5-2 m djup på kvar si side av sundet, og den reelle måleperioden var relativt kort på 6-10 dagar på grunn av tang i rotoren på straummålaren. Ein kort måleperiode kan mogeleg også forklare at den maksimale hastigheita då berre vart målt til ca 35 cm/s, men det er også kjent at rotormålalarar generelt måler noko lågare straumhastigheit enn dopplermålalarar, som vart nytta i 2019 (Golmen & Sundfjord 1999).



Figur 26. Straumrosor for vasstransport (relativ flux) på utvalde djup i perioden 14. mai – 9. juli 2019 i Vegsundet.



Figur 27. Straumrosor for maksimal straumhastighet på utvalde djup i perioden 14. mai – 9. juli 2019 i Vegsundet. Skala for hastighet er lik for alle straumrosene.

MODELLERING AV AVLØPET

Med bakgrunn i ulike tettleiksprofilar, straummålingar og data for avløpet er det utført ei rekke ulike modelleringar av utsleppet med Visual Plume. Det er berekna innlagringdjup, spreing og fortynning, og det har vore spesielt fokus på når ein kan forvente gjennomslag til overflata (sjå "Metode og datagrunnlag: Modellering av utslepp" for definisjonar og forklaringar). Ved dei siste modelleringane er det mellom anna lagt inn eit utsleppsdjup på 60 meter, ein dimensjon på avløpet på 626 mm (evt. 555 mm), samt middel og maks vassmengd i utsleppet på høvesvis 300 og 600 l/s og middel og låg straumhastigkeit.

Modelleringane tyder på at utsleppet mesteparten av tida vil bli innlagra ned i vassøyla. Gjennomslag (dvs. at større eller mindre delar av utsleppet når overflata) ser ikkje ut til å førekommme sommar og tidleg haust, medan det under gitte forutsetningar kan førekommme vinter og vår.

SANNSYNLEGHEIT FOR GJENNOMSLAG

I **tabell 5** er det gjort berekningar av kor stor del av tida ein kan forvente gjennomslag til overflata basert på ei rekke ulike scenario og varierande forutsetningar. Dette vil ikkje vere noko "fasit", men ein indikasjon på hyppigheit av gjennomslag. Her følgjer nokre forutsetningar og berekningar for tabellen:

Kolonne 1: Tettleiksprofilane i sjøen er den klart viktigaste faktoren for om ein får gjennomslag eller ikkje. Det er brukt målte profilar av hydrografi/tettleik frå avløpet annakvar månad i måleperioden. Ein bør ha i bakhovudet at ferskvassinnhaldet og tettleiksprofilane i fjorden ikkje er konstant, men vil endre seg nærmast kontinuerleg. Profilane vil variere gjennom året, og dei vil truleg også variere ein god del frå år til år. Det er her likevel antatt at dei ulike profilane samla gir eit nokolunde representativt bilete av variasjonen gjennom året, og at dei til ein viss grad er representative for årstida dei er tekne.

Kolonne 2 og 4: Modellering i Visual Plumes er her utført med to ulike sett av straumhastigheiter, middel hastigkeit og signifikant låg hastigkeit (jf. **tabell 4**), samt to ulike dimensjonar på utsleppsrøyret (dyse = 626 eller 555 mm).

Kolonne 3 viser kor stor del av tida straumen er svakare enn input-verdien i Visual Plumes. For middel straumhastigkeit vil straumen naturleg nok vere sterkare enn snittet ca. 50 % av tida, og sameleis svakare enn snittet ca. 50 % av tida. Detaljert gjennomgang av straumdata viser at andelen straummålingar som er lågare enn signifikant låg straum utgjer ca. 16 % (14-18 %) av total måletid (gjennomsnittet av dei 1/3 lågaste målingar er også teoretisk 16,667 %).

Kolonne 5: Minimum vassmengd for å få gjennomslag. Som utgangspunkt her er brukt figurar med djupner for toppen av plumen ved fire ulike vassmengder berekna med Visual Plume (**vedlegg 8**). Ut frå figurane er det avlest ca. kva vassmengd som er nødvendig for at plumen akkurat vil bryte overflata (gjennomslag).

Kolonne 6: Verdiane frå kolonne 5 er vidare plotta mot "anslått varighetskurve for utslipps" (**figur 6**) slik at ein finn kor stor del av tida ein minst har den vassmengda som gir gjennomslag.

Kolonne 7: Til sist er estimert andel tid/varigheit av gjennomslag berekna ut frå den samtidige kombinasjonen av stor nok vassmengd og låg nok straumfart. Det er gjort ved å multiplisere verdiane i kolonne 3 med kolonne 6. Då får ein eit samla uttrykk for sannsynleg frekvens av gjennomslag innan kvar måleperiode, for kvar spesifikk straumfart (middels eller låg).

Resultata viser at det ikkje vil førekommme gjennomslag i juli og september med dei tettleiksprofilane som var då (**tabell 5**). Motsett vil ein ha størst frekvens av gjennomslag dersom tettleiksprofilen er slik som den var i november og mai 2019, med ca. 15 – 16 % av tida. For mars og januar kan ein forvente gjennomslag om lag 4 – 6 % av tida med ein dimensjon på avløpet på 555 mm, medan frekvensen med ein profil som i mai 2020 vil vere nede i 0,5 % (3,6 timer i månaden). Ut frå tabellen ser ein også at ein

må over 600 l/s vassmengd for i det heile teke å få gjennomslag i mai 2020, og med tanke på at dette normalt er ein relativt tørr månad, er det i praksis lite sannsynleg at ein vil få gjennomslag med ein tettleiksprofil som målt i mai 2020.

Av tabellen ser ein også variasjonen ein kan ha mellom ulike periodar og ulike år. Til dømes er berekningane frå mai 2019 og 2020 ganske ulike, basert på to ulike tettleiksprofilar (**tabell 5**). Situasjonen vil også endre seg innanfor kvar av dei ulike periodane/månadane i tabellen, noko desse berekningane ikkje tek høgde for. Periodar som gir mykje gjennomslag er oftast korrelert med lite ferskvatn i fjorden, som november 2019. Data frå målestasjonen på Ørskog viser at det ikkje var nedbør dei siste to vekene før prøvetaking 12. november 2019, og berre 43 mm dei fire føregåande vekene i oktober. Dei siste to vekene før prøvetaking 14. mai 2019 var det derimot ein del nedbør (ca. 109 mm), men då var til gjengjeld april eksepsjonelt tørr, med ca 8 mm nedbør i perioden ein har målingar frå (7. – 30. april).

Tabell 5. Estimering av tid/varighet for gjennomslag. Sjå tekst for forklaring. Blå utheving representerer dimensjon 555 mm, som truleg er mest aktuell å bruke på avløpet.

Datasett hydrografi/tettleik	Type straum hydrografiskt brukt i berekningar	Straumen er lågare enn verdien for "Middel"/"Låg" (% av tid)		Dimensjon av dyse (mm)	Minimum vassmengd for å få gjennomslag (l/s)	Gjennomslag i høve til vassmengd (% av tid)	Frekvens av gjennomslag (% kombinert tid straum og vassmengd)
		Middel	Låg				
mai.19	Middel	50	50	626	300	30	15
				555	300	30	15
	Låg	16	16	626	114	90	14,4
				555	114	90	14,4
jul.19	Middel	50	50	626	>>700	0	0
				555	>>700	0	0
	Låg	16	16	626	>>700	0	0
				555	>>700	0	0
sep.19	Middel	50	50	626	>>700	0	0
				555	>>700	0	0
	Låg	16	16	626	>>700	0	0
				555	>>700	0	0
nov.19	Middel	50	50	626	300	30	15
				555	330	26	13
	Låg	16	16	626	<100	100	16
				555	<100	100	16
jan.20	Middel	50	50	626	650	1	0,5
				555	700	0,5	0,25
	Låg	16	16	626	220	50	8
				555	250	40	6,4
mar.20	Middel	50	50	626	>700	0	0
				555	>700	0	0
	Låg	16	16	626	300	30	4,8
				555	330	26	4,2
mai.20	Middel	50	50	626	>700	0	0
				555	>700	0	0
	Låg	16	16	626	500	10	1,6
				555	600	3	0,5

Det er verdt å merke seg at frekvensane for gjennomslag for dei ulike straumhastigheitene ikkje skal summerast, men at det er den høgaste verdien av dei to som gjeld. Det vil også kunne førekomme andre kombinasjonar av straumhastigkeit og vassmengd som truleg gir noko høgare frekvens av gjennomslag enn dei som kjem fram av tabellen.

INNLAGRINGSDJUP OG FORTYNNING

Tettleiksprofilane i sjøen er den klart viktigaste faktoren for kor djupt utsleppet blir innlagra, og som nemnt om ein får gjennomslag eller ikkje. Dersom ein har mykje ferskvatn i vassøyla og låg tettleik, som ved målingane i juli og september, vil utsleppet bli innlagra godt ned i vassmassane (**tabell 6, figur 28** og **figur 29**). Dersom det er mindre ferskvatn vil utsleppet nærme seg overflata (som i mars 2020, **figur 30**) eller kome heilt opp (som i november 2019, **figur 31**). Mengda ferskvatn i fjorden er m.a. avhengig av varierande nedbør og snøsmelting, samt at vind og vindretning kan påverke ein god del, til dømes som oppstuing av ferskvatn ved pålandsvind.

Ein tilnærma "gjennomsnittleg" situasjon kan seiast å vere ein situasjon med middel straumfart og ei middels vassmengd i avløpet på 300 l/s (**tabell 6**), sjølv om vassmengda i avløpet vil vere mindre enn 300 l/s nesten 70 % av tida i 2050 (jf. **figur 6**). Det einaste tidspunktet ein får gjennomslag ved middel straumhastigkeit er dersom ein har ein tettleiksprofil som i november 2019, med svært lite ferskvatn i vassøyla (jf. **figur 15**), sjølv om mai 2019 også ligg svært nær.

Tabell 6. Djupne for topp og senter av plumen, samt fortynningsgrad ved senterlinje og gjennomsnittleg fortynning i plumen ved innlagring for ulike tidspunkt og med ulike vassmengder (rater) og hastigkeit i utsleppet. Det er berekna med ein opning i røyret på 626 mm, og for **midt** straumhastigkeit.

datasett	rate ut (l/s)	hastigkeit ut (m/s)	topp plume ved innlagring (m)	senter plume ved innlagring (m)	centerline fortynning ved innlagring	gjennomsnittlig fortynning ved innlagring
mai.19	300	0,975	0,5	17	79	173
mai.19	600	1,949	0	14	59	125
Jul.19	300	0,975	25	35	39	86
Jul.19	600	1,949	20	32	32	67
sep.19	300	0,975	39	46	24	53
sep.19	600	1,949	36	44	20	42
nov.19	300	0,975	0	15	76	199
nov.19	600	1,949	0	7	76	165
jan.20	300	0,975	12	26	55	129
jan.20	600	1,949	2	19	48	111
mar.20	300	0,975	13	26	54	124
mar.20	600	1,949	5	21	46	103
mai.20	300	0,975	14	27	53	120
mai.20	600	1,949	7	23	44	96

Straumhastigheita betyr også mykje for innlagring av utsleppet. Dersom ein brukar signifikant låg hastigkeit (gjennomsnitt av dei lågaste $\frac{1}{3}$ av målingane) ser ein at ein får gjennomslag eller nesten gjennomslag ved fleire høve, i hovudsak når det er middels til lite ferskvatn i fjorden (**tabell 7**). Låg straum vil stort sett førekomme i kortare periodar innimellom periodar med sterke straum. Det betyr at dersom tilhøva elles ligg til rette for det, kan ein ha veksling mellom gjennomslag i kortare periodar og ingen gjennomslag i kortare eller lengre periodar imellom. Anslag for total frekvens går fram av **tabell 5**).

Dersom vassmengda i utsleppet aukar blir også sjansen for gjennomslag noko større, og ved å auke

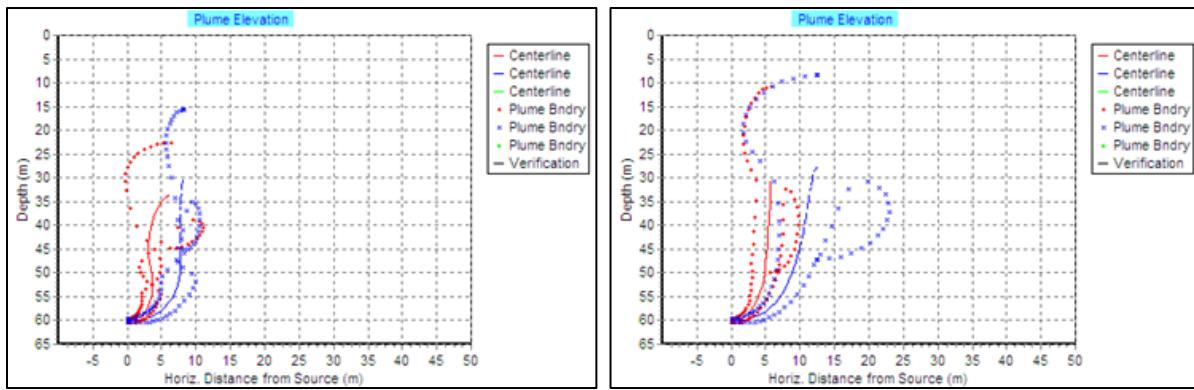
vassmengda frå 300 l/s til 600 l/s vil ein få gjennomslag ved ein tettleiksprofil som i mai 2019 og middelstraumhastigkeit, samt ved låg straumhastigkeit og tettleiksprofil som i mars og mai 2020 (**tabell 6** og **tabell 7**). Det er imidlertid ikkje ofte at vassmengda overstig 600 l/s, dette er berekna å skje ca. 3 % av tida i 2050, eller om lag 11 dagar i året. Maksimal vassmengd vil som regel også førekome når det er store nedbørsmengder, ein situasjon som samtidig aukar ferskvasstilførsla til fjorden, og såleis kanskje hindrar gjennomslag i fleire av desse tilfella. Store vassmengder i avløpet og lite ferskvatn i fjorden er to situasjonar som til dels vil gjensidig utelukke kvarandre.

Tabell 7. Djupne for topp og senter av plumen, samt fortynningsgrad ved senterlinje og gjennomsnittleg fortynning i plumen ved innlagring for ulike tidspunkt og med ulike vassmengder/hastigkeit i utsleppet. Det er berekna med ein opning i røyret på 626 mm, og for låg straumhastigkeit (signifikant minimum).

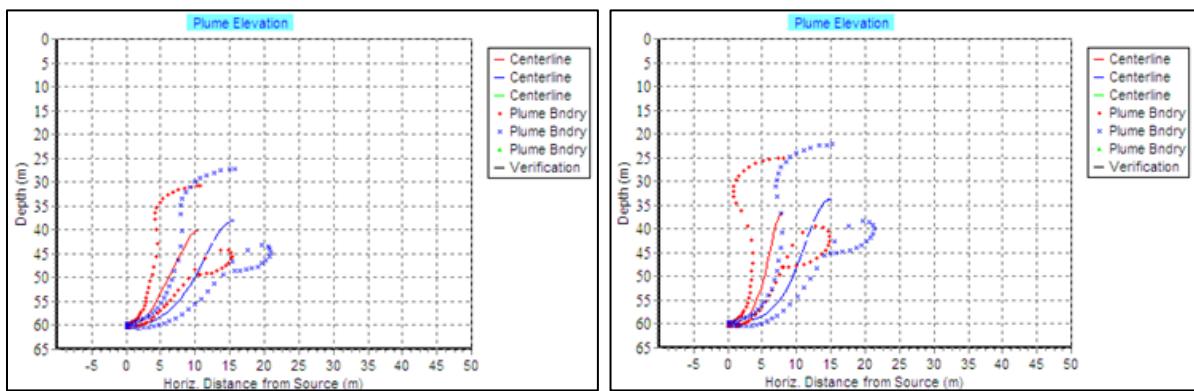
datasett	rate ut (l/s)	hastigkeit ut (m/s)	topp plume ved innlagring (m)	senter plume ved innlagring (m)	centerline fortynning ved innlagring	gjennomsnittlig fortynning ved innlagring
mai.19	300	0,975	0	14	64	126
mai.19	600	1,949	0	12	50	99
jul.19	300	0,975	17	32	32	64
jul.19	600	1,949	14	29	27	53
sep.19	300	0,975	33	42	17	35
sep.19	600	1,949	31	40	16	31
nov.19	300	0,975	0	1,5	87	169
nov.19	600	1,949	0	1	66	128
jan.20	300	0,975	0	16	54	111
jan.20	600	1,949	0	10	49	99
mar.20	300	0,975	0,1	19	50	102
mar.20	600	1,949	0	13	44	89
mai.20	300	0,975	4	22	46	93
mai.20	600	1,949	0	18	39	78

Nedanfor er vist eksemplifigurar frå Visual Plumes på innlagring ved ulike situasjonar sommar, haust og vinter/vår (**figur 28 - figur 30**). Her er modellert med ein indre røyrdiameter på 0,6547 meter, medan nyare oppdateringar tyder på ein indre diameter på 0,626 eller mest truleg 0,555 m. Ein litt mindre diameter på røyret vil gje litt høgare fart på vatnet ut av røyret, og følgjeleg innlagring litt djupare enn figurane viser. Skilnaden er likevel ikkje stor, for det meste truleg rundt 2-3 meter eller mindre. I tillegg er det skilnad i vassmengd, ei litt lågare vassmengd i dei nye berekningane gir (også) litt djupare innlagring.

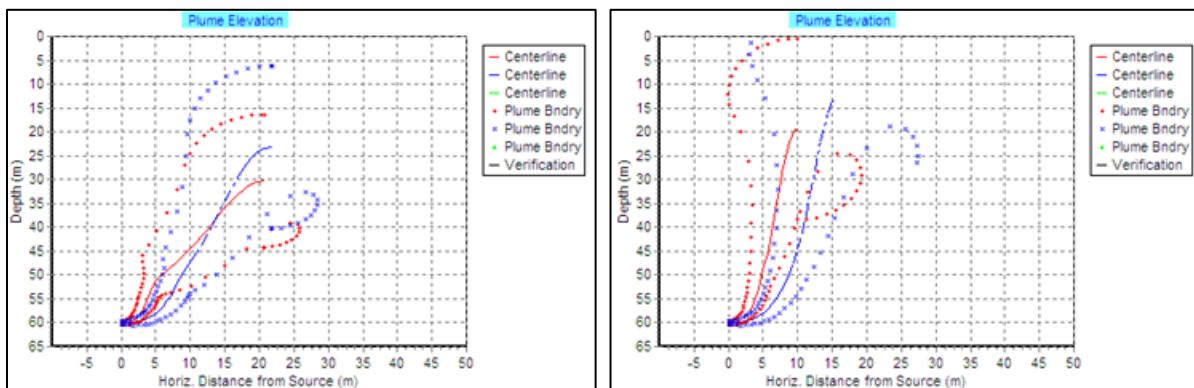
Det er også teke med ein eksemplifigur med profil frå november 2019, som er den profilen som gir størst oppdrift og tydelegast gjennomslag (**figur 31**). Her er modellert med oppdaterte tal som gitt i **tabell 6** og **tabell 7**.



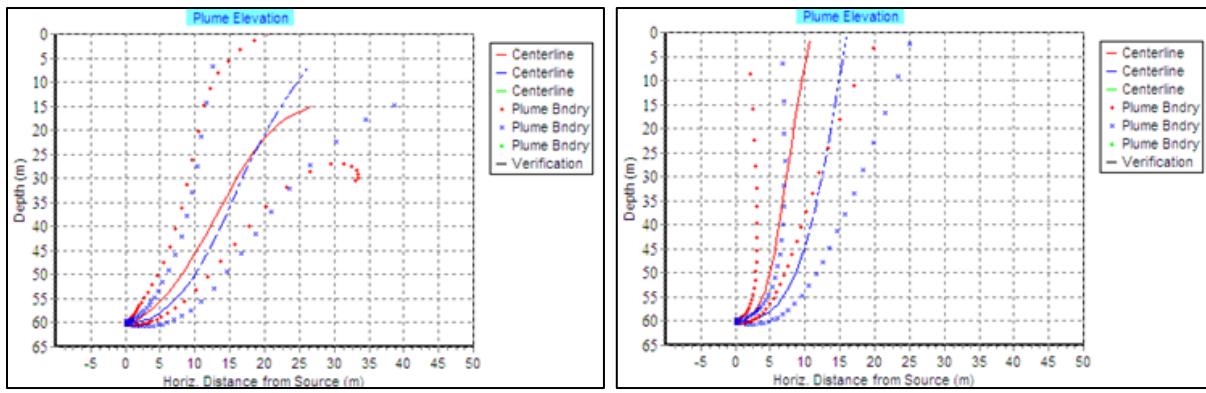
Figur 28. Innlagring ved ein sommarsituasjon, med profil frå juli. Middel straum t.v. og låg straum t.h. Utsleppsdiameeter 0,6547 m, raud 324 l/s; blå 650 l/s.



Figur 29. Innlagring ved ein haustsituasjon, med profil frå september. Middel straum t.v. og låg straum t.h. Utsleppsdiameeter 0,6547 m, raud 324 l/s; blå 650 l/s.



Figur 30. Innlagring ved ein vintersituasjon, med profil frå mars. Middel straum t.v. og låg straum t.h. Utsleppsdiameeter 0,6547 m, raud 324 l/s; blå 650 l/s.



Figur 31. Innlagring ved profil med størst oppdrift, frå november. Middel straum t.v. og låg straum t.h. Utsleppsdiameeter 0,626 m, raud 300 l/s; blå 600 l/s.

ANDRE MODELLERINGAR

Det er gjort fleire ulike modelleringar i Visual Plumes i tillegg til dei ovanfor, mellom anna for ulike typar diffusor og for andre djupner og dimensjonar på avløp. Resultat med tekst og figurar for desse er plassert i **vedlegg 4-7**. Sjå også ulike punkt i diskusjonen under "Tilrådd løysing for avløp".

MODELLERING AV SPREIING I FJORDSYSTEMET MED FINEL3D

Posisjon for modellering av avløp er N 62° 24,980' / Ø 6° 21,730', med djupne 60 meter. Med ein ferdigkalibrert modell kan det utførast forskjellige utsleppscenario. Det er i hovudsak modellert med tanke på spreiing og fortynning av E.coli, men modellen vil også gi eit godt bilet av spreiing og fortynning at t.d. næringssalt. Utslepp av forureining vert modellert som passivt sporstoff i modellen, og ein viser konsentrasjonsforløp og fortynning langs kysten og inn i dei ulike sunda.

Det er viktig å merke seg at modellen slik den er presentert her viser fortynnungsgrad, og ikkje spesifikke konsentrasjonar. For å finne konsentrasjonar av ulike stoff ut over i fjorden og resipienten må ein kjenne utgangspunktet, dvs. kor store restkonsentrasjonar ein har av t.d. E. coli etter reinsing i anlegget og fortynning fram til innlagring i vassøyla (som modellert i Visual Plumes). Med berekna tal på utgangskonsentrasjonar kan ein sidan putte desse inn i modellen over fortynnungsgrad og finne konsentrasjonar ulike stader i området.

Som eit eksempel kan ein ta utgangspunkt i ein konsentrasjon av tarmbakteriar på ca 34 E. coli /ml (eller 3400 E. coli/100 ml), som er om lag den høgste konsentrasjonen i overflata som er berekna for utsleppet i Visual Plumes (sjå diskusjonen bak for berekningar etc.). Dersom ein samanliknar dette med grenseverdien for kva som er rekna som "Godt eigna" for bading og rekreasjon, som er <100 E. coli/100 ml (SFT 1997), ser ein at ein må ha ein vidare fortynnungsgrad på minst 34 gonger for å kome inn under "god" badevasskvalitet. Resultat frå dei ulike berekna scenario tyder på at minimum fortynnungsgrad er 800 gonger inne ved land ved Kvasneset, og raskt aukande til 1500-2000 x fortynning innover mot Vågen. Konsentrasjonen av E. coli vil følgjeleg vere langt under grenseverdien for "god" badevasskvalitet i heile området langs land.

Resultat på dei neste sidene er i all hovudsak henta frå Asplan Viak (Dam 2020): (Sjå også **vedlegg 9**). Fleire av modelleringane er basert på ekstreme situasjoner, med tilnærma maksimal vassføring i avløpet og ikkje noko ferskvatn i fjorden (**tabell 8**). Dette er gjort for å få eit bilet på ytterpunktene av kva ein kan forvente ("worst case scenario").

SCENARIER OG ANTAKELSER

I dette kapitlet viser vi resultater av utsleppscenarier. Fokus er på situasjoner hvor det er gjennomslag av utslippsvannet til overflaten og spredning av utslippsvannet på overflaten. Visual Plumes resultater viser at lav stratifikasjon (lagdeling) og lav strømhastighet er viktige parametere for gjennomslag. Derfor er fokus på situasjoner med mindre/ingen ferskvannavrenning og mindre strømhastighet.

Vi har kjørt følgende utsleppscenarier:

Tabell 8. Definisjon av utsleppscenarier.

Scenario	Vannføring utslepp	Ferskvannsavrenning elver
1. Mye ferskvannsavrenning	600 l/s	3x gjennomsnitt
2. Mindre ferskvannsavrenning	600 l/s	0,5x gjennomsnitt
3. Bare tidevann	600 l/s	Ingen
4. Bare tidevann	300 l/s	Ingen
5. Sørvestlig høststorm 10 m/s	600 l/s	Ingen

Vi antar at *E. coli* bakterier kan overleve maksimum 2 dager i vann. Derfor kjører vi modellen med 2 dagers utsipp og viser fortynningen på overflaten, bunnen og i tverrsnitt. Videre antar vi at der er ingen dødelighet av *E. coli* i løpet av modelleringsperioden. Dette gir særlig konservative resultater siden en del av *E. coli* bakterier dør i løpet av 2 dager.

Vi antar at utslippsvannet er ferskvann, det vil si null saltholdighet. I realiteten er tettheten av utslippsvannet litt høyere enn for ferskvann på grunn av innhold av gjenværende forurensning i utslippsvannet som innvirker på saliniteten (f.eks. næringssalter). Også innlekkning av sjøvann kan skje på grunn av dårlig avløpsnett i Ålesund/Sula. Vi har ikke noe mer informasjon om dette og antar at utslippsvannet er 100 % ferskvann. Antakelsen om null saltholdighet i utslippsvannet gjør at 'plumen' stiger mer opp til overflaten. Dette gir mest konservative fortynningsresultater for overflaten.

Gjennomsnittlig utslippsrate er 300 l/s, men i noen tilfeller, f.eks. ved mye nedbør og innlekkning til avløpsnettet, kan dette gå opp til 600 l/s. Konsentrasjon av stoffer er dermed lavere siden stoffene i utslippsvannet blir mer fortynnet. Vi kjører allikevel modellen med 600 l/s utslippsrate som konservativ antakelse siden dette viser maksimum spredning av partikler i far-field. Vi utfører også et scenario med 300 l/s.

Vi påpeker at dette er en far-field modell. Rundt utslipspunktet er oppløsningen ikke bra nok til å gi troverdige resultater for fortynningsfaktor. For 'near-field' resultater av innlagring og fortynning viser vi til Visual Plumes-resultatene.

RESULTAT FRÅ DEI ULIKE SCENARIENE

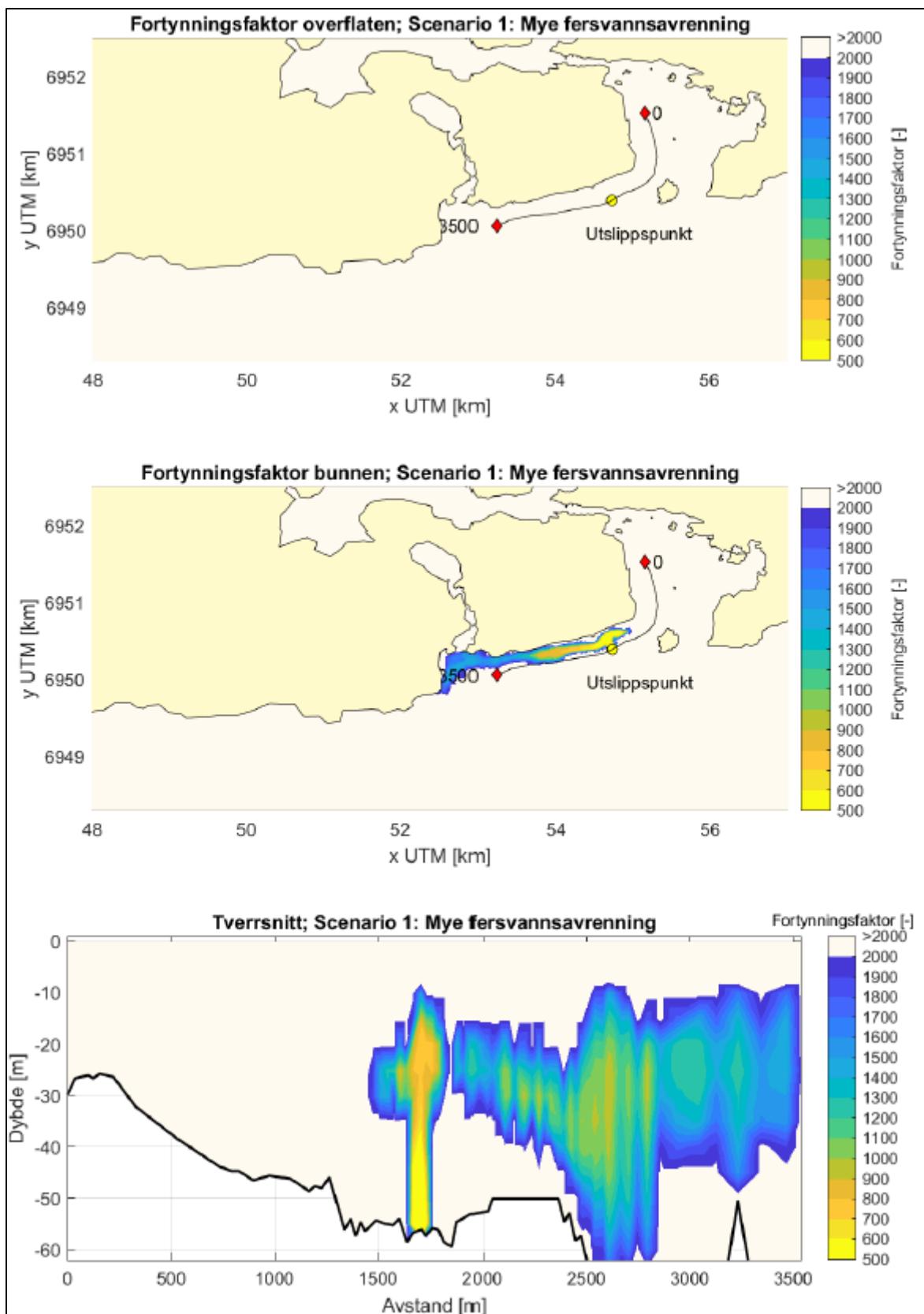
Figur 32 viser resultater fra modellering av Scenario 1 med mye ferskvannavrenning. Det viser seg at utslippsvannet ikke har gjennomslag til overflaten pga. ferskvannslaget. På grunn av den dominerende strømningsretningen i vestlig retning mot havet i denne situasjonen (se kalibreringskapittel) sprer utslippsvannet seg vestover. På overflaten og i Vågen finnes neglisjerbare konsentrasjoner.

Scenario 2 er en situasjon hvor utslippsvannet har gjennomslag til overflaten (**figur 33**). På overflaten sprer utslippsvannet seg i både østlig og vestlig retning. En del av utslippsvannet kommer inn i Vågen. Minimum fortynningsfaktor mot land ved Vågen er på rundt 800x (som gir høyeste konsentrasjon av forurensning). Litt lengre inn i Vågen går fortynningsfaktor opp til 2000x.

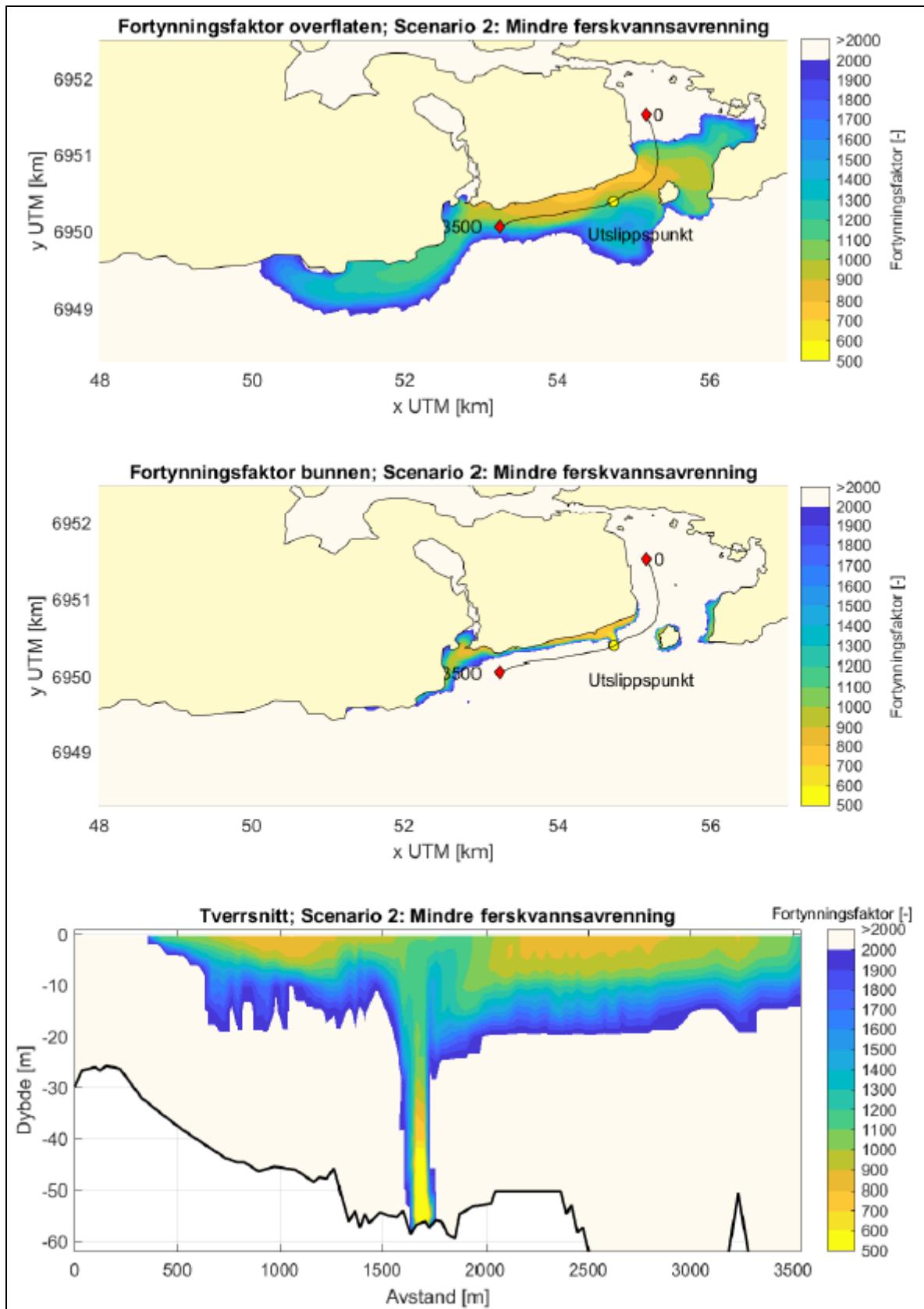
Scenario 3 er bare tidevannsstrømning uten ferskvannsavrenning (**figur 34**) med utslippsrate på 600 l/s. Vi får da gjennomslag av utslippsvannet til overflaten. Utslippsvannet sprer seg omrent som i høstsituasjonen, og en del av utslippsvannet kommer inn i Vågen. Minimum fortynningsfaktor er også rundt 800x inn mot land ved Vågen.

Scenario 4 er det samme som Scenario 3, men utslippsrate er 300 l/s. Dette er en gjennomsnittsrate for utsippet. **Figur 35** viser fortynningen i dette scenariet. Fortynningsfaktor ligger på rundt 1200-1300x inn mot land ved Vågen. Selv om dette scenariet får en høyere fortynningsfaktor enn Scenario 3 (rundt 800) er konsentrasjonen i vannet sannsynligvis høyere fordi stoffer i utslippsvannet er mer koncentrert ved 300 l/s enn 600 l/s.

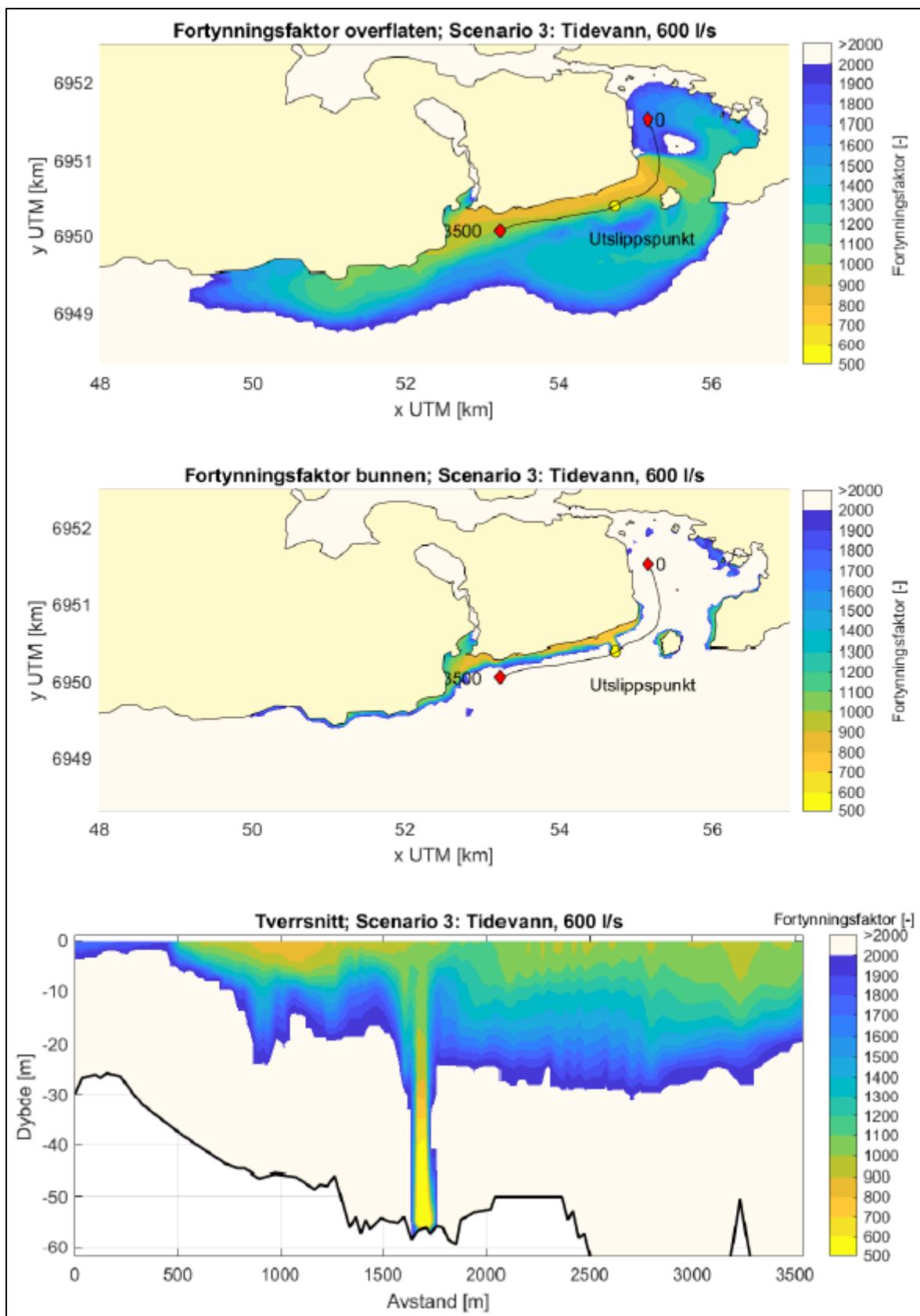
Scenario 5 er en høststorm med konstant vind på 10 m/s fra sørvest. En storm pleier å ha høyere vindhastighet (≥ 20 m/s), men varer aldri to dager. Vi kjører derfor med en mer gjennomsnittlig vindhastighet på 10 m/s over 2 dager. Hvis vi hadde kjørt med konstant vind på 20 m/s kommer det til å vise mer fortynning enn dette scenario. Resultatene (**figur 36**) viser at strømningen på overflaten er høy og rettet mot (nord)øst. Vi ser at alt utslippsvannet sprer seg østover til Flisnesholmen med minste fortynning på ca. 800x. På litt lengre avstand går fortynningen raskt opp mot 2000x. Fortynningen fortsetter pga. høy strømhastighet, men faktoren er da allerede mer enn 2000 og vises som hvit.



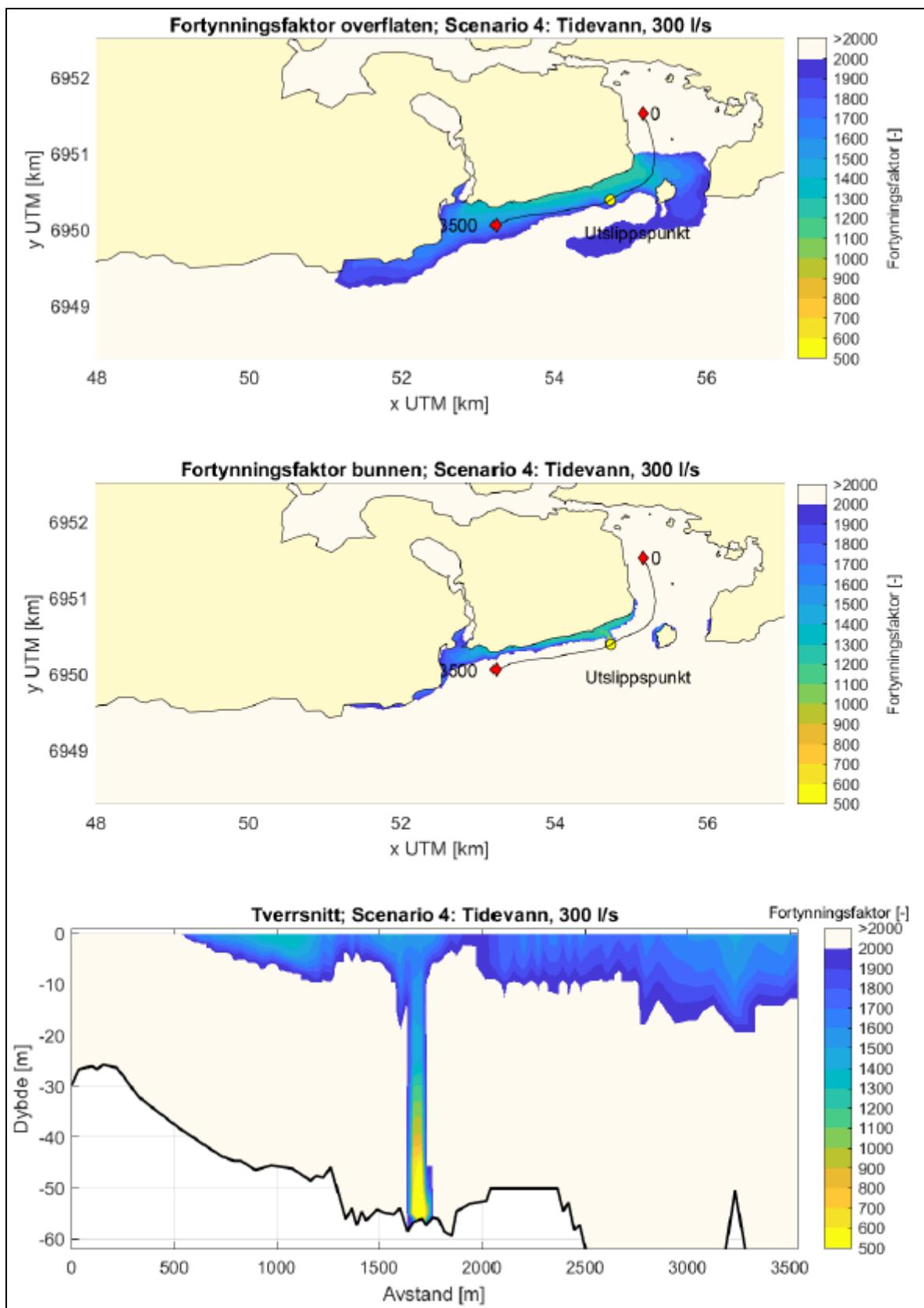
Figur 32. Fortynningsfaktor Scenario 1: Mye ferskvassavrenning. Resultat etter 2 dagar utslepp. Ein fortynningsfaktor >2000 blir vist som kvit. Tala i overflate/botn figuren indikerer avstand av tverrsnittet. Øvste panel (overflate) viser at ingen sporstoff kjem opp i overflata, medan panelet i midten viser fortynningsgrad langs botnen og at sporstoff i hovudsak går vestover. Nedste panel viser eit tverrsnitt av vassøyla der ein ser at ikkje noko kjem opp i overflata, men i hovudsak blir innlagra midi i vassøyla.



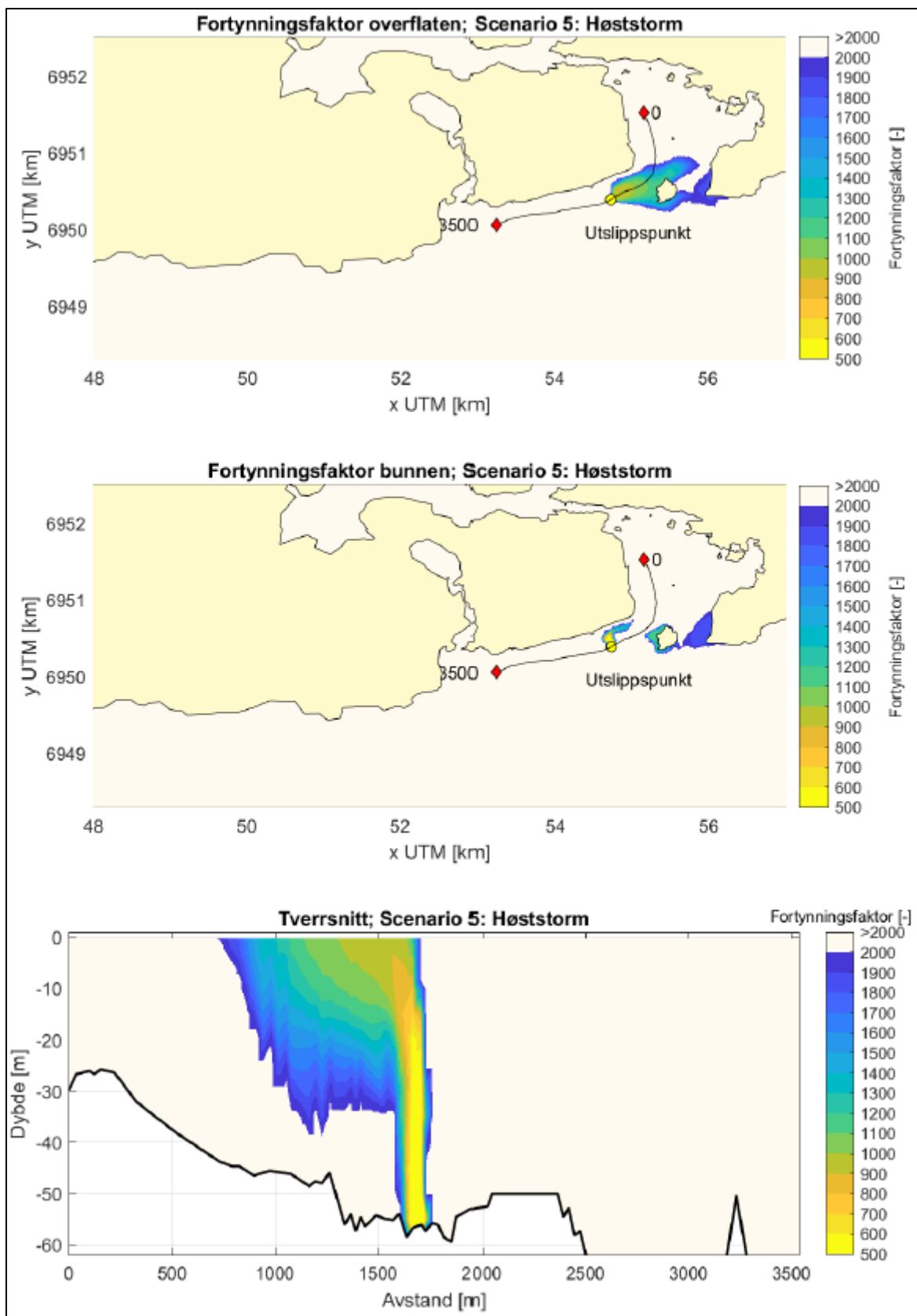
Figur 33. Fortynningsfaktor Scenario 2: Mindre ferskvassavrenning. Resultat etter 2 dagar utslepp. Ein fortynningsfaktor >2000 blir vist som kvit. Tala i overflate/botn figuren indikerer avstand av tverrsnittet. Øvste panel viser fortynningsgrad på 800-1000x i overflata frå Kvasneset til Sunde, og over 1500-2000x frå midt i Vågen og vest for Eikremsvika. Panel i midten viser fortynningsgrad langs botn. Nedste panel viser eit tverrsnitt av vassøyla der ein ser at mesteparten av sporstoff blir spreidd mellom 0-20 meter.



Figur 34. Fortynningsfaktor Scenario 3: Tidevatn og med 600 l/s utslepp (utan ferskvassavrenning). Resultat etter 2 dagar utslepp. Ein fortynningsfaktor >2000 blir vist som kvit. Tala i overflate/botn figuren indikerer avstand av tverrsnittet. Nokså lik førra figur (figur 33: med litt ferskvassavrenning), men med litt høgare fortynning inne langs land ved Kvasneset, og til gjengjeld noko større utbreiing i overflata elles (øvre panel).

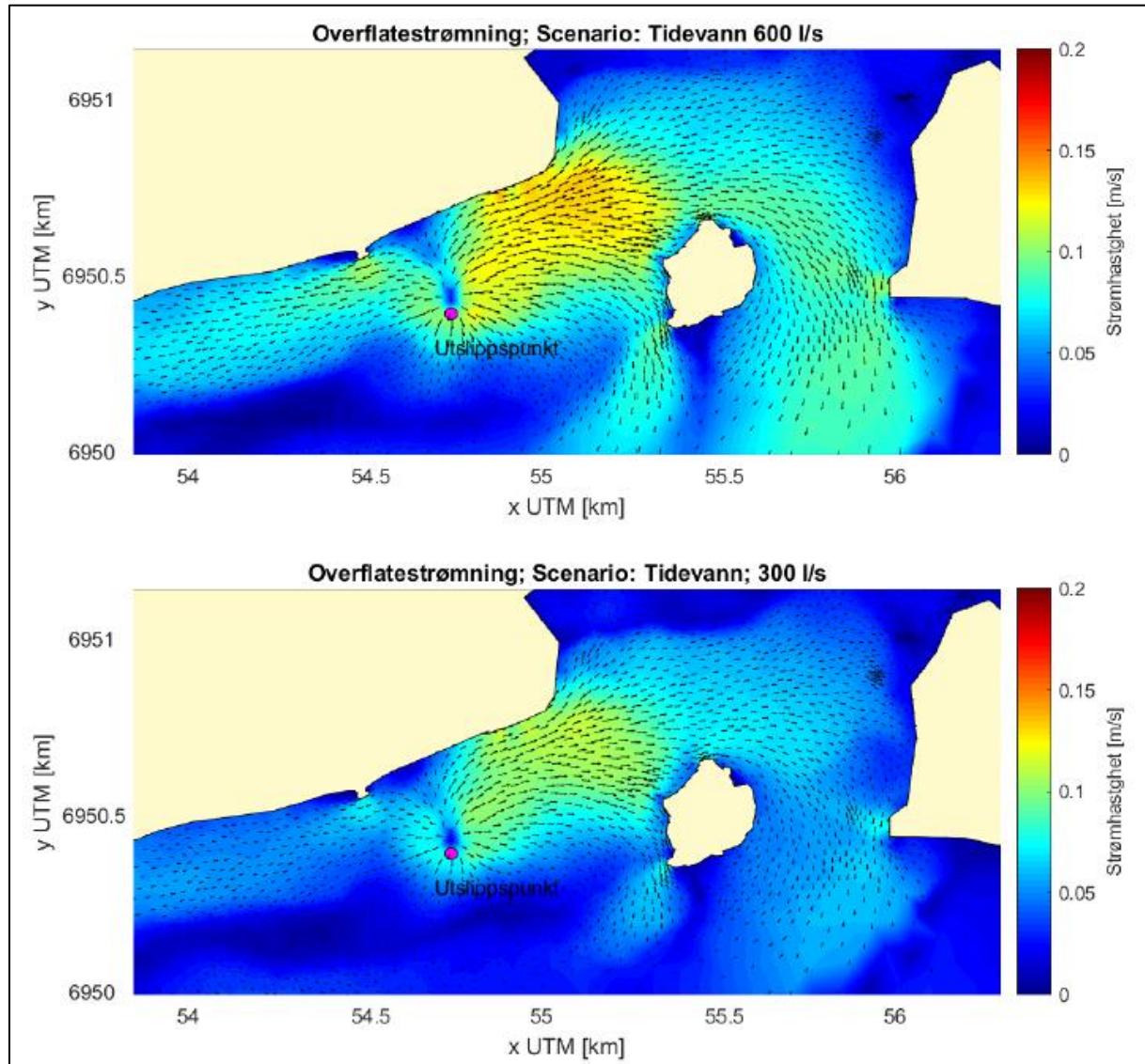


Figur 35. Fortynningsfaktor Scenario 4: Tidevatn og med 300 l/s utslepp (utan ferskvassavrenning). Resultat etter 2 dagar utslepp. Ein fortynningsfaktor >2000 blir vist som kvit. Tala i overflate/botn figuren indikerer avstand av tverrsnittet. Med middel vassføring i avløpet (=halvparten av dei andre scenario) vert fortynningsgraden større.



Figur 36. Fortynningsfaktor Scenario 5: Hauststorm frå SV. Resultat etter 2 dagar utslepp (utan ferskvassavrenning). Ein fortynningsfaktor >2000 blir vist som kvit. Tala i overflat/botn figuren indikerer avstand av tverrsnittet. Storm frå sørvest gir relativt rask fortynning i vassmassane, og det meste blir ført i retning Flisnesholmen, både i overflata (øvre panel) og langs botnen (midtre panel). Fortynninga inn mot land ved Kvasneset er større enn 2000x.

Figur 37 viser overflatestrømning av Scenario 3 (tidevann, 600 l/s utslepp) og Scenario 4 (tidevann, 300 l/s utslepp). Det viser seg at ferskvannsutslippet som har gjennomslag og kommer på overflaten spreer seg i alle (horisontale) retninger og over relativ lang avstand (ca. 1 km) på grunn av densitetsforskjellen mellom utslippsvannet (fersk) og sjøvannet (salt). Denne strømningen dominerer spredning av utslippsvannet rundt utslipspunktet og inn i Vågen. Logisk viser et utslepp på 300 l/s mindre strømning enn 600 l/s (**figur 37**).



Figur 37. Overflatestrøyming ved Scenario 3 (tidevatn, 600 l/s utslepp) og scenario 4 (tidevatn, 300 l/s utslepp). Ver obs på at desse scenario er modellert heilt utan opphavleg ferskvasslag i fjorden, slik at det kun er oppstigende ferskvattn frå avløpet som gir oppstrøymande og spreiane effekt i overflata.

DISKUSJON

Det er planlagt etablert eit nytt reinseanlegg ved Kvasneset i Sula kommune, som på sikt skal ta i mot avløpsvatn frå store delar av Ålesund og Sula, berekna til opp mot 70.000 pe i 2050. Denne rapporten omhandlar utsleppet til fjorden, med forslag til anbefalt utsleppsarrangement og vurdering av effektar.

Som bakgrunn for ein del av vurderingane er det målt straum på ulike stader i området gjennom eit år, samt at det er teke hydrografiske profilar annakvar månad i fjorden. Data frå desse målingane inngår i vidare modellering, først med Visual Plume direkte for avløpet med berekning av innlagringsdjup og fortynning for utsleppet, og deretter med FINEL3d for vidare spreiling og fortynning i fjordsystemet.

Det vert presentert ei tilrådd løysing for avløpet, med diskusjon rundt ulike faktorar og bakgrunn for tilrådinga. Deretter vil ein gå nærmere inn på kva effektar den presenterte løysinga vil ha for ulike komponentar i utsleppet. Utsleppet frå eit reinseanlegg vil innehalde ulike stoff i ulike konsentrasjonar, men i den vidare diskusjonen vil me fokusere på tre ulike hovudområde:

- Organisk materiale
- Næringssalt
- Tarmbakteriar (E. coli)

Det vert for dei ulike elementa gått gjennom kor stort **bidrag** reinseanlegget har, samt kva **effekt** ein kan forvente av utsleppet.

I høve til ulik plassering/organisering av sjølve avløpet vert det vurdert at dette har relativt liten innverknad på diskusjonen rundt effekten av organisk materiale og resipientkapasitet, og i noko større grad for diskusjonen rundt E. coli og til dels næringssalt.

TILRÅDD LØYSING FOR AVLØP

Det vert anbefalt å legge avløpet på 60 meters djup ut mot Storfjorden på sørsida av Kvasneset, i ca. posisjon N 62° 24,980' / Ø 6° 21,730' (**figur 38**). Avløpet vert vidare anbefalt med eitt enkelt røyr utan diffusor (perforering), men med noko innsnevring på enden, fortrinnsvis frå 705 mm til 626 mm, eller gjerne 555 mm. Himmelretning på avløpsleidningen bør vere ca. 200 grader (om lag sørsørvest).

Djupne

Utgangspunktet for straummålingane og vurderingane var eit utslepp med djupne ned mot 50 meter, som er det vanlege for utslepp av denne typen. Underveis har ein kome til at utslepps djupne på 60 meter truleg har nokre fordelar. Avstanden til land aukar med litt over 40 meter i høve til eit utslepp på 50 meter, og kortaste avstand til land vil vere ca. 280 m i planlagt posisjon. Det gir noko større innblanding og fortynning av avløpsvatnet inn mot land. Eit djupare utløp vil også ha lengre avstand opp til overflata, og større mogelegheit for innlaging ned i vassøyla. Ulempa med å auke djupna på avløpet er at det krevst noko større trykk i leidningen for å få vatnet ut, som eventuelt må kompenserast med å byggje sjølve reinseanlegget høgare i fjellet, eller mogeleg pumpe vatnet ut. Differansen på 10 meter auka djupne er likevel ikkje svært stor, berekna til om lag 25 cm høgdeskilnad på anlegget.

Det er ikkje målt straum så djupt som 60 meter, men straummålingane ned til 49-53 meter i nærleiken viser at det er svært sterkt botnstraum dei nedste 5-6 metrane mot botnen i området, og resultata tyder på at den sterke straumen følgjer botntopografien, slik at det er sannsynleg at ein har om lag same straumbiletet også ned mot 60 meter, med sterkt straum dei nedste 5-6 metrane over botnen også her. ROV-bilete frå ulike djup i aktuelt område viser om lag same grove botntypen, med mykje små og større steinar og litt sand innimellom, noko som tyder på at botnstraumen er relativt lik i området. Det er ikkje gjort grundige vurderingar rundt å leggje avløpet særleg djupare enn 60 meter, då ein byrjar å kome eit stykke frå posisjon for straummålingane, og usikkerheita omkring reell straumhastigkeit aukar.



Figur 38. Sjøområdet sør for Kvasneset med føreslått posisjon for avløp (raudt punkt) og omtrentleg retning av leidningen inn mot avløpspunktet.

Posisjon/retning

Føreslått posisjon er ganske nær der ein har målt straum, berre ca. 20-30 meter lenger ut på djupare vatn. Opplodding med multistråle ekkolodd i området viser at botnen er ganske slett og jamt skrånande i området, og det bør vere greitt å få plassert ein leidning ut her. Ei anbefalt himmelretning på avløpet på ca. 200 grader er basert på at dette er om lag vinkelrett på dominante straumretningar ved botnen i området. Best effekt av botnstraumen får ein dersom straumen går i same retning som utløpet, då vil straumen "dra med seg" avløpsvatnet horisontalt eit stykke og gi innlagring djupare nede. Motsett vil ei straumretning rett inn mot avløpet bremse eigenfarten til avløpsvatnet ut av røyret, og ein får raskare oppstiging av avløpsvatnet og større sjanse for gjennomslag. Ved planlagt avløpspunkt går botnstraumen att og fram om lag like mykje i periodar (jf. figur 20 og figur 22), og det vil truleg vere best å legge avløpet om lag 90° på hovudstraumretningane. Då vil ein ikkje ha vesentleg oppbremsing av avløpsvatnet, men for det meste middels effekt av straumen på tvers. Dei fleste modelleringane av utsleppet er også basert på at straumen går vinkelrett på avløpet. Perioden september til november 2019 skilde seg litt ut med ei større overvekt av botnstraum i sør-søraustleg retning (figur 21), noko som er gunstig sidan ei slik retning vil vere noko meir med avløpsretninga enn mot.

Det har vore vurdert om ein skulle flytte avløpspunktet ca. 200 meter lenger vest, men modellering av spreieing i fjorden kan tyde på at det ikkje vil utgjere noko større forskjell, då utsleppet ganske raskt spreier seg over eit relativt stort område langs fjorden. Litt lenger vest enn dette byrjar også botntopografin å bli noko meir kompleks, noko som truleg vil verke inn på straumbiletet, utan at ein kan anslå effekten av dette utan å måle straum på nytt. I tillegg kjem at ca. 200 meter ekstra vil gje eit friksjonstap i leidningen som tilsvrar ca. 1 meter ekstra høgdeforskjell på anlegget i fjell. Høgdeforskjellen vil i så fall måtte kompenseraast med ekstra pumping på leidningsnettet inn til anlegget. Ein har difor gått vekk frå dette forslaget.

Diffusor

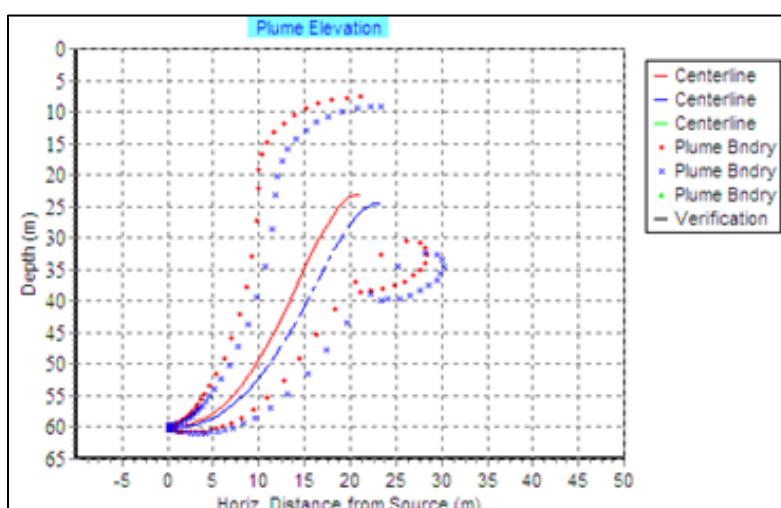
Fordelen med diffusor er at mange små opningar dei siste metrane av leidningen vil fordele utløpsvatnet utover slik at ein får mindre konsentrert oppstiging, og større mogelegheit for innlagring under overflata enn med eit røyr med enkel opning. Ulempa er at det er større "tap" i ein diffusor enn ein enkel leidning på same djupna, og ein må ha større trykk/høgde på leidningen for å få vatnet ut. Det krev også meir vedlikehald ved at t. d. opningar kan gå tett, og det må inspiserast jamleg. Det er difor ønskjeleg at ein diffusor ikkje ligg særleg djupare enn ca. 30 meter. Modellering av eit avløp med diffusor på 50 meters djup viser at ein vil få innlagring djupt nede i vassøyla i ein sommar-/tidleg haustsituation, medan periodar med lite ferskvatn i fjorden (som t.d. i mars 2020) tilseier at ein mogeleg kan ha gjennomslag til overflata heilt frå 50 m djup (**vedlegg 5**). Det vert då lite å vinne på å nytte diffusor, i alle fall dersom denne skal ligge så grunt som 30 meter og betydeleg nærmare land enn eit utslepp på 60 meter. Ein har då etter kvart gått vekk frå modellering med diffusor.

Innsnevring av avløpet

Avløpsleidningen er planlagt med ein indre diameter på 705 mm. Dersom ein snevrar inn avløpet ved å kople på ein mindre dimensjon på enden av leidningen, vil vatnet få høgare fart ut av røyret på grunn av ein "flaskehalseeffekt". Ein høgare fart ut av røyret vil føre avløpsvatnet noko lenger horisontalt ut frå avløpet og gje innblanding noko djupare ned i vassmassane.

Ei innsnevring vil også medføre at ein må ha større trykk i røyret frå anlegget for å få vatnet ut, til dømes ved å ha høgare fall på leidningen eller eventuelt ekstra pumping av avløpsvatnet ut frå anlegget. Ei innsnevring frå 705 til 494 mm vil til dømes måtte kompenserast med ca 50 cm ekstra høgdeforskjell på anlegget, medan ei innsnevring til 441 mm krev ytterlegare 40 cm, altså 90 cm høgdeforskjell til saman. Dersom innsnevringa blir så stor som sist nemnde dimensjon vil for øvrig farten på det utstrøymande vatnet bli svært stor, og ein kan risikere m.a. erosjon på botnen eller slitasje/skade på røyret.

Ved dei fleste modelleringane er det brukt ei lita innsnevring i opninga til 626 mm (eventuelt 655 mm i ein del tidlege modelleringsar). Dette gir forholdsvis lite tap i leidningen, og det vert anbefalt å ha minst ei slik innsnevring. Neste aktuelle dimensjon er 555 mm, og det er gjort modelleringer for å sjå på effekten av denne ekstra innsnevringa. **Figur 39** viser eit eksempel frå mai 2020 der ein ser på forskjellen i innlagring mellom 555 mm og 626 mm. Ein ser at i dette tilfellet vil utsleppet bli innlagra om lag 1,5 meter lågare i vassøyla med dimensjon 555 mm, både for senter og toppen av plumen. Andre berekningar viser at skilnaden varierer noko, frå nesten ingenting til 2-3 meter avhengig av kor store vassmengder som er i avløpet, korleis tettleiksprofilen er i sjøen og straumfarten (**vedlegg 8**). Skilnaden ser ut til å auke litt med vassmengda, og er litt større for nokre berekningar ved middels straumhastigkeit i høve til låg straumhastigkeit.



Figur 39. Eksempel på effekt av røyrdiameter på innlagring, basert på tettleiksprofil frå mai 2020. Det er brukt middelstraum og ei utsleppsmengd på 600 l/s. Raud er røyrdiameter 626 mm, blå er 555 mm.

Sjølv om det ikkje er store skilnader i avstand til innlagringsdjup mellom dei to røyrdimensjonane, vil det ha betydning for om ein får gjennomslag eller ikkje ved eit par tilfelle. Innsnevring frå 626 til 555 mm opning gjer at ein ved låg straumhastigkeit går frå gjennomslag til innlagring under overflata ved ei rate på 600 l/s og ein profil som i mai 2020, samt ved middel rate (300 l/s) og profil som i mars 2020.

Effektane av å innsnevre diameteren på enden av avløpsrøyret er ikkje veldig stor, og må vegast opp mot kostnader og dimensjonering av sjølve anlegget. Ein må også ta i betraktning den totale fortynningsgraden av utsleppet, og effekten dette har på totalsituasjonen. (Sjå t.d. berekningar av *E. coli* lengre nede i diskusjonen). Dersom det ikkje har store kostnader kan gjerne 555 mm nyttast som dimensjon på enden av avløpet.

TILFØRSLAR OG VERKNAD

ORGANISK MATERIALE

Mengda utslepp eller tilførslar av organisk stoff vert ofte oppgitt indirekte, gitt ved den effekten det har på oksygenforbruket i vatn. Vanlegast å bruke er måleparameteren BOF_5 , som er mengda organisk stoff som blir brote ned biologisk med eit biokjemisk oksygenforbruk over fem døgn.

Organisk bidrag til resipienten

Utslepp frå reinseanlegget

Mengda organisk materiale frå ulike kjelder til eit reinseanlegg blir rekna i personekvivalentar (*pe*). Definisjonen av 1 *pe* tilsvrar eit oksygenforbruk (BOF_5) på 60 g/døgn, eller 21,9 kg/år. Det gir eit bidrag på 1533 tonn BOF_5 per år for 70.000 *pe*, ved ureinsa utslepp. Med ein planlagt reinsegrad på 80–90 % vil bidraget til fjorden bli ca. 153 – 307 tonn. Det betyr at etter reinsing vil utsleppet av organisk materiale (BOF_5) tilsvare det ein ville hatt ved eit ureinsa utslepp frå ca. 7–14.000 *pe*.

Tilførslar frå land

Det er gjort berekningar av ulike tilførslar (t.d. avrenning av organisk materiale frå skog og landbruksområde mm.) til ein del terskelfjordar i Møre og Romsdal (Aure og Stigebrandt 1989). For organisk materiale målt som BOF_5 var det eit gjennomsnitt på 18,7 tonn/år/km², men variasjonen var stor, frå 2,0 i Kalvelandsfjorden til 44,8 i Sykkylvsfjorden. Med eit areal på 123 km² for resipienten i Sulafjorden/Storfjorden (jf. **tabell 1**) utgjer det tilførslar på ca. 2300 (246 – 5510) tonn BOF_5 per år. Omrekna utgjer bidraget rundt 105.000 *pe* (11.000 – 250.000 *pe*).

Fiskeoppdrett

Eitt tonn produsert mengde fisk på ein sjølokalitet har eit utslepp av organisk materiale som tilsvrar ca. 20 *pe*. Tilknytt resipienten ligg oppdrettsanlegget Sagelva i Hjørundfjorden, med ein MTB (maksimalt tillatt biomasse) på 5460 tonn, samt Slettvika om lag ved terskelen mellom Vartdalsfjorden og Sulafjorden, med 3120 tonn. Ved Slettvika er det i hovudsak målt spreatingsstraum innover fjorden (Hawkes 2019), og det er såleis mogeleg at ein god del av den organiske belastninga frå anlegget påverkar resipienten i Vartdalsfjorden, vel så mykje som Sulafjorden. Ein kan rekne ein samla påverknad frå om lag 7000 tonn MTB frå desse to anlegga, og med om lag gjennomsnittleg kapasitetsutnytting tilsvavar det ein årleg produksjon av fisk på om lag 9600 tonn. Med eit utslepp av organisk materiale tilsvarande 20 *pe* per tonn produsert fisk, vil det samla utsleppet tilsvare organisk belastning frå eit ureinsa utslepp frå vel 190.000 *pe*, eller rundt 4200 tonn BOF_5 .

I tillegg kjem settefiskanlegget ved Barstadvik med ein kapasitet på 780 tonn biomasse, eller produksjon på maks 300 tonn, samt at settefiskanlegga ved Standal og Urke også kan seiast å høyre til same resipient, med ein kapasitet på 5 mill. stk. smolt kvar, tilsvarande ein samla produksjon på om lag 2000 tonn årleg. Settefiskanlegga har som regel ei viss reinsing av slammet, samt at settefisken har noko meir effektiv vekst enn større fisk, ein kan då veldig grovt setje utsleppa her til ca. 30.000 *pe*.

Med ein gjennomsnittleg årleg produksjon av fisk tilsvarende omtrentleg 220.000 pe, vil det tilsvare eit utslepp på rundt 4800 tonn BOF₅.

Organiske tilførslar til Storfjorden/Sulafjorden frå dei ulike kjeldene vil variere ein del frå år til år, m.a. avhengig av mengda nedbør/avrenning og produksjon av fisk mm. Bidraget frå Kvasneset reinseanlegg vil etter reinsing truleg utgjere om lag 2-6 % av årlege tilførslar til resipienten.

Effekt av organisk påverknad

Resipientkapasitet

Storfjorden/Sulafjorden har svært stor recipientkapasitet. Det følgjer av det store volumet av fjordbassenget, samt at det i praksis ikkje er noko terskling ut mot havet. Med ein hovudterskel på ca. 254 m djup vest for Godøya vil det så å seie vere kontinuerleg tilførslar av oksygenrikt Atlanterhavsvatn innover i fjordsystemet eit stykke ned forbi 250 m djup. Dette vil også gi hyppig innblanding og utskifting ned til botnen på rundt 430 m djup innover i Sulafjorden/Storfjorden. Det er tilnærma heilt flatt på botnen ved det djupaste frå Sulafjorden og innover i Storfjorden om lag til ein kjem på høgde med Kvasneset, og desse to fjordområda er i praksis ein samanhengande recipient. Oksygenet og oksygenforbruket fordeler seg som regel ganske jamt innafor same djupneintervall i heile recipienten, og det er ingen grunn til å anta at oksygeninnhaldet i djupvatnet i Storfjorden avvik nemneverdig frå Sulafjorden.

For å illustrere storleiken og kapasiteten til recipienten er vassvolumet til fjorden berekna, og frå innløpet av Sulafjorden og fram til Sykkylvsfjorden utgjer dette ca. 36 km³ (jf. **tabell 1**). Dette inkluderer berre hovudfjorden, men i praksis kunne også fleire sidefjordar, samt ein god del av sjøområdet utover i Breisundet, vore teke med. Det berekna innhaldet av oksygen i Storfjorden/Sulafjorden er ca. 280 000 tonn (sjå nedanfor).

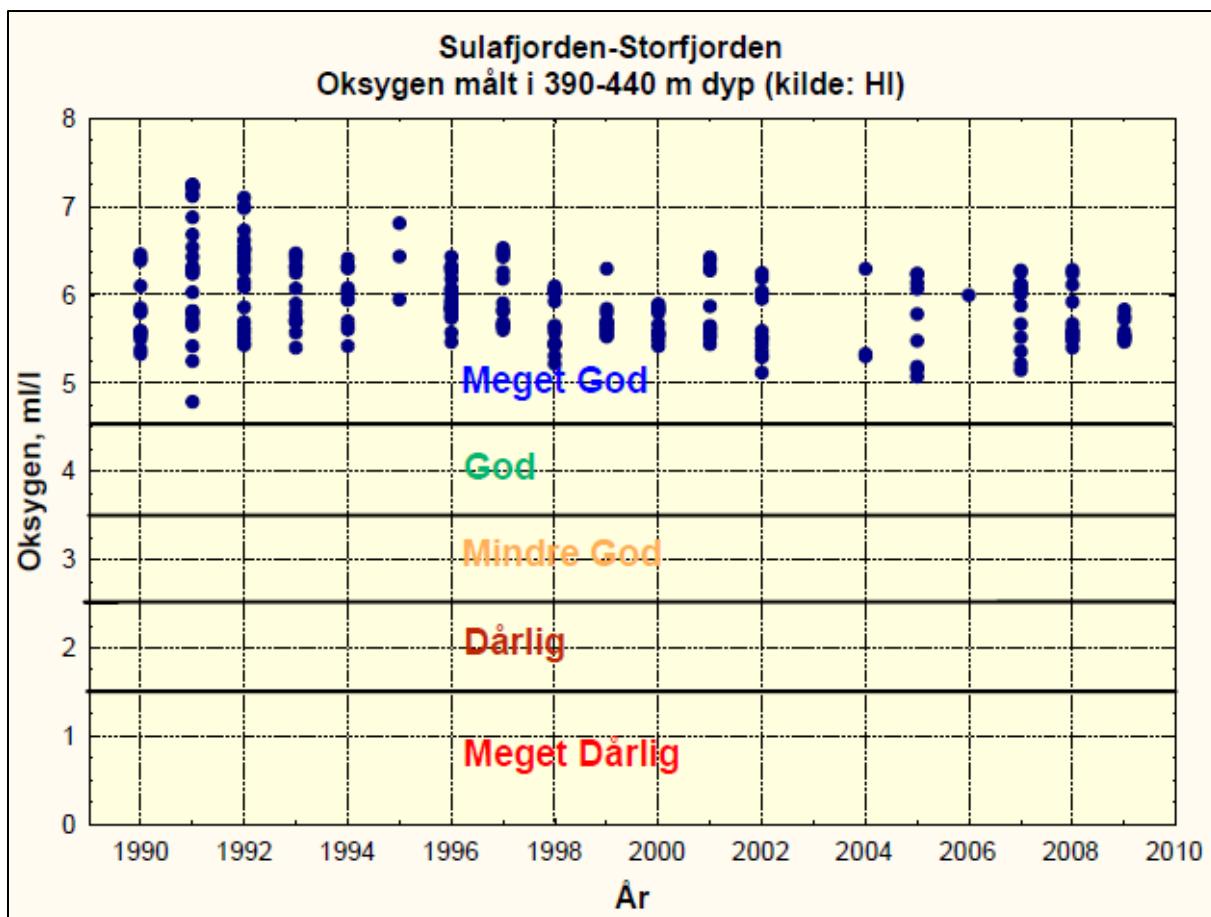
Til samanlikning er volumet av Ellingsøyfjorden og Stavsetfjorden berekna til høvesvis 0,35 og 0,63 km³ (Aure og Stigebrandt 1989). For Ellingsøyfjorden er då berre rekna volum innafor tersklane ved Svinøya - Littlekalvøya.

Oksygenforhold og verknad av planlagt utslepp

Ved granskinga vart det målt oksygen i heile vassøyla ned til botnen i Storfjorden ved to høve våren 2020. Ved prøvetakinga 26. mars 2020 var oksygeninnhaldet like over botnen på 433 meters djup i Storfjorden 4,57 ml/l, tilsvarande ei oksygenmetting på 68 %. Det er blant det lågaste som er registrert i fjordsystemet (jf. **figur 40**), men framleis innanfor tilstandsklasse I = "svært god" (Veileder 02:2018). I løpet av dei to månadane fram til målinga 27. mai hadde det vore ei utskifting av djupvatn i fjorden, og oksygeninnhaldet hadde stige til 5,44 ml/l (81 % metting) på 429 m djup.

Gjennomsnittleg innhald av oksygen i vassøyla frå 1-434 m djup i mars 2020 var 5,40 ml/l, noko som tilsvasar 7,66 mg/l (eller 7,66 g/m³). Ut frå eit berekna volum av hovudfjorden på ca. 36 km³, gir det eit innhald av oksygen på rundt 280 000 tonn O₂. Det totale oksygeninnhaldet vil i praksis vere noko større, ut frå at gjennomsnittleg innhald per meter ikkje tek omsyn til volumet av tilhøyrande vasslag, som naturleg nok avtek nedover mot botnen.

Dersom ein samanliknar oksygeninnhaldet i fjorden på rundt 280 000 tonn O₂ med det reinsa utsleppet frå anlegget på ca. 153 – 307 tonn BOF₅, ser ein at oksygenforbruket frå utsleppet utgjer ca. 0,05 – 0,11 prosent av oksygeninnhaldet i fjorden. Eller sagt på ein annan måte: Ein kan ha utslepp i ca. 900 – 1800 år før oksygenet i fjorden vert brukt opp, føresett at det ikkje er utskifting i perioden.



Figur 40. Måling av oksygen (ml/l) nær botnen av Sulafjorden i tidsrommet 1990 – 2004. Data fra Havforskningsinstituttet, Bergen (figur gjengitt frå Molvær 2018).

ORGANISK BELASTING RUNDT AVLØPET OG VURDERING AV BOTNFAUNA

Det er sannsynleg at det ikkje vil akkumulere vesentlege mengder organisk materiale rundt avløpet. Botnstraumen er svært sterkt, med over 80 cm/s som høgaste maksfart i alle måleperiodar, og ein snittfart på ca. 12-26 cm/s dei ulike periodane. Straumfarten som er naudsynt for at sedimentert organisk materiale skal lausrivast frå botnen (resuspensjon) vert rekna til rundt 10 cm/s (Cromey m.fl. 2002), og resuspensjon vil såleis skje jamleg, i den grad noko sedimenterer i utgangspunktet.

Mesteparten av det organiske materialet frå utsleppet vil vere nokså finpartikulært etter reinsing, og vil truleg bli frakta og spreidd eit godt stykke med straumen før det sedimenterer, gjerne der hastigheita til botnstraumen avtek noko. Retninga til straumen ved botnen var i hovudsak mot sør til sør aust eller vest til nordvest, og ein kan såleis forvente spreiling i ulike retningar frå avløpet. Med god spreiling og kontinuerleg tilførsel av oksygenrikt vatn vil botndyr som børstemakk og andre i stor grad kunne omsetje det organiske materialet fortløpende i området rundt avløpet.

Den vanlegaste metoden for å undersøke botnfauna og tilstand rundt avløp er ved hjelp av grabbprøver av sedimentet. Dette er imidlertid avhengig av at ein har blautbotn med relativt fint sediment, slik at ein får opp sediment med grabben. Bilete frå botnen i aktuelt utsleppsområde viser eit svært grovt sediment, med hovudsakleg stein og grov grus. Det vil såleis ikkje ha noko hensikt å vurdere prøvetaking med grabb ved avløpet her, i staden bør ein nytte filming med ROV som dokumentasjon på eventuell belastning på botnen rundt avløpet.

NÆRINGSSALT

Bidrag av næringssalt

Dersom ein tek utgangspunkt i antatt restkonsentrasjon i avløpsvatnet etter reinsing (jf. **tabell 2**), kan ein beregne konsentrasjon etter fortynning. Ved å bruke tabell over gjennomsnittleg fortynning ved innlagring ved låg straumhastigkeit (**tabell 7**), ser ein at denne varierer frå 31 til 169 gonger avhengig av tidspunkt og vassmengd. Middel straumhastigkeit vil jamt over gi litt større fortynning. Dersom ein i tillegg legg til fortynningsgrad utover i recipienten (t.d. **figur 33** og **figur 34**), som er berekna til minst 800 gonger etter to dagar når ein kjem inn mot land, får ein eit bidrag på opp mot maksimalt 0,14 µg/l for total fosfor og 1,01 µg/l for total nitrogen (**tabell 9**).

Det er ikkje målt innhald av næringssalt i dette prosjektet, men dersom ein tek utgangspunkt i grenseverdiar for beste tilstandsklassar (I = svært god), så er desse 11,5 µg/l og 250 µg/l for høvesvis total fosfor og total nitrogen for ein sommarsituasjon (Veileder 02:2018). Bidraget frå reinseanlegget vil dermed utgjere opp mot 1,2 % og 0,40 % av desse grenseverdiane for total fosfor og total nitrogen. Sidan Storfjorden etter alt å dømme kan karakteriserast som ein næringsfattig fjord, med konsentrasjonar av næringssalt som truleg ligg noko under grenseverdiane, vil prosentandelen bidrag frå reinseanlegget tilsvarende vere noko større.

Tabell 9. Bidrag av næringssalt til recipienten. Det er teke utgangspunkt i tabell over gjennomsnittleg fortynningsgrad ved innlagring for svak straum på mellom 31x - 169x (jf. **tabell 7**).

Sekundærreinsing	Fosfor (Tot P)	Nitrogen (Tot N)
Reinseeffekt ved sekundærreinsing (%)	25-45	20-35
Restkonsentrasjon etter reinsing (µg/l)	2500-3500	20.000-25.000
Bidrag v/innlagring (svak straum) (µg/l)	15-113	118-806
Bidrag v/inngang Vågen (min 800x fortynning) (µg/l)	0,02-0,14	0,15-1,01

Effekt av Næringssalt

Med eit bidrag på opp mot eit par prosent vil ikkje tilførslar av næringssalt frå utsleppet ha noko praktisk betydning for algevekst i sjøområdet. Det er god straum og utskifting i Storfjorden, og utsleppet blir raskt fortynta i dei store vassmassane. Sjøområdet innover mot Vågane er litt meir innelukka, men modelleringa tilseier at fortynninga her raskt aukar frå 7-800x ved innløpet til over 2000x lengre inne ved dei fleste scenario (**figur 32 – figur 36**). Det ser ikkje ut til å vere noko ekstra opphoping i Vågane, og det meste av utsleppet vil etter kvart fordele seg utover Storfjorden.

Det er tidlegare gjort ei relativt grundig vurdering av bidraget frå næringssalt og betydning for algevekst av Molvær (2018). Han brukte ei tilnærming med tilførslar per døgn av næringssalt frå anlegget opp mot berekna tilførslar/innhald i dei øvste 20 m av vassmassane i fjorden (**tabell 10**). Bidraget frå anlegget i høve til "hele området" (som utgjer ca. 98 km²) er høvesvis ca. 1,3 % og 0,8 % for total fosfor og total nitrogen, og såleis ganske likt berekningane over. Dersom ein avgrensar effekten til 20 % av området gir berekningane tilsvarende ca. 6,3 % og 4,1 % bidrag frå utsleppet.

Tabell 10. "Tilførsel av fosfor og nitrogen til vannmassen i 0-20 m dyp vintersid for Sulafjorden fra et utslipp fra RA Kvasnes i 2050 og gjennom vannutskifting med nærliggende fjordområder. Fosfor og nitrogen er beregnet som total fosfor og total nitrogen" (tekst og tabell frå Molvær 2018).

	P kg/døgn	N kg/døgn
RA Kvasnes	79	705
Vannutskifting hele området	6272	86240
Vannutskifting 20% av området	1254	17248

To ulike berekningsmåtar for næringssalt og algevekst gir såleis begge om lag det same låge resultatet. Konklusjonen til Molvær (2018) var at "et utsipp av næringssalter fra et RA Kvasnes til Sulafjorden-Storfjorden vil bare være et lite bidrag til fjordens stoffbudsjett for næringssalter og neppe endre algeveksten i merkbar grad". Dette synest å vere ei god oppsummering, og det vil vere vanskeleg eller umogeleg å skilje effekten av utsleppet frå naturleg variasjon i fjorden med omsyn til algevekst.

BAKTERIAR (E. COLI)

Bidrag

Det er lite erfaringstal med konsentrasjonar av E. coli i reinseanlegg i Noreg, sidan det ikkje er krav til måling av dette, men eit utgangspunkt kan vere 30.000 MPN ("most probable number") E. coli/ml i råkloakken i planlagt type anlegg (anslått av Asplan Viak). Dersom ein antar ein reduksjon ved reining på ca. 90 % (sjå også nedanfor), vil ein ha ein konsentrasjon i utløpet på 3000 MPN E. coli/ml. Talet på E. coli i råkloakken vil variere mykje, og kor mykje som forsvinn i reinseprosessen vil også variere, så talet er mest ein indikasjon på kva som kan vere eit mogeleg gjennomsnitt.

Andre kjelder viser til noko tilsvarende talstorleikar, og eit vanleg brukt mål er å anta eit innhald på 10 millionar TKB per 100 ml (= 100.000/ml) (Baalsrud 1994). TKB står for "termotolerante koliforme bakteriar" og i praksis består desse i all hovudsak av E. coli. Baalsrud (1994) refererer også til ei granskning frå Høvringen reinseanlegg i Trondheim, der m.a. gjennomsnittleg tal på koliforme bakteriar var 110.000/ml og termotolerante koliforme bakteriar var 16.000/ml (Hellesnes & Lian 1992). Det er også oppgitt ein reinseeffekt ved biologisk reining på 90-99 % for bakteriar (Midttun 1993), så eit estimat på 90 % reining synest såleis å vere eit konservativt estimat.

Talet på E. coli ved utløpet vil også variere med vassmengdene i utsleppet. Dersom ein antar at talet på E. coli i utsleppet vil vere nokolunde konstant, vil *konsentrasjonen* avta viss vassmengda aukar. Til dømes, dersom ein reknar 3000 MPN E. coli/ml ved middel utslepp på 300 l/s, vil konsentrasjonen bli halvert til 1500 MPN E. coli/ml dersom vassmengda doblar seg til 600 l/s.

Levetid for E. coli i sjø

E. coli har relativt kort levetid i sjø, vanlegvis timer til dag(ar). Kor lenge dei lever er avhengig av fleire faktorar, der dei viktigaste ser ut til å vere lys, temperatur, saltinhald og biologisk aktivitet (Baalsrud 1994, Rozen & Belkin 2001). Sollys har ein direkte bakteriedrepande effekt på grunn av strålinga (både i spekteret UV og synleg lys), denne vil vere størst i overflata og avta raskt nedover i vassøyla alt etter kor langt ned sollyset når. Bakterietal gjennom døgnet vil såleis vere lågast utpå ettermiddagen når sola har hatt maksimal effekt. Dersom det er overskya er effekten mindre. Temperaturen verkar inn slik at til varmare vatn, til kortare levetid. Det skuldast m.a. auka metabolisme i bakteriane og auka aktivitet frå andre organismar som kan ete bakteriane. Saltinhaldet påverkar levetida, og overlevinga er vesentleg kortare i sjøvatn enn i ferskvatn. Det har mellom anna å gjøre med osmotisk sjokk i overgangen frå ferskvatn til saltvatn, men synest også kopla til biologisk aktivitet, der artsrike biologiske system og næringkjeder i sjøvatn reduserer førekomensten av tarmbakteriar. Biologisk aktivitet frå mikroorganismar som lever i sjøen, som protozoar, virus og andre bakteriar, reduserer talet på tarmbakteriar, anten ved at dei blir etne eller utkonkurrerte. Aktiviteten til desse mikroorganismane er som nemnt avhengig av temperatur og saltinhald, samt at aktiviteten også vil auke viss vassmassane er meir næringsrike.

E. coli vil døy ut gradvis i sjø, og ved berekning av levetid blir vanlegvis omgrepet T90 brukt, som er eit mål på tida det tek til 90 % av tarmbakteriane er døde. T90-talet varierer ganske mykje, og i "Grunnlagsrapport om virkninger av tarmbakterier" (Baalsrud 1994) er det summert opp ulike studiar som opererer med frå under 1 til 3-5 timer i eine enden av skalaen, via 12 timer i mørke, til rundt høvesvis 40 timer for natt og 10 timer for dag i overflatelaget. For å ta høgde for ulike forhold (årstid, vær, tid på døgnet) vart det i rapporten anbefalt å legge inn 5-50 timer som ein rimeleg grad av sikkerheit ved berekningar av T90 (Baalsrud 1994). Det er elles vanleg å rekne ei maksgrense på ca. 24 timer frå prøvetaking til analysering på laboratorium for påvisning av E. coli, etter det har analysen mindre relevans for å kunne påvise innhaldet i vatn. Ved ei modellering av spreying i fjordsystemet på 2 døgn, slik det er

gjort i FINEL3d, vil det vere sannsynleg at ein relativt betydeleg andel av E. coli ikkje vil ha overlevd heile dette tidsrommet. Gradvis sedimentering av E. coli kan førekommme, men vert ikkje teke omsyn til her.

Summert opp så vil nedbrytinga av tarmbakteriar vere raskast om sommaren når det er sol og varmt. Om vinteren vil ikkje sol og varme ha særleg stor innverknad. Størst sjanse for gjennomslag til overflata skjer når det er lite ferskvatn i fjorden, og i desse situasjonane vil det truleg vere noko større mogelegheit for at bakteriane vert brotne ned av biologisk aktivitet eller osmotisk sjokk enn dersom det er meir ferskvatn i overflatelaget.

Effekt

Det er berekna fortynnungsgrad av utsleppet, både gjennom innlagring og forsyning av det oppstigande avløpsvatnet via Visual Plumes og vidare sprenging og forsyning via FINEL3d. Resultata er summert opp i **tabell 11** og **tabell 12**. Dersom ein startar ut med ein konsentrasjon på 30.000 MPN E. coli/ml tyder modelleringane på at restkonsentrasjonane av E. coli inne ved land vil vere svært låge, med 4,3 E. coli/100 ml som det høgste i ein situasjon med låg straumhastigkeit og middel vassføring i november (**tabell 12**). Dersom ein reknar ein utgangskonsentrasjon på 100.000 E. coli/ml i staden for 30.000, vil ein tilsvarande få ein høgaste teoretiske restkonsentrasjon etter 2 døgn på ca. 14,2 E. coli /100 ml.

Det er då ikkje berekna noko dødelegheit for E. coli. Om ein reknar 90 % dødelegheit etter 48 timer får ein maksimalt opp i 1-2 E. coli/100 ml inne ved land ved Kvasneset, noko som betyr at det i praksis kan verte vanskeleg å spesifikt påvise E. coli frå avløpet inne ved land. Det er også godt innanfor grensa for tilstandsklasse I = "Meget god" for tarmbakteriar, som er <10 TKB/100 ml (SFT 1997). Konsentrasjonar opp til dette vert rekna som bakgrunnsnivå på grunn av mogeleg førekomst av tarmbakteriar frå fuglar og andre varmlodige dyr i nedslagsfeltet. Grenseverdien for kva som er rekna som "Godt eigna" for bading og rekreasjon er sett noko høgare, dvs. <100 E. coli/100 ml (SFT 1997). utsleppet vil såleis ikkje gi "mindre eigna" badevasskvalitet ved Kvasneset eller innover i Vågen.

Tabell 11. Berekning av konsentrasjon av E. coli i overflata inne ved land ved Kvasneset ved **midde** straumhastigkeit og røyrdimensjon 626 mm. Det er berekna for dei tilfella toppen av plumen når opp til dei øvste 2 metrane av vassøyla, basert på gjennomsnittleg forsyning ved innlagring samt ein vidare forsynningsgrad på 800x frå FINEL3d. Utgangskonsentrasjon for E. coli er sett til 30.000/ml, som med 90 % reinseeffekt gir 3000/ml ved 300 l/s og 1500/ml ved 600 l/s. Eventuell dødelegheit underveis er ikkje rekna med.

datasett	rate ut (l/s)	senter plume (m)	top plume (m)	CL forsyning ved innlagring	Gj.snitt fortsynning ved innlagring	E.coli/ml v/center- line	Gj.snitt E.coli/ml v/innlagring	E.coli/100 ml i overflata ved land
mai.19	300	17	0,5	79	173	38	17	2,2
mai.19	600	14	0	59	125	25	12	1,5
jun.19	300	35	25	39	86	77	35	0
jun.19	600	32	20	32	67	47	22	0
sep.19	300	46	39	24	53	125	57	0
sep.19	600	44	36	20	42	75	36	0
nov.19	300	15	0	76	199	39	15	1,9
nov.19	600	7	0	76	165	20	9	1,1
jan.20	300	26	12	55	129	55	23	0
jan.20	600	19	2	48	111	31	14	1,7
mar.20	300	26	13	54	124	56	24	0
mar.20	600	21	5	46	103	33	15	0
mai.20	300	27	14	53	120	57	25	0
mai.20	600	23	7	44	96	34	16	0

Tabell 12. Berekning av konsentrasjon av *E. coli* i overflata inne ved land ved Kvasneset ved låg straumhastigkeit og røyrdimensjon 626 mm. Det er berekna for dei tilfella toppen av plumen når opp til overflata, eller for ein høgare konsentrasjon ved senter av innlagring der denne nærmar seg overflata (november). Berekninga er basert på fortynning ved senterlinja (CL) eller gjennomsnittleg fortynning ved innlagring, samt ein vidare fortynningsgrad på 800x frå FINEL3d. Utgangskonsentrasjon for *E. coli* er sett til 30.000/ml, som med 90 % reinseffekt gir 3000/ml ved 300 l/s og 1500/ml ved 600 l/s. Eventuell dødelegheit undervegs er ikkje rekna med.

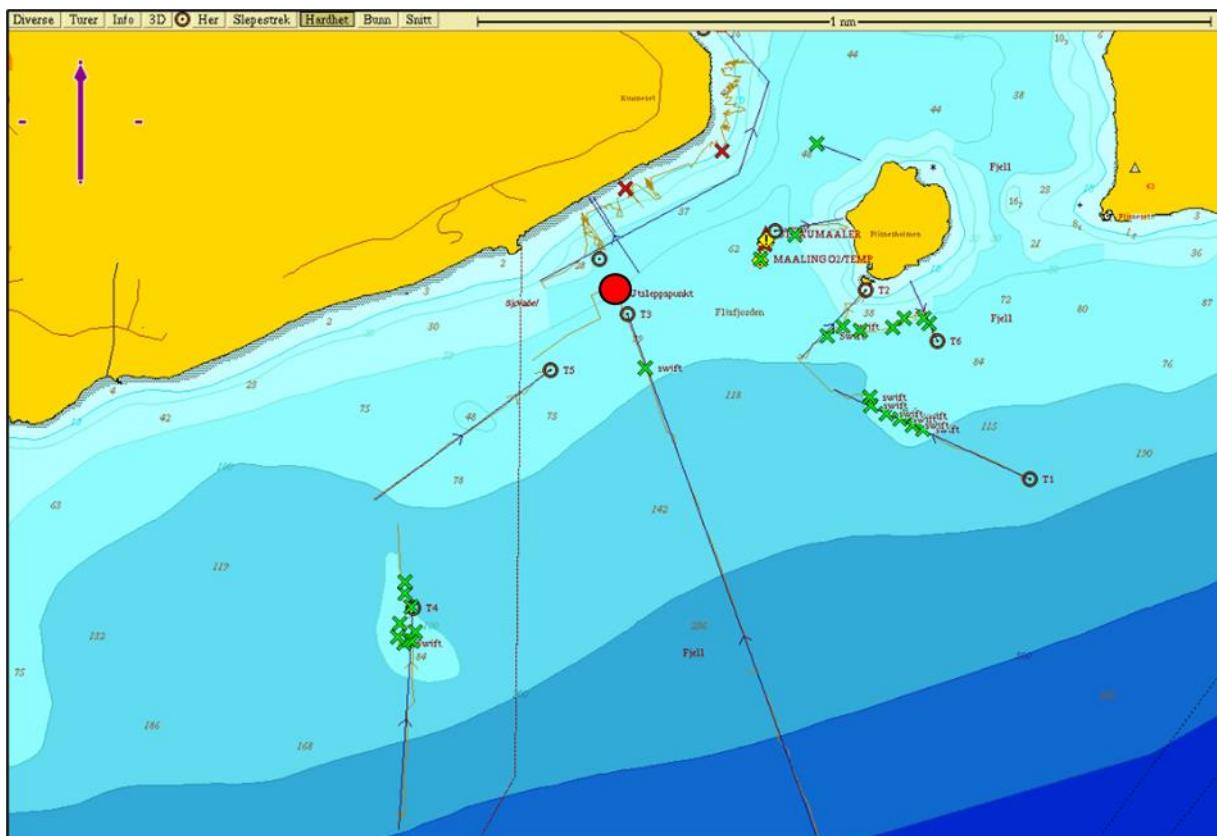
datasett	rate ut (l/s)	senter plume (m)	topp plume (m)	CL fortynning ved innlagring	Gj.snitt fortynning ved innlagring	E.coli/ml v/center -line	Gj.snitt E.coli/ml v/innlagring	E.coli/100 ml i overflata ved land
mai.19	300	14	0	64	126	47	24	3,0
mai.19	600	12	0	50	99	30	15	1,9
Jul.19	300	32	17	32	64	94	47	0
Jul.19	600	29	14	27	53	56	28	0
sep.19	300	42	33	17	35	176	86	0
sep.19	600	40	31	16	31	94	48	0
nov.19	300	1,5	0	87	169	34	18	4,3
nov.19	600	1	0	66	128	23	12	2,8
jan.20	300	16	0	54	111	56	27	3,4
jan.20	600	10	0	49	99	31	15	1,9
mar.20	300	19	0	50	102	60	29	3,7
mar.20	600	13	0	44	89	34	17	2,1
mai.20	300	22	4	46	93	65	32	0
mai.20	600	18	0	39	78	38	19	2,4

Berekningane i **tabell 11** og **tabell 12** er i hovudsak basert på gjennomsnittleg fortynning ved innlagring, medan konsentrasjonane av *E. coli* i overflata som regel vil vere noko lågare, sidan det i dei fleste tilfelle (unnateke november) berre er toppen (ytterkanten) av plumen som kjem til overflata som gjennomslag.

Størst potensiale for gjennomslag og spreiing av tarmbakteriar i overflatelaget er kanskje i ein situasjon der ein raskt får mykje nedbør etter ein lang periode med tørke. Då vil det framleis vere lite ferskvatn i fjorden som kan bremse oppdrifta i det oppstigande avløpsvatnet, samtidig som det vil kome større mengder vatn inn på avløpsnettet. Det er elles verdt å merke seg at dette scenarioet også vil gje mest tarmbakteriar i naturleg avrenning frå land, då akkumulert avføring frå ville dyr og/eller husdyr vil bli skylt frå terrenget og ut i bekkar, elvar og vassdrag. Det kan såleis vere relativt høge tal på tarmbakteriar i nærleiken av elveutløp i slike periodar.

KORALLAR

Det er påvist nokre førekomstar av kvit hornkorall (*Swiftia pallida*) i området sør for Flisnesholmen og ved ei grunne ca. 0,9-1 km sørvest for planlagt utslepp (figur 41). Modellering med FINEL3d tyder på at desse truleg i liten grad vil vere utsett for påverknad frå planlagt utslepp ved Kvasneset. Det må takast etterhald om at modelleringa gjort i samband med dette prosjektet i hovudsak har fokusert på spreiing i overflatevatn, og ikkje spesifikt korleis partiklar vil sedimentere på botnen. Det vert laga ein eigen rapport om kartlegging av korallar i området (Eilertsen 2021).

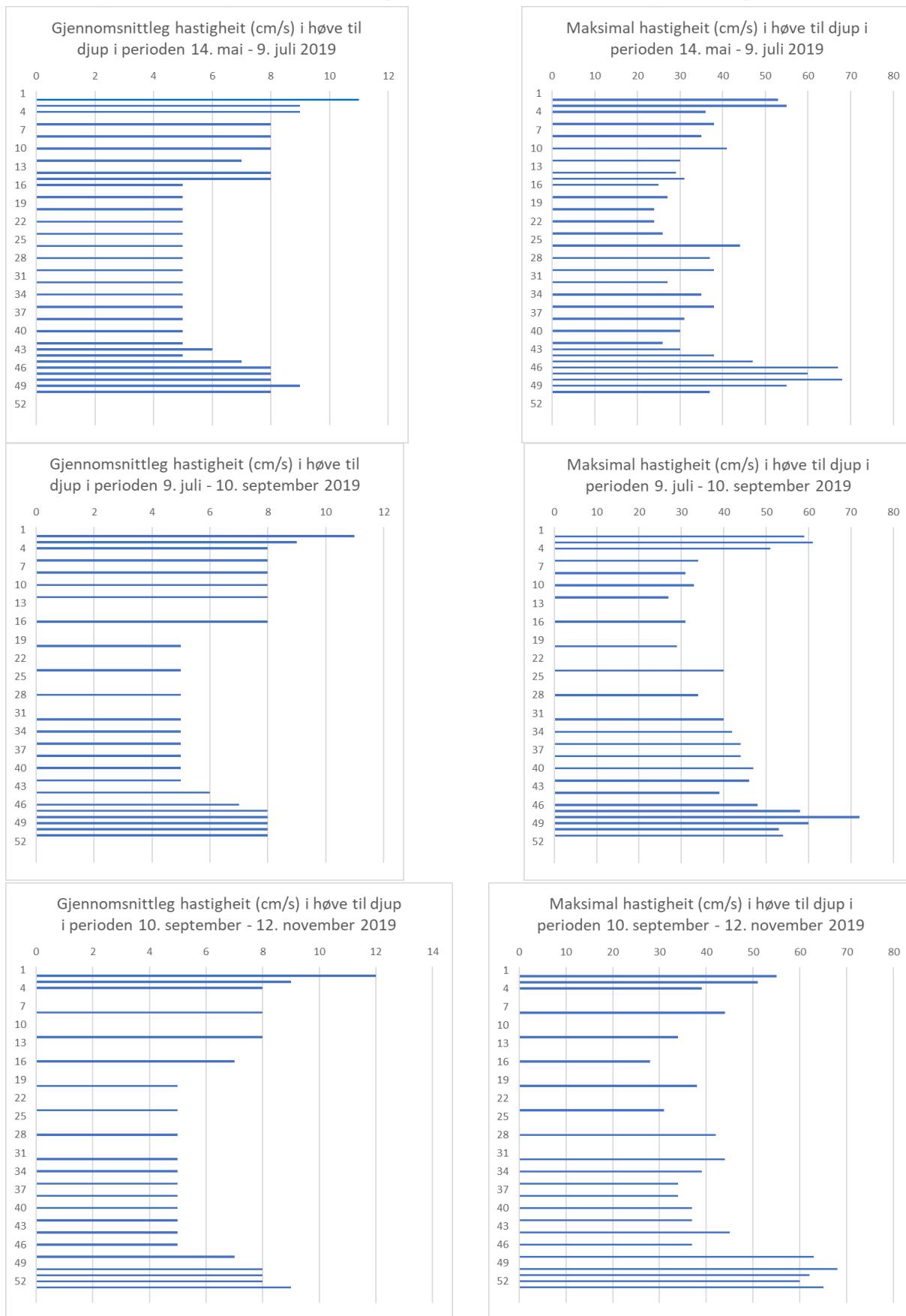


Figur 41. Kartlegging av kvithornkorall (*Swiftia pallida*) i området ved Kvasnes-Flisnesholmen. Registrerte førekomstar er markert med grøne kryss.

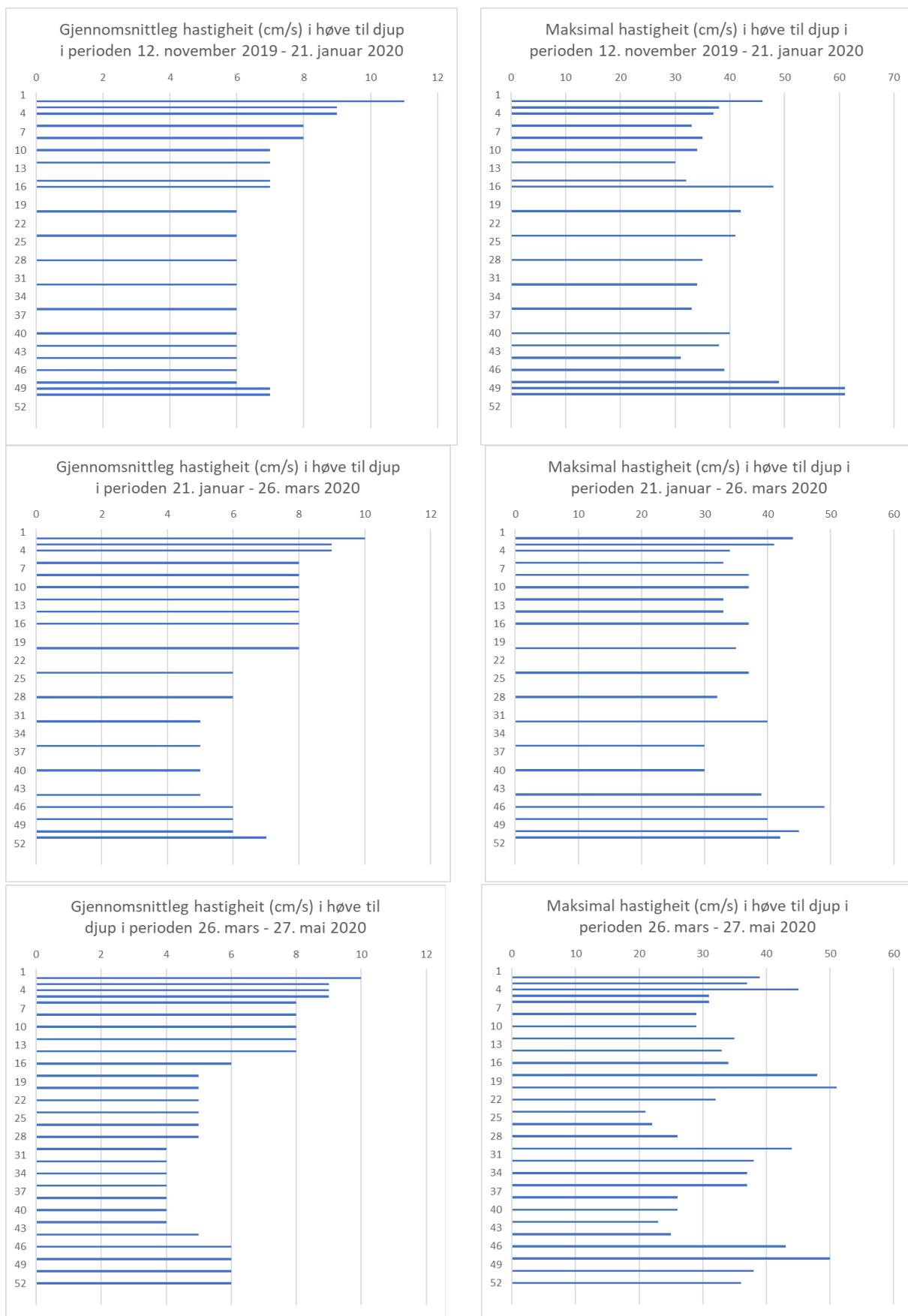
REFERANSAR

- Aure, J. & A. Stigebrandt 1989. Fiskeoppdrett og fjorder. En konsekvensanalyse av miljøbelastning for 30 fjorder i Møre og Romsdal. Havforskningsinstituttet, Rapport nr. FO 8803. 106 sider.
- Baalsrud, K. 1994. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. Grunnlagsrapport om virkninger av tarmbakterier. NIVA rapport O-921374, 31 sider.
- Cromey, C.J., T. D. Nickell, K. D. Black, P. G. Provost & C. R. Griffiths 2002. Validation of a fish farm waste resuspension model by use of a particulate tracer discharged from a point source in a coastal environment. *Estuaries* 25, 916–929.
- Dam, G. 2020. Strømning- og spredningsmodell Storfjorden. Asplan Viak rapport, oppdragsnummer 622533-01, dato 12.11.2020. 33 sider.
- Direktoratgruppa Vanndirektivet 2018. Veileder 02:2018. Klassifisering av miljøtilstand i vann. 220 sider.
- Dyb, J. E & S. Tuene 2003. Storfjordundersøkelsen; Del 2 – Hydrografi i Storfjorden, historisk oversikt. Møreforskning Ålesund.
- Golmen, L. G. & A. Sundfjord 1999. Strøm på havbrukslokalitetar. NIVA-rapport 4133, 33 sider, ISBN 82-577-3743-7.
- Eilertsen, M. 2021. Etablering av avløpsreinseanlegg ved Kvasneset, Sula kommune. Konsekvensutgreiing av marint naturmangfald. Rådgivende Biologer AS, rapport 3281, 42 sider.
- Frick, W.E., Roberts, P.J.W., Davis, L.R., Keyes, J, Baumgartner, D.J. And George, K.P., 2001. Dilution Models for Effluent Discharges, 4th Edition (Visual Plumes). Environmental Research Division, U.S. Environmental Protection Agency, Athens Georgia.
- Hawkes, N.J. 2019. B-undersøkelse for lokalitet Slettvika. Åkerblå rapport B-M-19140, 23 sider.
- Hellesnes, I & A. Lian 1992. Karakterisering av avløpsvann fra Høvringen renseanlegg. Rapport nr. 6/92, Næringsmiddelkontrollen i Trondheim.
- Labeur, R.J., Wells, G.N., (2007), A Galerkin interface stabilisation method for the advection-diffusion and incompressible Navier-Stokes equations, Computer methods in Applied Mechanics and Engineering 196, pp. 4985-5000.
- Labeur, R.J., Wells, G.N., (2009), Interface stabilized finite element method for moving domains and free surface flows, Computer methods in Applied Mechanics and Engineering 198, pp. 615-630.
- Labeur, R.J., Wells, G.N., (2010), Energy stable and momentum conservation interface stabilised finite element method for the incompressible Navier-Stokes equations, SIAM Journal of Scientific Computations, 34(2), pp. A889–A913.
- Labeur, R.J., (2009), Finite element modeling of transport and non-hydrostatic flow in environmental fluid mechanics, PhD thesis, Technical University Delft.
- Midttun, I. 1993. Patogener i kommunalt avløpsvann. SFT-rapport 93:25.
- Molvær, J. 2018. Sula kommune. Vurdering av miljøpåvirkning ved utslipp av kommunalt avløpsvann fra et renseanlegg ved Kvasnes. Molvær Resipientanalyse, Oslo. Rapport 19.3.2018.
- Molvær, J., T. Bakke, T. Barnung, U. Efraimsson, O. R. Godø, F. Kjellberg & T. Nerland 1991. Undersøkelser av miljøforhold i Borgundfjorden, Ellingsøyfjorden og Eikenosvågane i 1990. NIVA-rapport 2650, 147 sider.
- Molvær, J., J. Knutzen, J. Magnusson, B. Rygg, J. Skei & J. Sørensen 1997. Klassifisering av miljøkvalitet i fjorder og kystfarvann. SFT Veiledning 97:03. TA-1467/1997.
- Norsk Standard NS 9426:2006. Bestemmelse av personekvivalenter (pe) i forbindelse med utslippstillatelse for avløpsvann. Standard Norge, 8 sider.
- Rozen, Y & S. Belkin 2001. Survival of enteric bacteria in seawater. *FEMS Microbiology Reviews* 25, s. 513-529.
- Talstra, H., (2016) User manual FINEL3d, Svašek Hydraulics.

Vedlegg 2. Gjennomsnittleg (til venstre) og maksimal straumhastigkeit (til høgre) på utvalde djup mellom 2 og 50-53 meter for dei ulike måleperiodane ved Flisnesholmen (framhald på neste side).

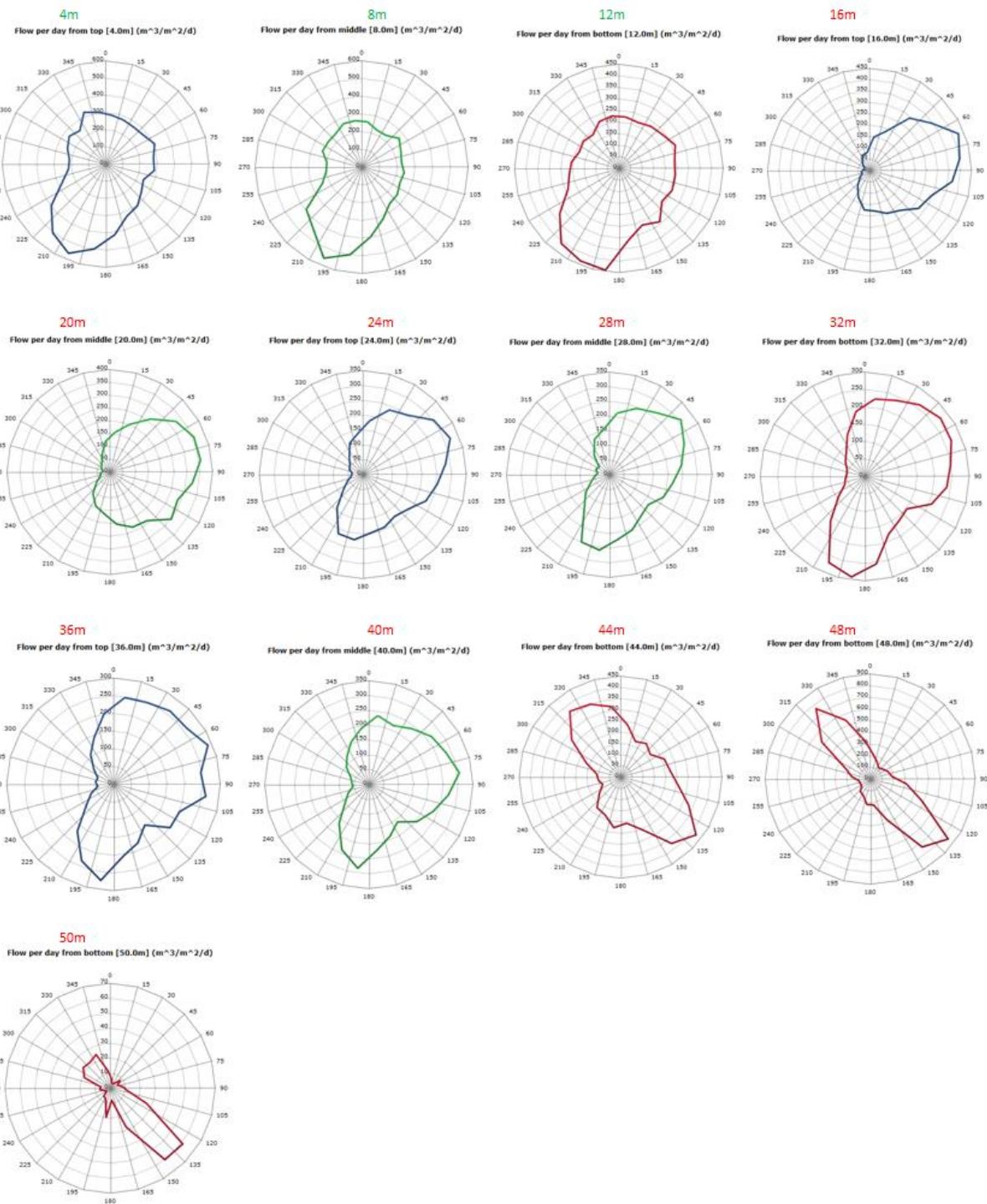


Vedlegg 2. Framhald.



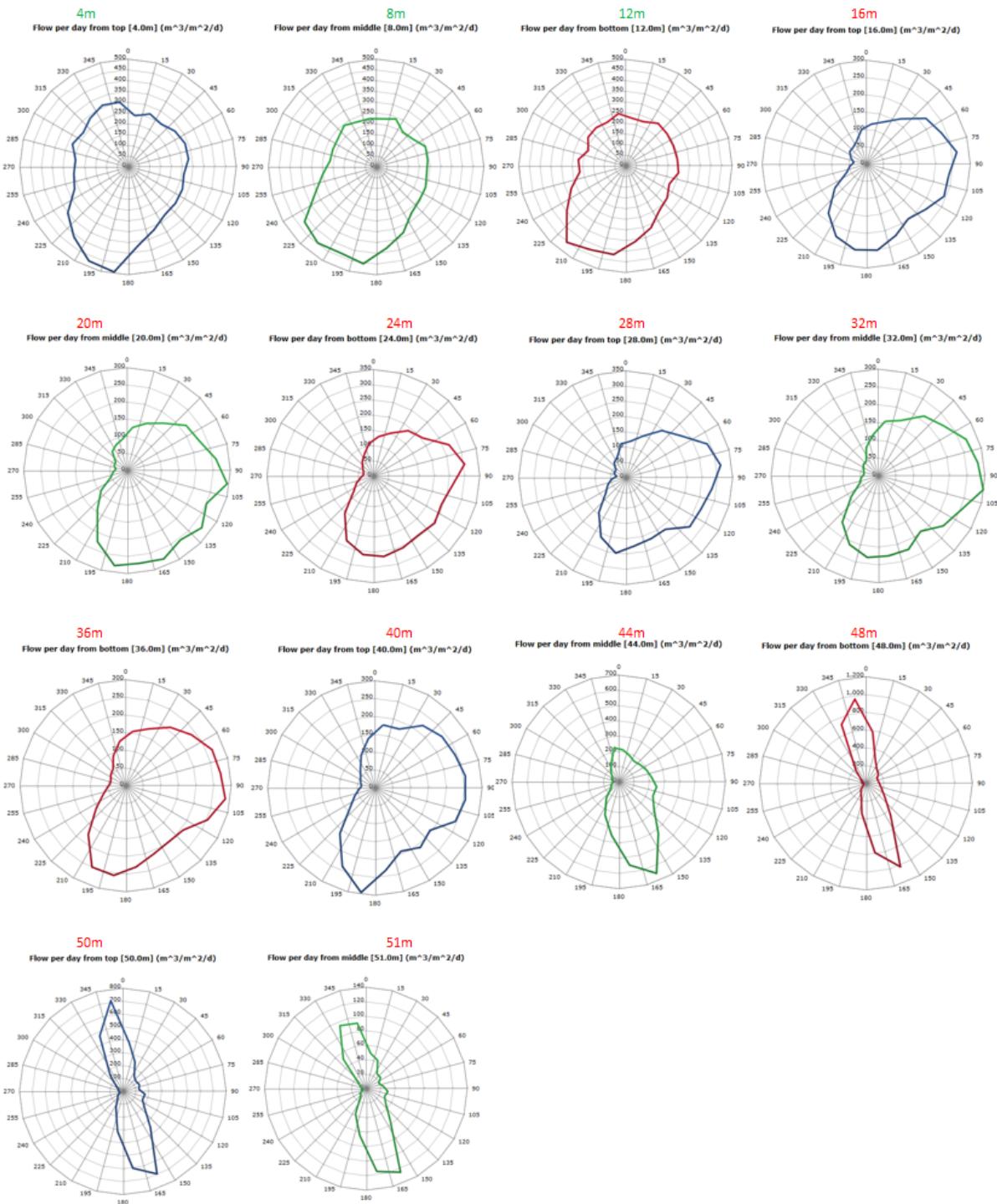
Vedlegg 3. Straumrosor for vasstransport (relativ flux) på utvalde djup ved Flisnesholmen dei ulike måleperiodane.

Relativ flux Flisnesholmen 14. mai – 9. juli 2019



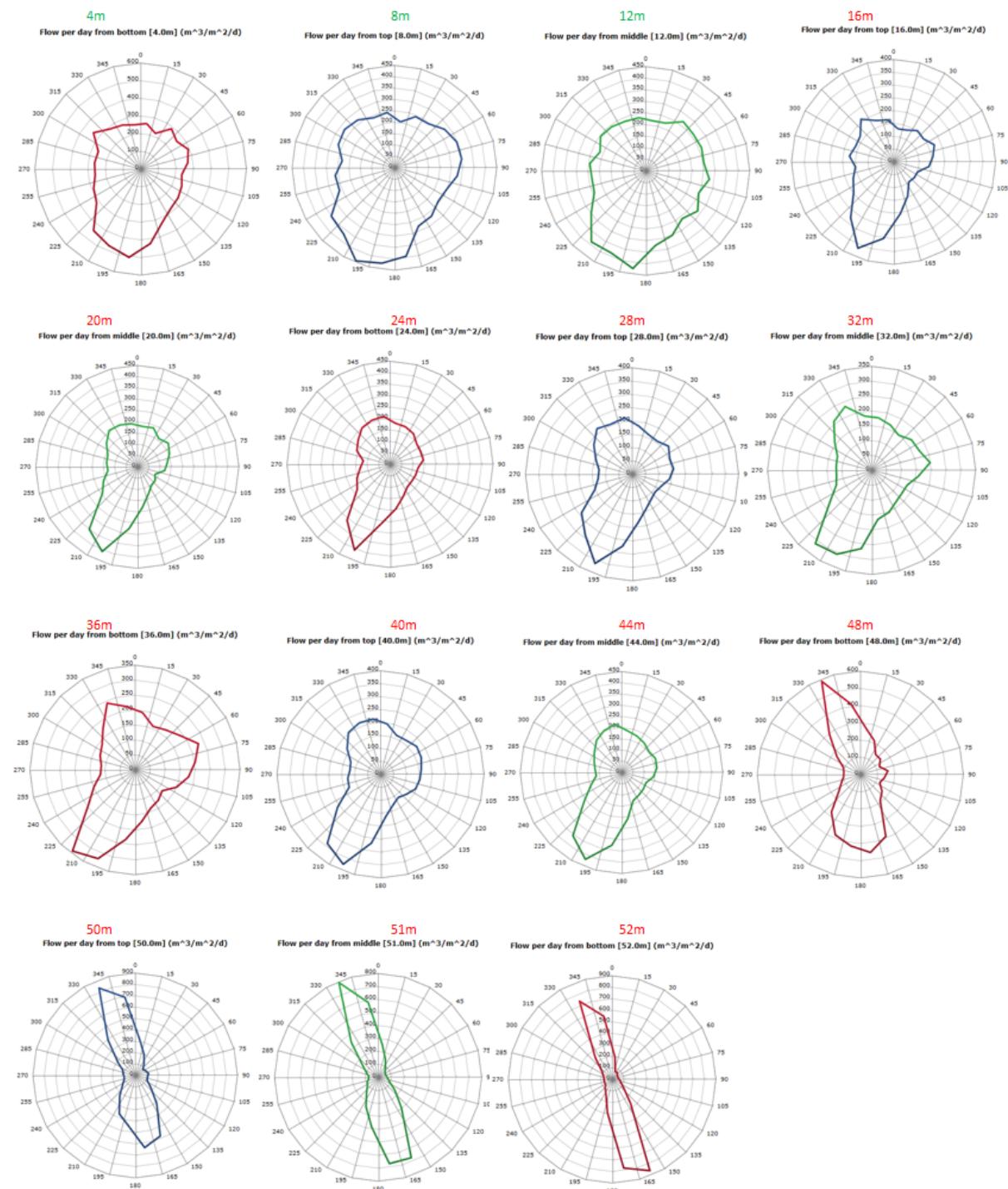
Vedlegg 3. framhald.

Relativ flux Flisnesholmen 9. juli - 10. september 2019



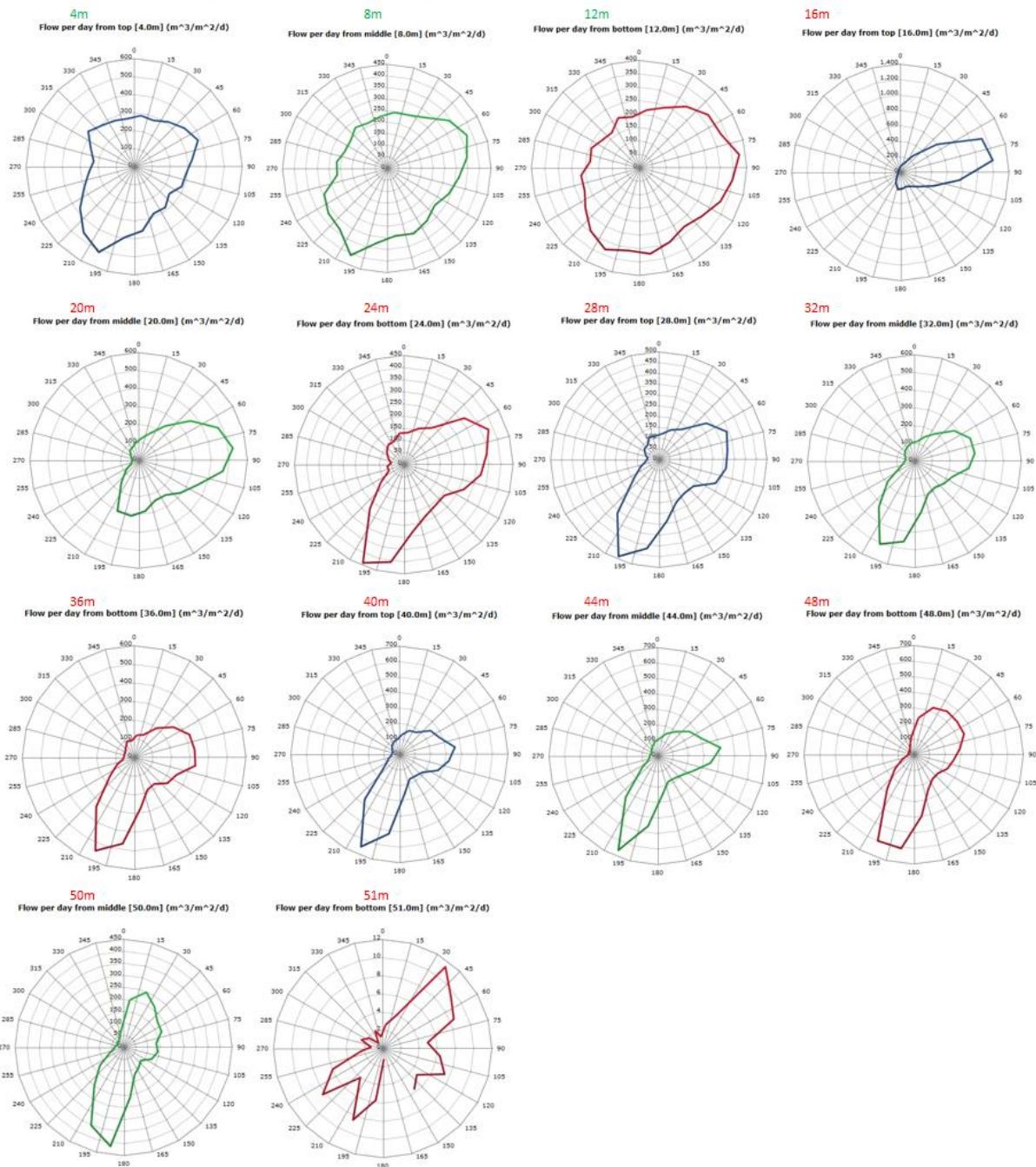
Vedlegg 3. framhald.

Relativ flux Flisnesholmen 10. september - 12. november 2019



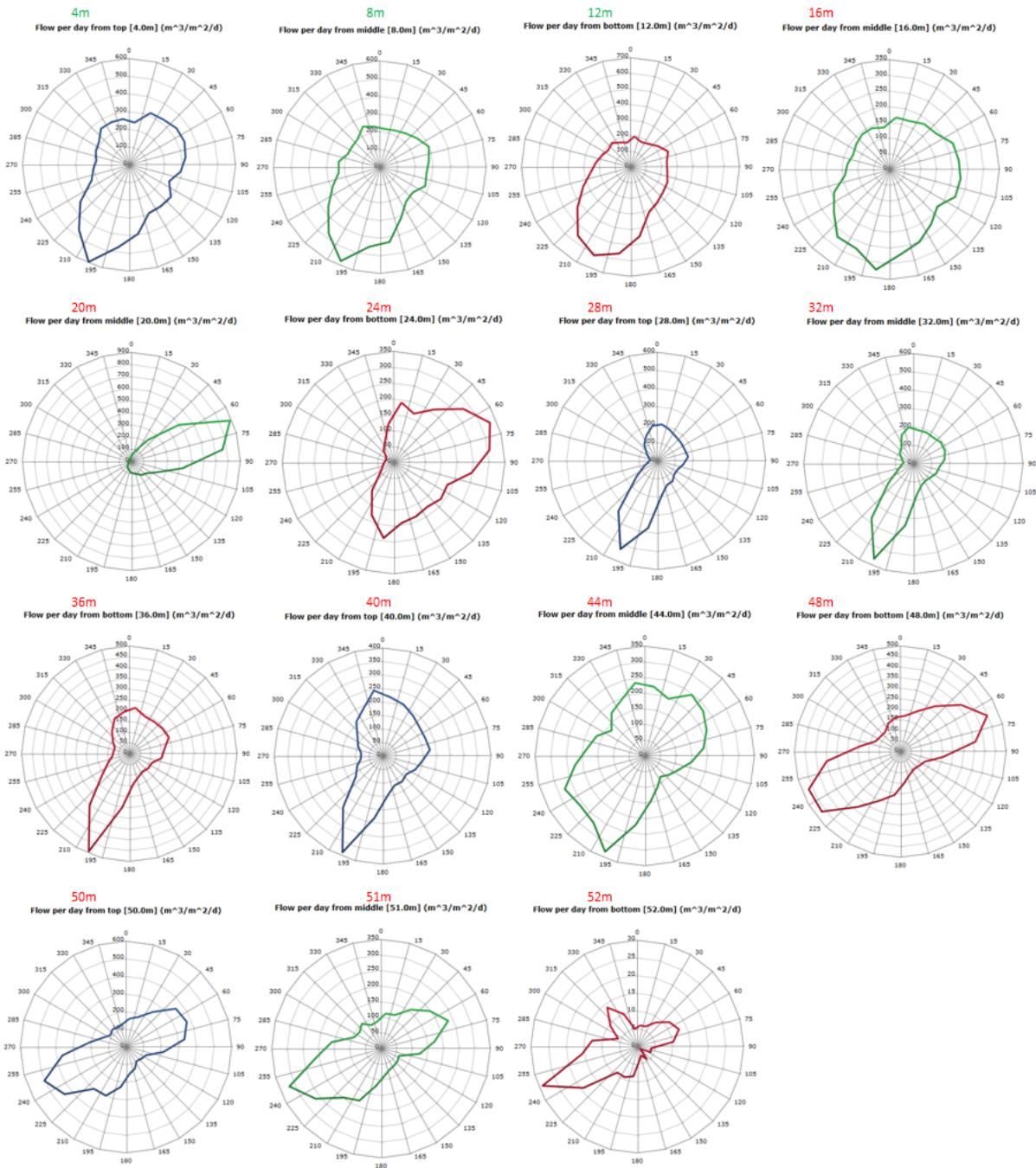
Vedlegg 3. framhald.

Relativ flux Flisnesholmen 12. november 2019 - 21. januar 2020



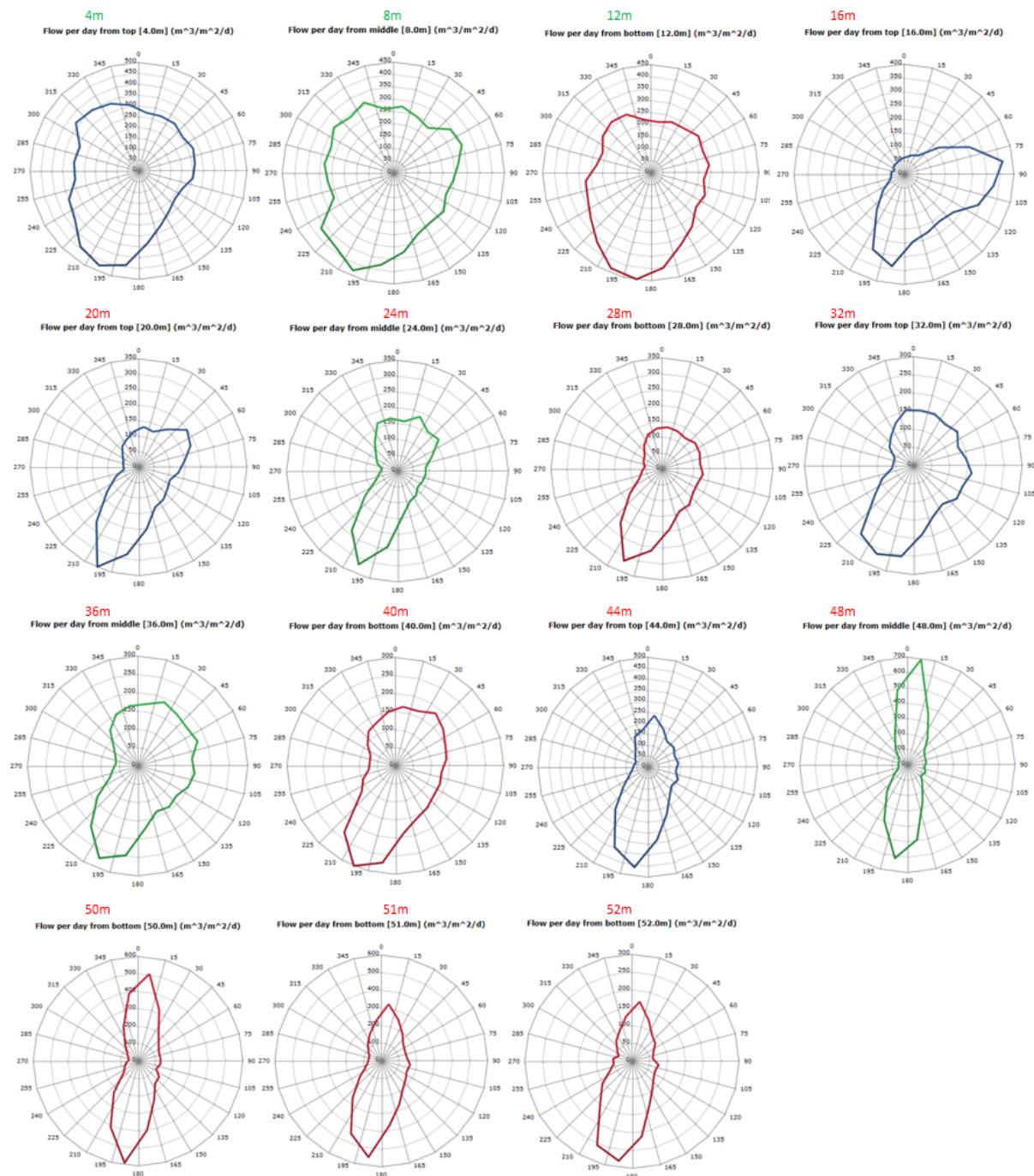
Vedlegg 3. framhald.

Relativ flux Flisnesholmen 21. januar - 26. mars 2020



Vedlegg 3. framhald.

Relativ flux Flisnesholmen 26. mars - 27. mai 2020

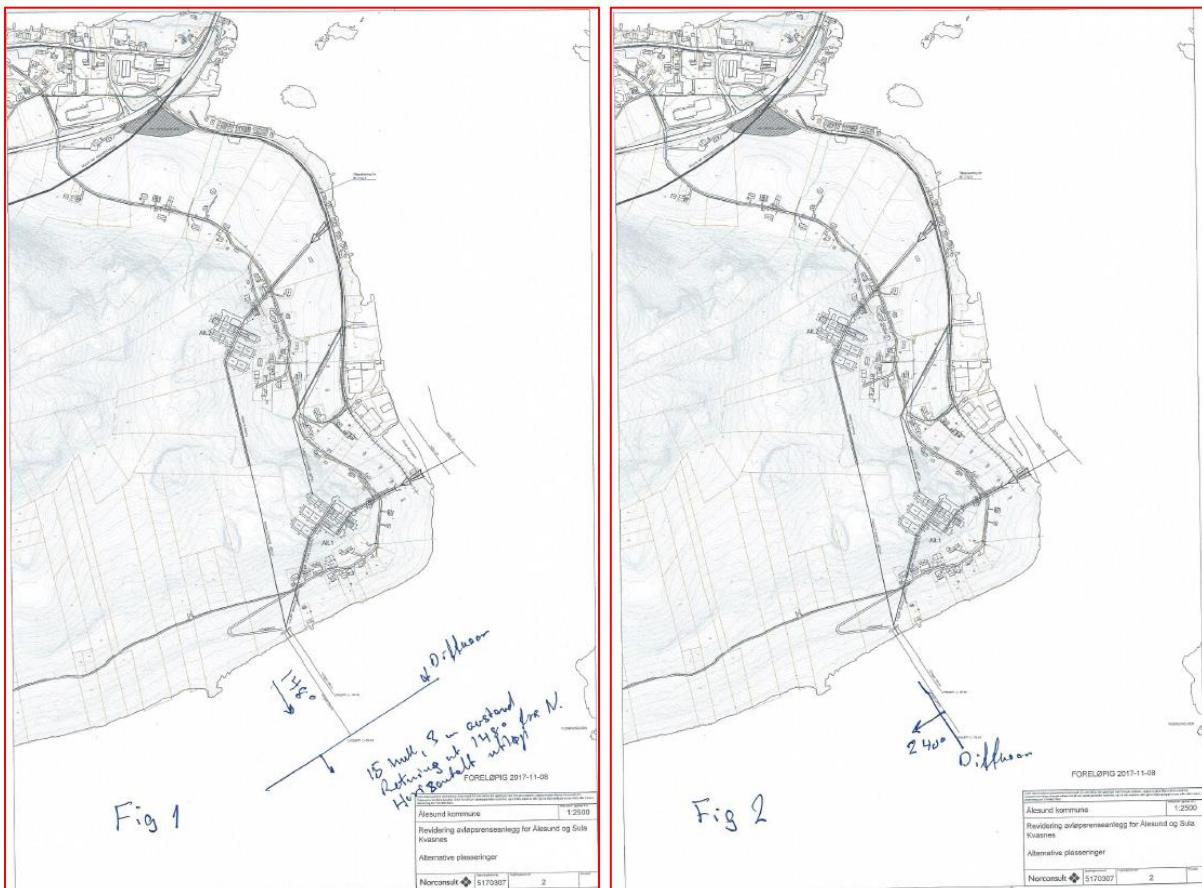


Vedlegg 5. MODELLERING MED DIFFUSOR

EINSIDIG DIFFUSOR (SOMMAR)

Første modellering med diffusor har teke utgangspunkt i ein diffusor med 15 opningar med ein avstand på 3 m og opningar på 0,15 m. I modellen er det forutsett at raten ut av alle opningane er den same, dvs. at baktrykket ved kvar opning er det same. Ved denne modelleringa er alle opningar i same retning, og det er modellert med to ulike himmelretningar, høvesvis 148 og 240 grader (**figur 42**). Dette er for å sjå på mogelege endringar i innlagring og fortynning ved ein dominerande vestleg straum ved utsleppet.

Det er modellert for ein sommarsituasjon med straummålingar i perioden 9. juli – 10. september 2019 og hydrografisk profil 9. juli. Det er brukt middel straumhastigkeit. Det var lite forskjell på innlagring og fortynning ved å endre retninga på diffusoren.



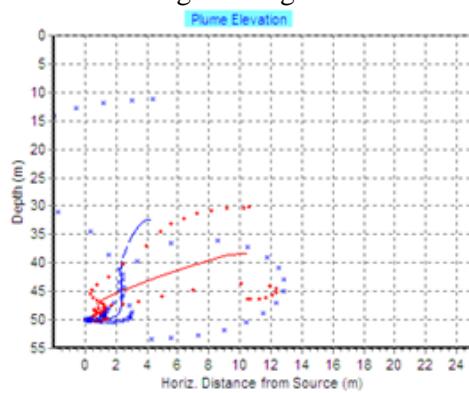
Figur 42. Figur over avløpsleidning med diffusor vinkelrett på avløpsrøyret og opning mot 148 grader (Fig1, til venstre) og rett diffusor med opning vinkelrett på avløpsrøyret mot 240 grader (Fig2, til høgre).

Tabell: Oppsummering av beregningsresultater sommer

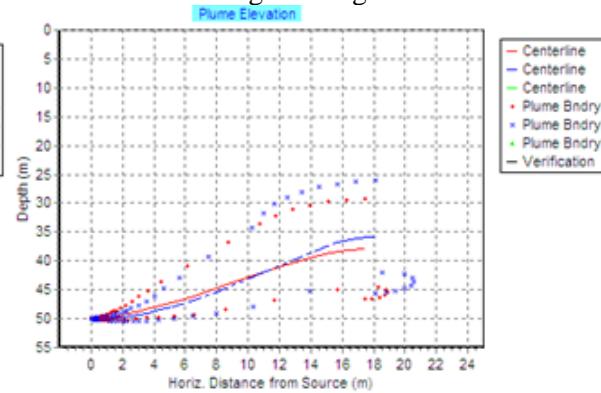
Retning ut Grader ift nord	Rate m ³ /sek	Innlagringsdyp meter under overflaten	Fortynning ved innlagring	Fortynning ved 1000 m nedstrøms
148	0,324	38	154	441
148	0,65	32	66	158
240	0,324	38	132	308
240	0,65	36	96	221

Middel straum, rød 324 l/s; blå 650 l/s.

Retning ut 148 gr

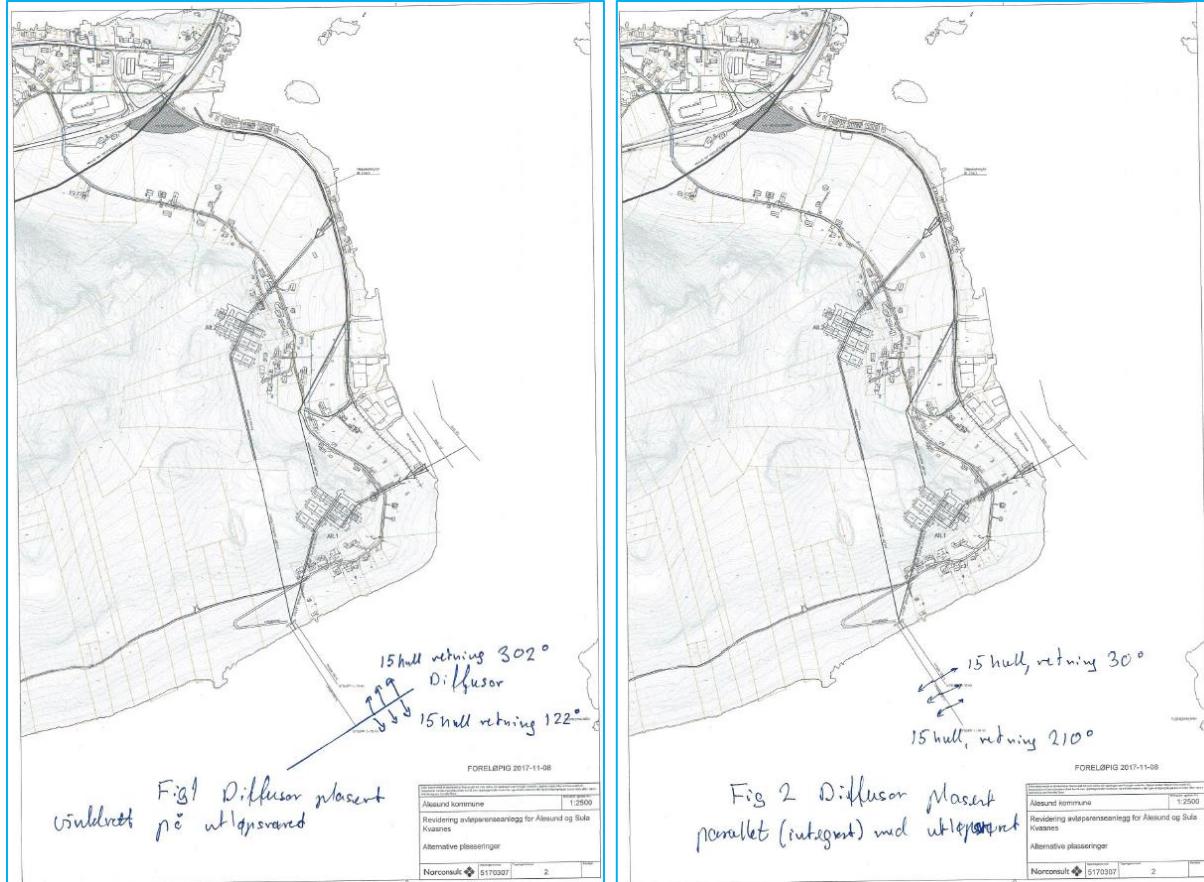


Retning ut 240 gr



TOSIDIG DIFFUSOR

I desse modelleringane er det brukt ein diffusor med til saman 30 opningar fordelt på 15 opningar på kvar side med ein avstand på 3 m og opningar på 0,15 m. I modellen er det forutsett at raten ut av alle opningane er den same, dvs. at baktrykket ved kvar opning er det same. Det er gjort berekningar for to ulike orienteringar av diffusoren. Den første er for ein diffusor sett vinkelrett på tilførselsrøyret, med retningar ut på 122° og 302° (**figur 43**, til venstre). Den andre er for ein diffusor parallelt med tilførselsrøyret, med retningar ut på 30° og 210° (**figur 43**, til høgre).



Figur 43. Figur over avløpsleidning med diffusor vinkelrett på avløpsrøyret (Fig1, til venstre) og parallelt med avløpsrøyret (Fig2, til høgre).

Berekningsmodellen som vert brukt kan berre rekne på ein diffusor med alle utløpa retta i same retning. Ettersom det er hol på to sider i dette tilfellet blir berekninga utført i to delar, ei berekning for kvar av dei to retningane. Vi antar såleis at utsleppet i dei to retningane ikkje påverkar kvarandre i vesentleg grad bortsett frå fortynninga. Innlagringsdjupet vil vere lite påverka. Utsleppa vil for ein stor grad blande seg saman når energien er brukt opp og plumen følgjer straumen (passiv diffusjon). Den mest konservative måten å finne den samla fortynninga på blir då å beregne fortynninga basert på at plumen ut på begge sider blandar seg.

For å beregne den resulterande fortynninga må vi gå vegen om konsentrasjonen:

[$F=1/K$] der F er fortynning og K er konsentrasjon

[$F=1/(k_1+k_2)$] der k_1 og k_2 er konsentrasjonen i dei to plumeane vi har ($K=k_1+k_2$)

Så har vi at [$k_1=1/f_1$] og [$k_2=1/f_2$], her er f_1 og f_2 fortynninga i de to plumeane. Ettersom det er fortynninga som er kjent får vi så

[$F=1/(1/f_1+1/f_2)$] Løyser vi denne eit steg vidare får vi ved å setje felles nemnar i brøken $1/f_1+1/f_2$

[$F=f_1*f_2/(f_1+f_2)$] (Likning 1), som blir uttrykket for den felles fortynninga.

Tosidig diffusor sommar

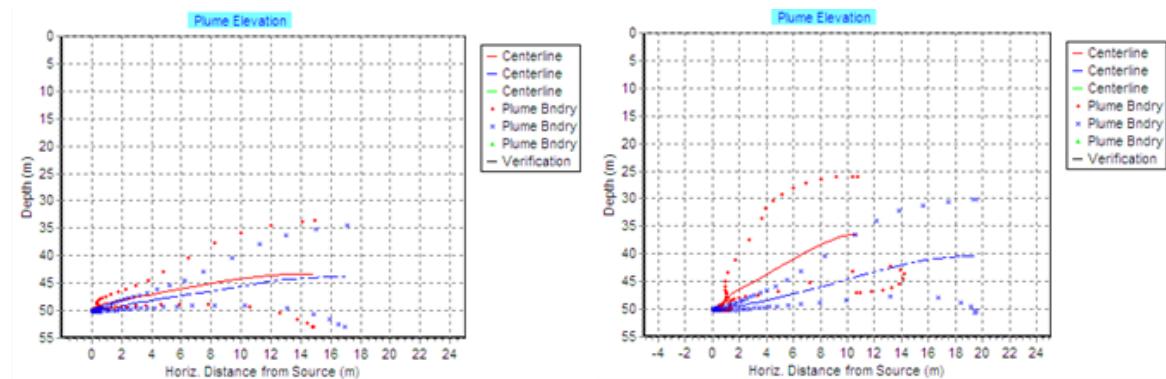
Basert på middel straumhastigkeit i perioden 9. juli – 10. september 2019 og hydrografisk profil 9. juli, samt resultat frå likning 1, får me nedanforståande tabell og figurar. Innlagringsdjupet er stort og det er ingen fare for gjennomslag.

Rate ut (l/s)	Diffusor	Retning ut (grader)	Innlagringsdyp senterlinje (m)	Beregnet fortynning ved innlagring	Summert fortynning ved innlagring (Likning1)	Beregnet Fortynning ved 1 km nedstrøms	Summert fortynning 1km nedstrøms (Likning1)
324	Fig 1	302	43	290		739	
			44	320	152	820	389
324	Fig 2	210	43	281		624	
			30	257	134	573	299
650	Fig1	302	36	108		249	
			40	189	69	470	162
650	Fig 2	210	40	182		401	
			36	120	72	275	163

Utslepp som i fig1 (vinkla diffusor)

middel rate (324 l/s)

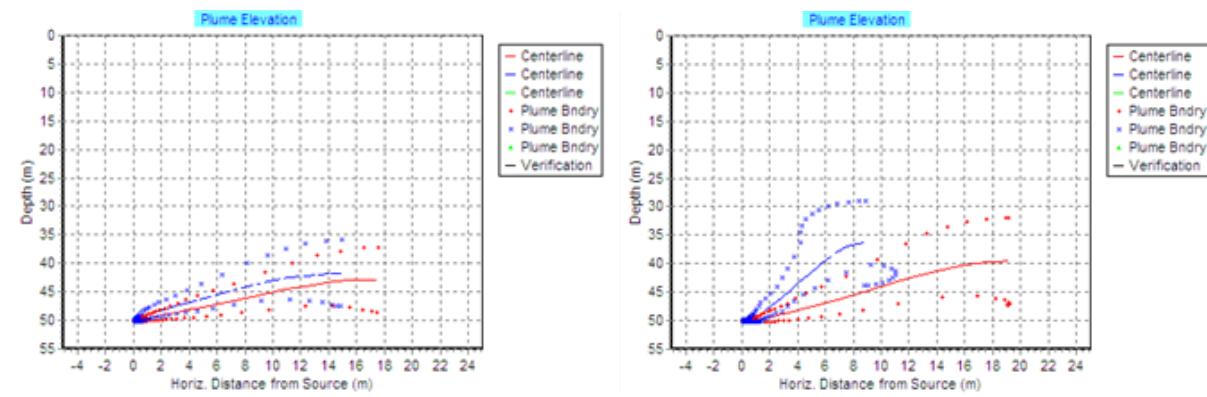
maksimum rate (650 l/s)



Utslepp som i fig2 (rett diffusor)

middel rate (324 l/s)

maksimum rate (650 l/s)



Tosidig diffusor haust

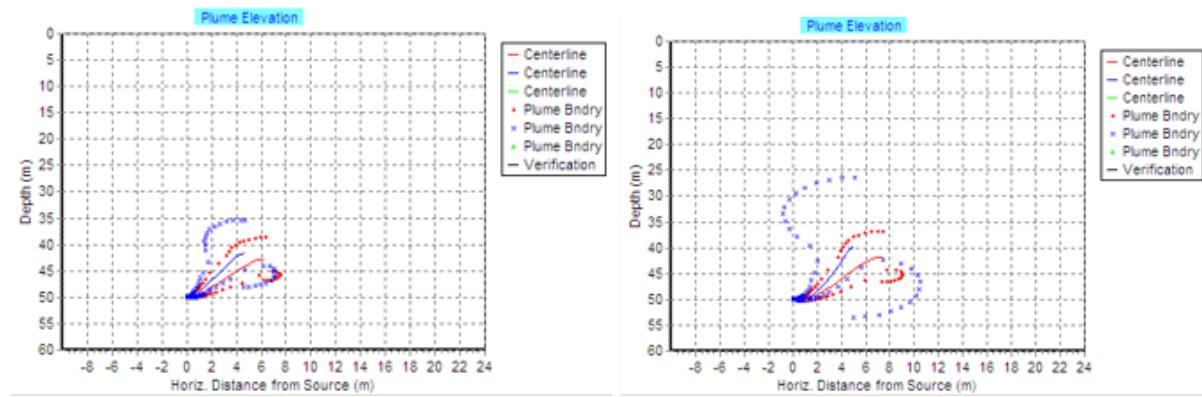
Basert på middel straumhastighet i perioden 10. september – 12. november 2019 og hydrografisk profil 10. september. Innslagringsdjupet er stort og det er ingen fare for gjennomslag med diffusor på 50 m djup.

Rate ut (l/s)	Diffusor	Retning ut (grader) Ift Nord	Innslagringsdyp senterlinje (m)	Beregnet fortynning ved innslagring	Summert fortynning ved innslagring (Likning 1)	Beregnet fortynning ved 1 km nedstrøms	Summert fortynning 1km nedstrøms (Likning 1)
324	Fig 1	302	43	77		166	
			122	64	35	135	74
324	Fig 2	210	44	105		228	
			30	99	51	213	76
650	Fig1	302	42	62		134	
			122	49	27	96	56
650	Fig 2	210	42	74		159	
			30	49	29	90	57

Utslepp som i fig1 (vinkla diffusor)

middel rate (324 l/s)

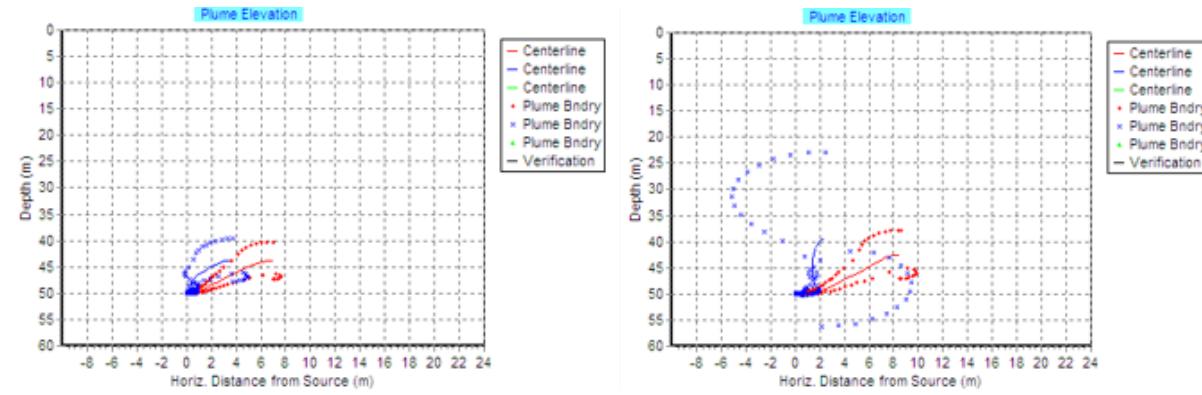
maksimum rate (650 l/s)



Utslepp som i fig2 (rett diffusor)

middel rate (324 l/s)

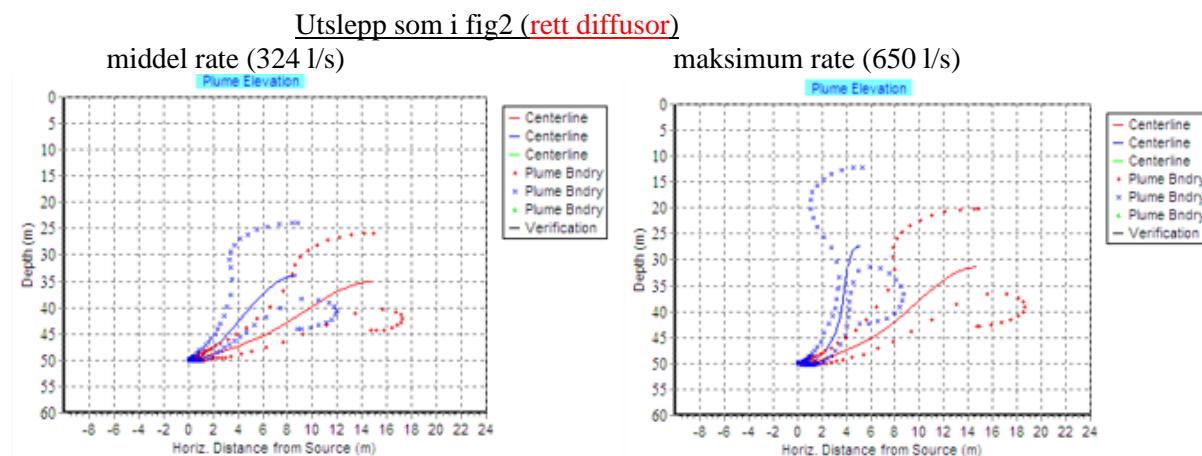
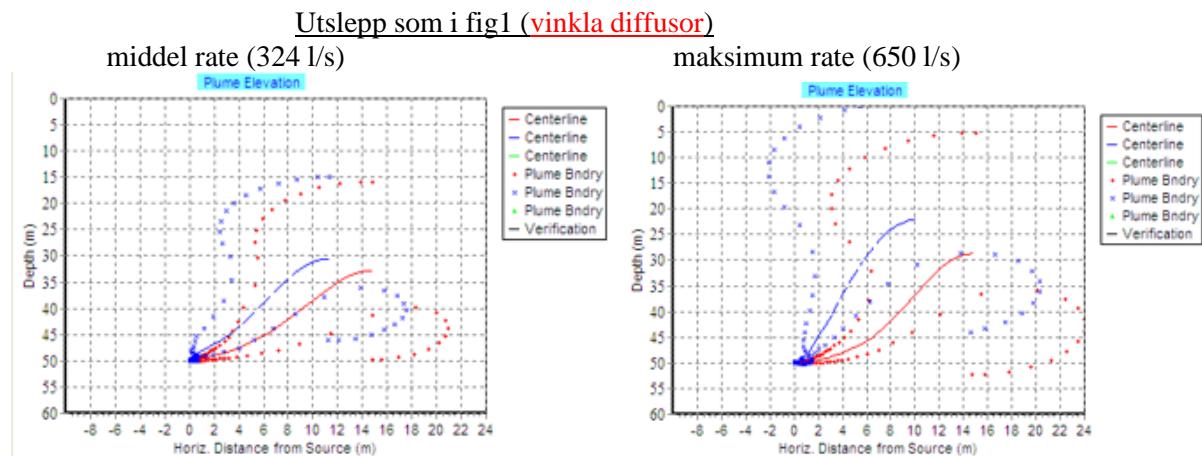
maksimum rate (650 l/s)



Tosidig diffusor vinter/vår

Basert på middel straumhastighet i perioden 26. mars – 5. juni 2020 og hydrografisk profil 26. mars. Resultata tyder på at ein vil få gjennomslag ved eit utslepp på 50 meters djup vinterstid for det eine av desse alternativa (vinkla diffusor), medan med alternativet med rett diffusor nådde toppen av plumen opp til ca. 12 m djup. Det er ikkje berekna med låg straumhastigkeit for desse modelleringane.

Rate ut (l/s)	Diffusor	Retning ut (grader) Ift Nord	Innlagringsdyp senterlinje (m)	Beregnet fortynning ved innlagring	Summert fortynning ved innlagring (Likning 1)	Beregnet fortynning ved 1 km nedstrøms	Summert fortynning 1km nedstrøms (Likning 1)
324	Fig 1	302	33	204		266	
			122	168	92	222	121
324	Fig 2	210	35	298		381	
			30	261	90	332	113
650	Fig1	302	29	138		172	
			122	111	62	141	77
650	Fig 2	210	31	185		234	
			30	152	84	188	104



Vedlegg 6. MODELLERING UTAN DIFFUSOR 50 OG 60 M DJUP

Vintermålingar

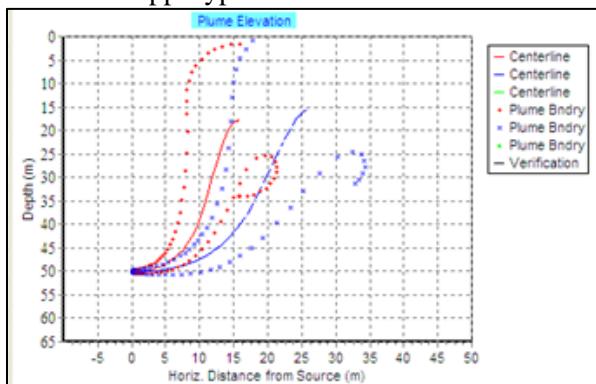
Modellering er gjort med maks og middel vassmengd i avløpet for to ulike røyrdimensjonar utan diffusor. Desse berekningane er vidare gjort for to ulike utsleppsdjup (50 og 60 meter), og for to ulike straumhastigheiter (middelstraum og låg straum). Det er teke utgangspunkt i straummålingar i perioden 26. mars – 5. juni 2020, og hydrografi 26. mars.

Det er gjennomslag til overflata ved alle scenario på 50 m djup, medan på 60 m djup er det gjennomslag ved låg straumhastigkeit og høg vassmengd frå anlegget (sjå figurar nedanfor). Låg straumhastigkeit vil her seie signifikant låg straum (dvs. gjennomsnittet av dei lågaste 1/3 av målingane). Ved tilnærma straumstille (1 cm/s gjennom heile vassøyla) vil det bli gjennomslag ved alle modellerte scenario. Ein del av skilnaden mellom 50 og 60 meter ligg i at det er målt sterk straum ved botnen rundt 50-53 meters djup, som i modellen får lite innverknad på 50-meters modelleringa, men desto meir på 60 meter.

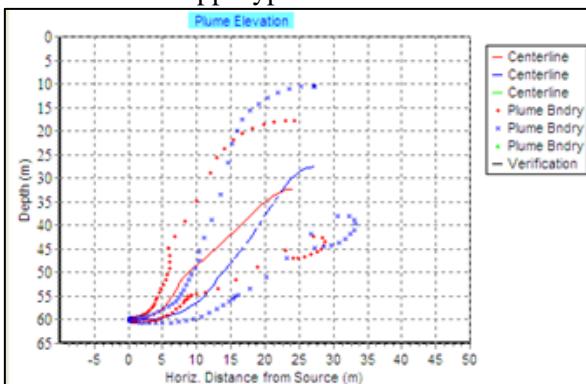
Retninga på straumen er vest-sørvest. Fortynning ved innlagring er ca. 100-190 gonger, medan fortynning ved 1 km er ca. 200-550 gonger.

Midlere strøm, utslippsdiameter 0,45 m, rød 324 l/s; blå 650 l/s.

utslippsdyp 50 m

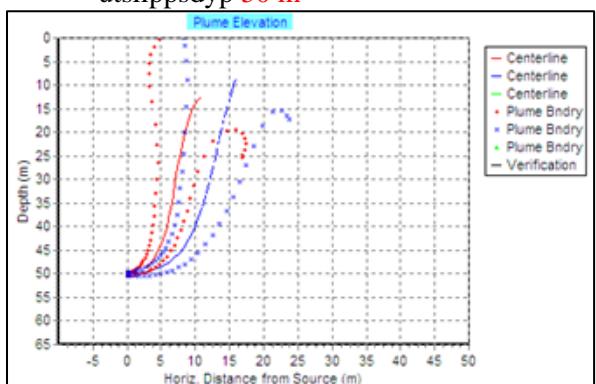


utslippsdyp 60 m

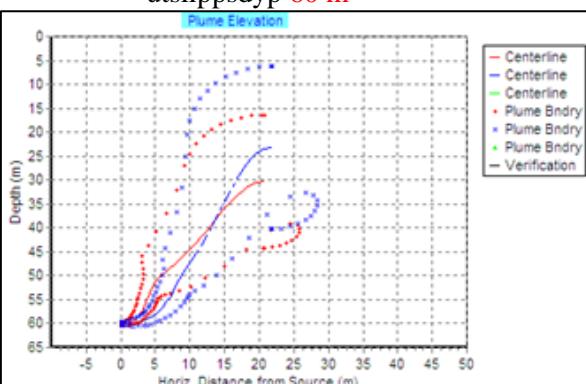


Midlere strøm, utslippsdiameter 0,6547 m, rød 324 l/s; blå 650 l/s.

utslippsdyp 50 m

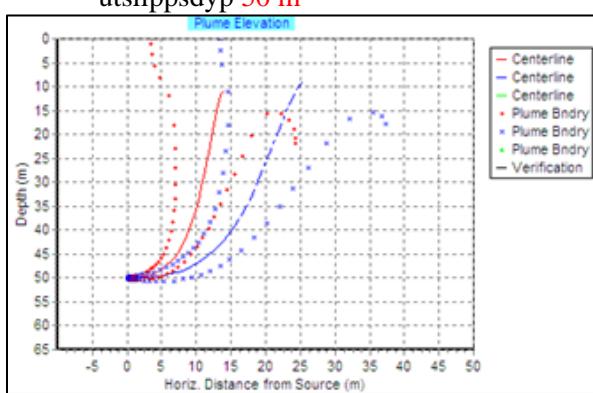


utslippsdyp 60 m

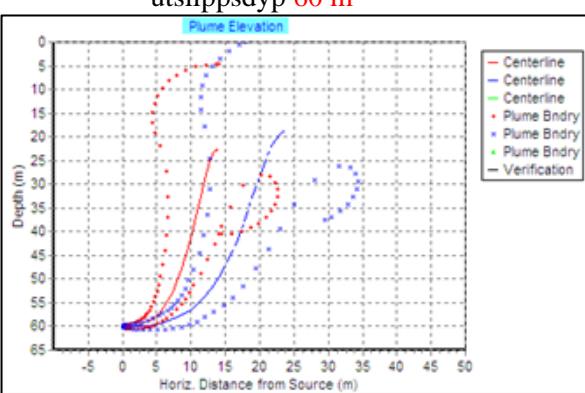


Lav strøm, utslippsdiameter 0,45 m, rød 324 l/s; blå 650 l/s

utslippsdyp 50 m

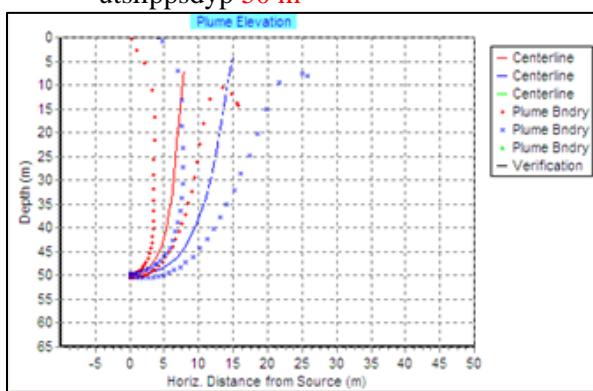


utslippsdyp 60 m

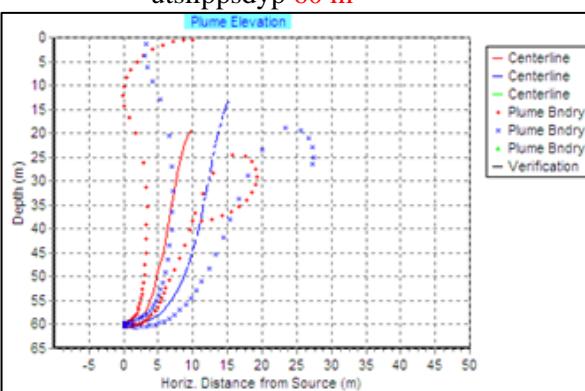


Lav strøm, utslippsdiameter 0,6547 m, rød 324 l/s; blå 650 l/s

utslippsdyp 50 m



utslippsdyp 60 m



Sommar- og haustmålingar

Ved sommar- og haustmålingar er det ikkje modellert gjennomslag ved noko høve. Høgast opp i vassøyla kjem plumen ved låg signifikant straumhastigheit og største berekna diameter på røyret (sjå utval av figurar nedanfor). Senter for innlagring vil i desse tilfella ligge rundt 18-24 meter for eit utslepp på 50 meters djup, og toppen av plumen vil nå opp til ca. 4-6 meters djup.

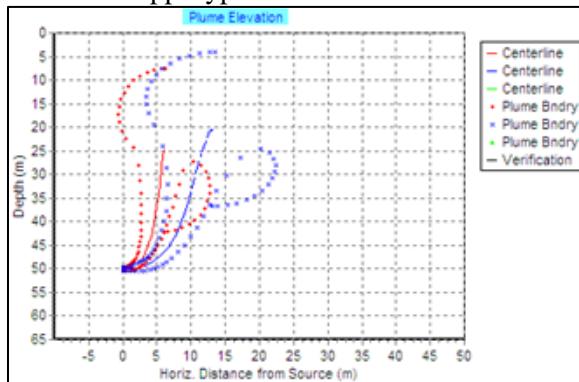
Ved teoretisk straum på 1 cm/s i heile vassøyla vil toppen av plumen nå opp til 2 m djup for både middel og maks vassmengd ved største berekna diameter om hausten, og opp til 3-5 m djup på sommaren.

Dominerande retning på straumen er nordvest om sommaren og sørvest om hausten. Fortyning ved innlagring er ca. 40-90 gonger, medan fortyning ved 1 km er ca. 150-400 gonger.

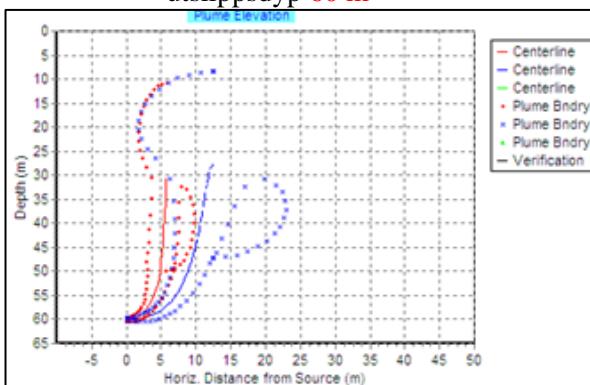
Sommar:

Lav strøm, utslippsdiameter 0,6547 m, rød 324 l/s; blå 650 l/s

utslippsdyp 50 m



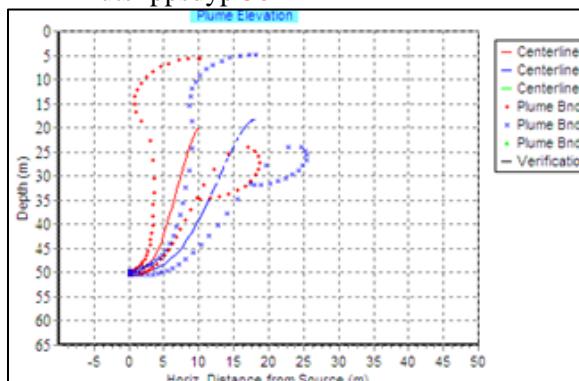
utslippsdyp 60 m



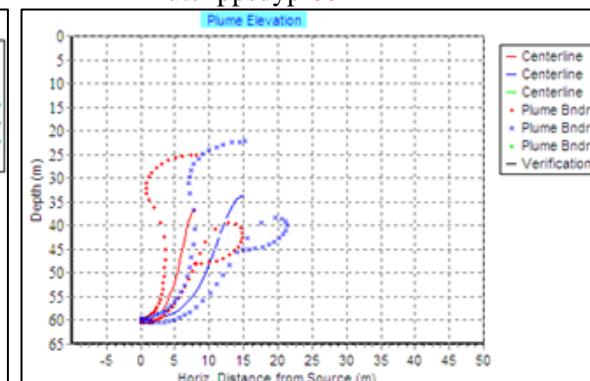
Haust:

Lav strøm, utslippsdiameter 0,6547 m, rød 324 l/s; blå 650 l/s

utslippsdyp 50 m



utslippsdyp 60 m



Vedlegg 7. MODELLERING MED JUSTERT TETTHEIKSPROFIL

Når vi har et utløp fra et renseanlegg, som er tilfelle her, vil plumen fra utløpet stige eller synke avhengig av tetthetsforskjellen mellom plumen og vannmassene omkring. I dette tilfelle er utslippet ferskvann med tetthet 1000kg/m^3 . Rådgivende Biologer har gjort 7 målinger av tetthetsprofiler i vannmassen der utslippet er planlagt (jf. **figur 15**). I alle de målte tetthetsprofilene vil plumen stige opp.

Ettersom det verste som kan skje er at plumen bryter overflaten. Det som gir plumen størst mulighet til å nå overflaten, er en stor forskjell mellom tettheten i utslippet og i vannmassen omkring. Det gjelder derfor først å finne en tetthetsprofil som gir god oppdrift for utslippet. Det er målingene fra mai i 2019 og 2020 som har den høyeste tettheten. Den fra 2019 har best oppdrift over ca. 30 meter og den fra 2020 under 30 meter. Vi har derfor laget en ny profil med data fra begge disse slik at vi har fått en profil som gir god oppdrift i hele vannsøylen, samtidig som det ikke er helt urealistisk. Dette blir da vårt «worst case» tetthetsprofil. Den er gitt i Tabell 1 og Fig. 4.

Tabell 1 Tetthets profil brukt i beregningene.

Dyp (m)	0	1	2	5	7	10	20
Sigma T	22,59	22,66	22,76	23,81	24,05	25,47	26,55
	30	40	45	46	48	52	60
	26,95	27,27	27,45	27,45	27,48	27,63	27,63

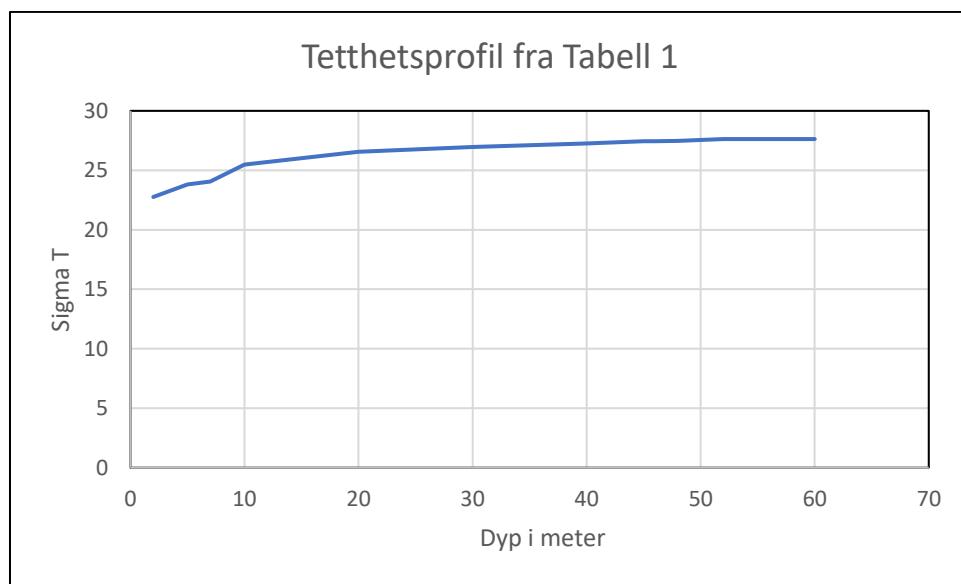


Fig. 4 Tetthetsprofil brukt i beregningene

Beregninger for å finne betydningen av de andre variablene.

Med denne profilen gitt, har vi undersøkt betydningen av utslippsdyp, hastighet ut av røret, strømhastighet og strømretning. Resultatene av dette er vist i Tabell 2.

I disse beregningene har vi brukt to utløpsdiameterer på 0,45 m og 0,6547 m. Den siste er den som er planlagt brukt. Videre har vi brukt to utslippsdyp, henholdsvis 50 og 60 meter, og vi har to rater definert av oppdragsgiver, henholdsvis 0,342 og 0,65 m³/s. Vi har antatt en konstant strøm i hele vannsøylen på 1, 3 og 5 cm/s. Det er gjort en beregning for å vise betydningen av strømmens retning i forhold til retningen på utslippet.

Det første vi kan se av tabellen er at ved et utslipp på 50 meter i en strøm på 1 cm/s vil ingen av de andre parameterne som utslippsrate eller utløpsdiameter gjøre at vi unngår gjennomslag (linje 1 til 4). Øker vi

utslippsdypet til 60 meter ser vi i linje 5 og 6 at vi kan unngå gjennomslag når vi reduserer utløpsdiameteren til 0,45 meter, men ikke med en diameter på 0,6547 meter (linje 7 og 8).

Vi øker så strømmen til 3 cm/s i hele vannsøylen. Linje 9 og 10 viser da at ved utslippsdyp på 50 meter, vil en diameter på 0,45 kunne unngå gjennomslag mens diameteren på 0,6547 vil gi gjennomslag (linje 11 og 12).

Øker vi utslippsdypet til 60 meter, viser linjene 13 til 16 at vi kan unngå gjennomslag med begge diametere hvis vi ikke har høysete rate (linje 16).

Ved en strøm på 5 cm/s og utslippet på 50 meters dyp (linjene 17 til 20) kan vi unngå gjennomslag med begge diametere hvis vi ikke har høysete rate (linje 20).

Med et utslippsdyp på 60 meter og en strøm på 5 cm/s kan vi unngå gjennomslag (linjene 21 til 24).

I alle beregningen til nå (linjene 1 til og med 24) har vi antatt at strømretningen er i samme retning som utslippet. I de to neste linjene har vi satt den relative retningen til 90 grader. Det vil si strømmen på tvers av utslippsretningen. Resultatet er at utslippet i linje 24, som ikke bryter overflaten nå bryter overflaten (linje 26).

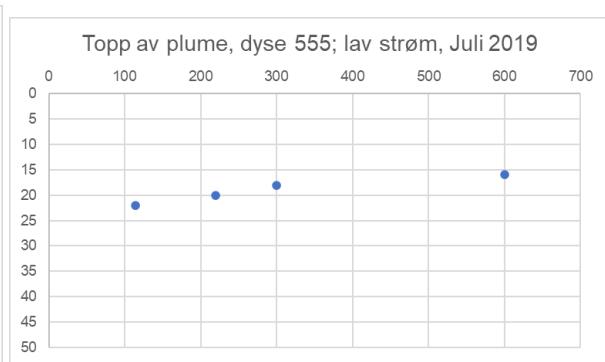
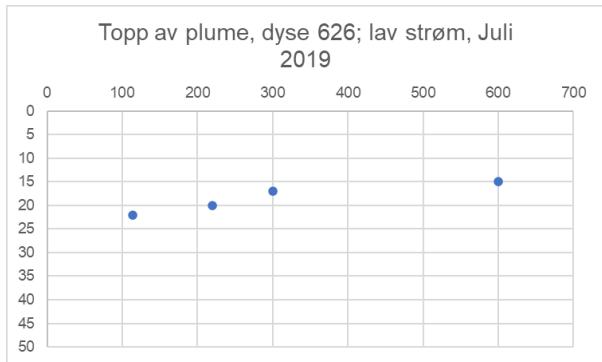
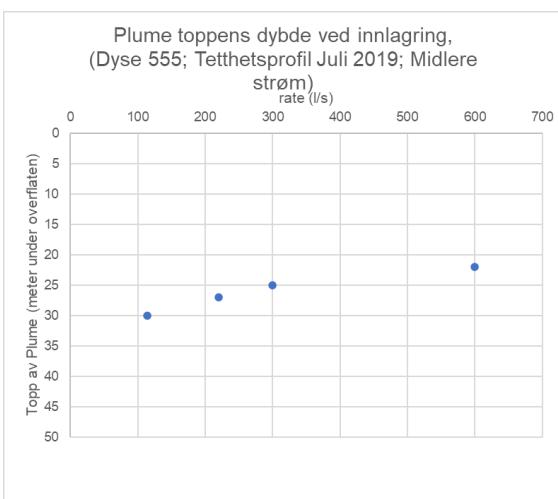
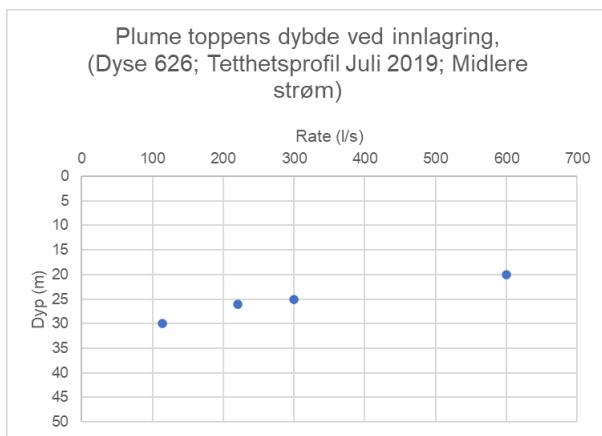
Her må det bemerkes at alle de tre strømprofilene som Rådgivende Biologer har satt opp for sommer, vinter og høst, alle har en midlere strømstyrke på mer enn 5 cm/s. Det betyr imidlertid ikke at strømmen ikke vil være veldig svak i enkelte perioder. Men kan man ved lav strøm redusere raten, vil det hjelpe.

Tabell 2

Linje nr.	Diameter på utløpet (m)	Hastighet ut (m/s)	Rate (m³/s)	Strøm (cm/s)	Utslippsdyp (m)	Utløpsvinkel ift strømvinkel	Gjennomslag	Innlagringsdyp (m)	Fortynning
1	0,45	0,962	0,342	1	50	0	ja	14	76
2	0,45	1,932	0,65	1	50	0	ja	11	61
3	0,6547	2,037	0,342	1	50	0	ja	15	81
4	0,6547	4,087	0,65	1	50	0	ja	14	69
5	0,45	0,962	0,342	1	60	0	nei	19	90
6	0,45	1,932	0,65	1	60	0	nei	17	78
7	0,6547	2,037	0,342	1	60	0	ja	17	86
8	0,6547	4,087	0,65	1	60	0	ja	14	70
9	0,45	0,962	0,342	3	50	0	nei	14	79
10	0,45	1,932	0,65	3	50	0	nei	13	68
11	0,6547	2,037	0,342	3	50	0	ja	13	73
12	0,6547	4,087	0,65	3	50	0	ja	11	59
13	0,45	0,962	0,342	3	60	0	nei	19	95
14	0,45	1,932	0,65	3	60	0	nei	17	81
15	0,6547	2,037	0,342	3	60	0	nei	18	90
16	0,6547	4,087	0,65	3	60	0	ja	14	72
17	0,45	0,962	0,342	5	50	0	nei	15	88
18	0,45	1,932	0,65	5	50	0	nei	14	74
19	0,6547	2,037	0,342	5	50	0	nei	14	80
20	0,6547	4,087	0,65	5	50	0	ja	11	63
21	0,45	0,962	0,342	5	60	0	nei	22	106
22	0,45	1,932	0,65	5	60	0	nei	18	89
23	0,6547	2,037	0,342	5	60	0	nei	19	100
24	0,6547	4,087	0,65	5	60	0	nei	15	77
25	0,6547	2,037	0,342	5	60	90	nei	22	112
26	0,6547	4,087	0,65	5	60	90	ja	18	92

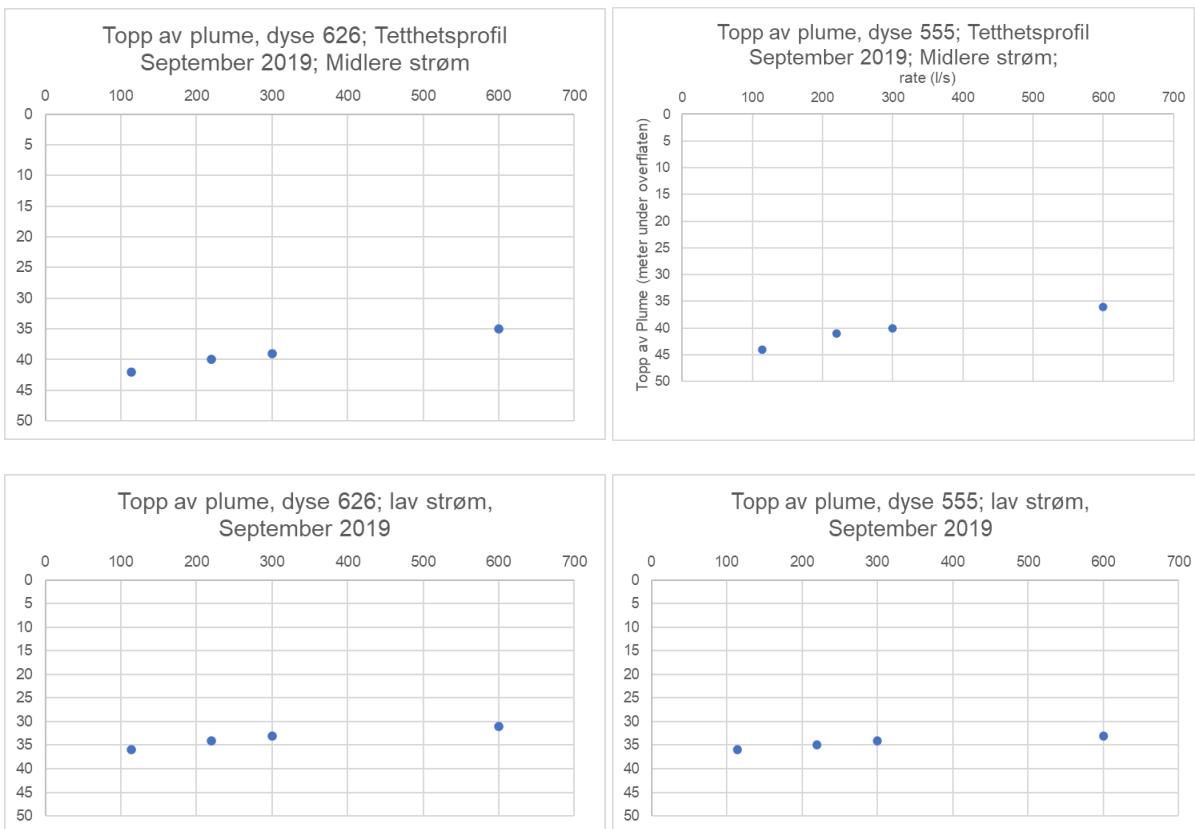
Vedlegg 8. Berekning av gjennomslag til overflata. Visual Plume (J. N. Langfeldt).

Figurer for juli 2019 profil



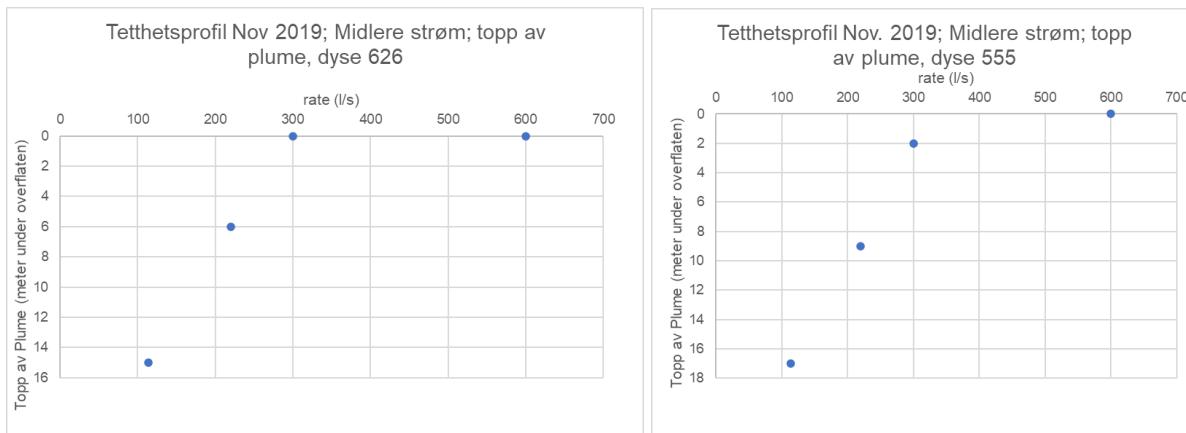
I et juli profil som over viser figuren over at i et slik profil vil vi ikke få gjennomslag.

Figurer for september 2019 profil

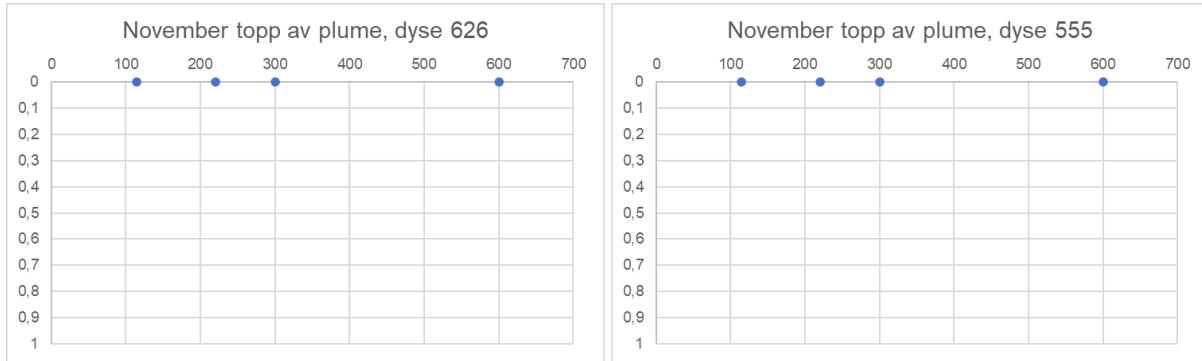


I et profil som september 2019 får vi ikke gjennomslag pga skikningen.

Figurer for november 2019

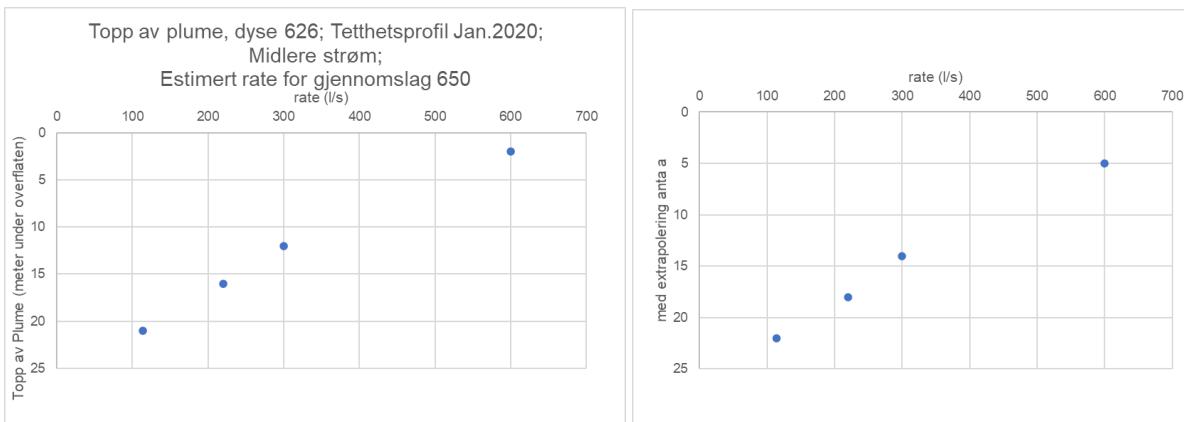


Her får vi gjennomslag med en rate på 300 l/s. Det vil si at i 70 % av tiden vil dette ikke få gjennomslag. Til høyre er samme figur med en trangere dyse. Det er forventet at maks rate som ikke gir gjennomslag vil være litt over 300 l/s. Dvs marginalt bedre enn dysen på 626 mm.

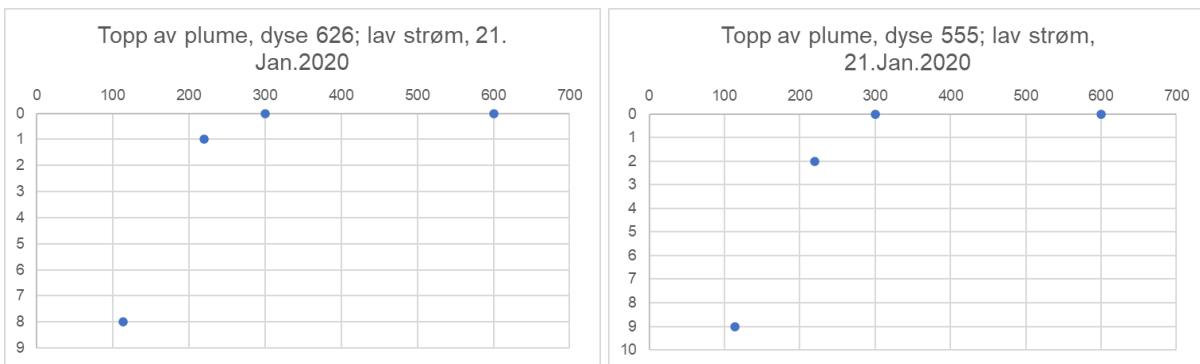


De to siste her viser at ved lav strøm i et november tetthetsprofil vil plumen alltid komme til overflaten. Det er antagelig lite å gjøre med dette idet profilet er nesten helt rett og da er det vanskelig å få fanget plumen.

Figurer for januar 2020



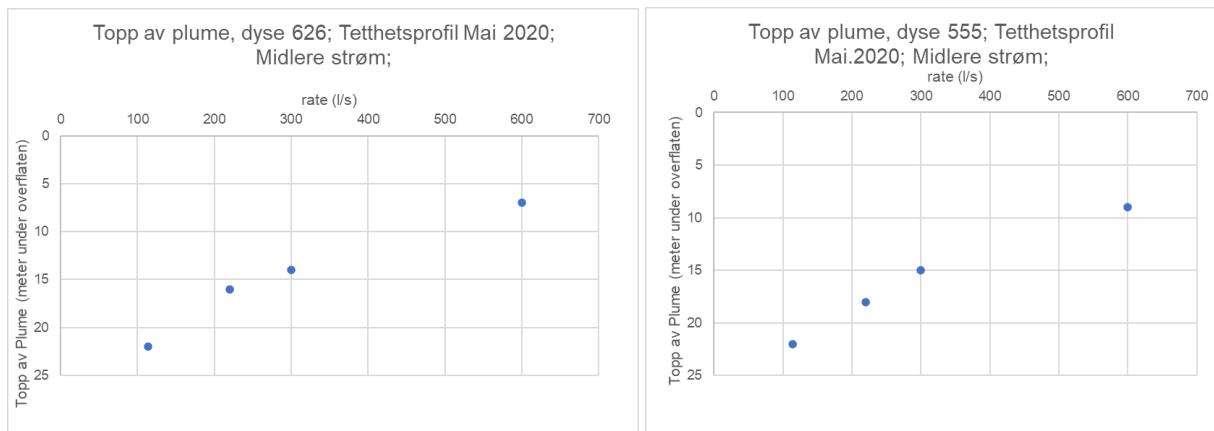
I januar med midlere strøm kan vi estimere største rate som ikke gir gjennomslag til mellom 650 og 700



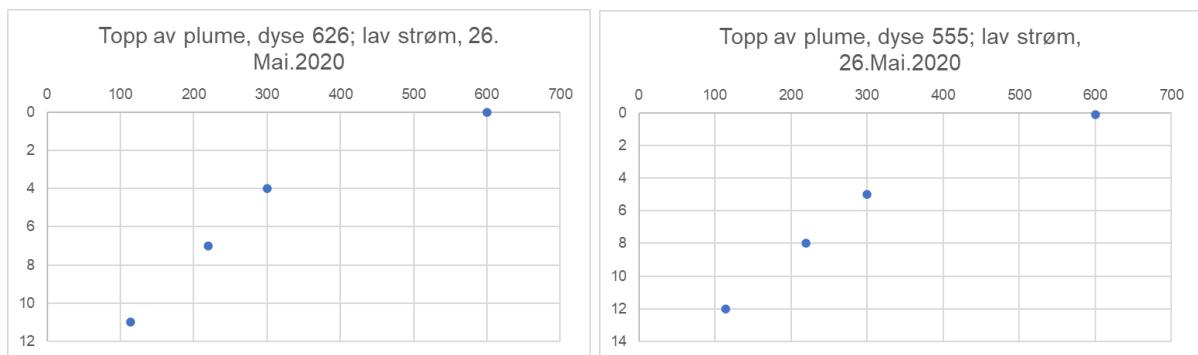
I januar vil lav strøm gi gjennomslag for rater høyere enn ca 220 til 250 avhengig av dyse. Forskjellen er så liten at liten dyse ikke er nødvendig. Dvs at mer enn halvparten av alle utslipper i dette profilet vil bli innlagret under overflaten.

Tetthetsprofilen for januar er ganske rett, men ikke like mye som november. Det er derfor litt bedre mulighet for innlagring.

Figurer for mai 2020



I dette profilet er det nesten umulig å nå overflaten i midlere strøm.



I lav strøm vil dyse 555 så vidt klare å unngå gjennomslag, Det kan estimeres at dyse 626 vil unngå gjennomslag med rater opp til 500 l/s.

Vedlegg 9. Asplan Viak rapport: Strømning- og spredningsmodell Storfjorden.

(neste 33 sider):

Rådgivende Biologer AS

STRØMNING- OG SPREDNINGSMODELL STORFJORDEN

Klikk eller trykk her for å skrive inn tekst.

Dato: 12.11.2020
Versjon: 03



Dokumentinformasjon

Oppdragsgiver:	Rådgivende Biologer AS
Tittel på rapport:	Strømning- og spredningsmodell Storfjorden
Oppdragsnavn:	Strømning- og spredningsmodell Storfjorden
Oppdragsnummer:	622533-01
Utarbeidet av:	Gerard Dam
Oppdragsleder:	Gerard Dam
Tilgjengelighet:	Åpen

Kort sammendrag

Sula/Ålesund kommune planlegger et nytt renseanlegg på Kvasnes. Utslippspunktet er planlagt i Storfjorden på en dybde på 60m. Spørsmålet er hvordan utslippsvannet sprer og fortynner seg i fjordsystemet. Direkte rundt utslippspunktet er det beregnet innlagringsdyp og fortynning i 'near-field' med Visual Plumes. I denne rapporten ser vi på spredning og fortynning i 'far-field', som betyr at vi ser på lengre avstander fra utslippspunktet. Særlig vektlegges spredning til Vågen og stoffer på overflaten.

For dette formålet er det laget en 3D hydrodynamisk modell av Storfjorden med høyeste oppløsning rundt interesseområdet. Modellen er først kalibrert for vannstander i Ålesund og viser at vannstandsfordelingen mellom målingene og modellen er innenfor noen cm. Etterpå ble modellen kalibrert med strømningsmålinger rundt Kvasnes i en vår/vinter-situasjon og en høst-situasjon. Vår/vinter-situasjonen ble reproduksjon godt av modellen. En høst situasjon ble mer vanskelig å reproduksjon med modellen på utslippspunktet. Vi tror dette stort sett skyldes værforholdene i denne perioden.

Modellen ble kjørt med 5 utslipsscenerier som representerer forskjellige strømningsforhold. Resultater vises i Tabell 1-1.

Tabell 1-1: Resultat scenarier

#	Scenario	Utslipps rate	Ferskvann avrenning elver	Gjennomslag utslippsvannet til overflaten	Resultat
1	Mye ferskvanns avrenning	600 l/s	3x gjennomsnitt	Nei	Utslippsvannet sprer seg under overflaten videre vestover mot sjøen
2	Mindre ferskvanns avrenning	600 l/s	0,5 x gjennomsnitt	Ja	Spredning av utslippsvannet på overflaten øst og vestover fra utslippspunktet. Minimum fortynningsfaktor ligger på 800x inn mot land på Kvasnes
3	Kun tidevanns strømning	600 l/s	Ingen	Ja	Spredning av utslippsvannet på overflaten øst og vestover fra utslippspunktet. Minimum fortynningsfaktor på 800x på overflaten inn mot land på Kvasnes
4	Kun tidevanns strømning	300 l/s	Ingen	Ja	Fortynningsfaktor på overflaten på 1200-1300x. Selv om dette gir en høyere fortynningsfaktor enn scenario 3 (rundt 800) er konsentrasjonen i vannet sannsynligvis høyere fordi stoffer i utslippsvannet er mer koncentrert med 300 l/s enn 600 l/s.

5	Sørvestlig høststorm	600 l/s	Ingen	Ja	Utslippsvannet sprer seg raskt østover på overflaten med mye fortynnning. Minimum fortynningsfaktor er beregnet på 800x i nærheten av utslipspunktet.
---	----------------------	---------	-------	----	---

VERSJON	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KS
03	12.11.20	Endelig	GD	IH
02	11.11.20	Utkast	GD	IH
01	05.12.19	Foreløpige resultater	GD	CK

Forord

På oppdrag fra Rådgivende Biologer AS er det utarbeidet en 3D strømnings- og spredningsmodell rundt Kvasnes, i forbindelse med planlegging av nytt renseanlegg for kommunene Sula og Ålesund. Gerard Dam har utarbeidet rapporten, og er også oppdragsleder for Asplan Viak.

Bergen, 12.11.2020

Gerard Dam
Oppdragsleder

Ingrid Hjorth
Kvalitetssikrer

Innhold

1. INNLEDNING	6
1.1. Introduksjon	6
2. MODELLBESKRIVELSE	7
2.1. Innledning	7
2.2. Beregningsnett, dybde og vertikale lag.....	7
2.3. Andre innstillinger	13
3. KALIBRERING	14
3.1. Vannstand	14
3.2. Strømning.....	16
3.2.1. Strømrosor Vegsundet	17
3.2.2. Strømrosor ved planlagt utslipspunkt.....	18
3.2.3. Strømrosor Flisholmen.....	21
3.3. Konklusjon kalibrering.....	23
4. RESULTATER.....	24
4.1. Scenarier og antakelser.....	24
4.2. Resultater fra de ulike scenariene.....	24
5. KONKLUSJON	32
KILDER	33

1. INNLEDNING

1.1. Introduksjon

Sula og Ålesund kommuner vil i fellesskap bygge et renseanlegg for kloakk på Kvasnes med utsipp i Storfjorden. Renseanlegget skal ta imot kloakk fra 70.000 personekvivalenter. Rådgivende Biologer og Asplan Viak ble engasjert av kommunene for å utføre strømningsmålinger og simulere spredning og fortynning av utslippsvannet. Denne rapporten inneholder resultater av 3D-modelleringen i ‘far-field’, det vil si på lengre avstand fra utslipppunktet. Samtidig ble det gjort beregninger av innlagringsdyp og fortynning av plumen i ‘near-field’ med Visual Plumes.

Fokus i denne rapporten er på E. coli i utslippsvannet og særlig spredning fra utslipppunktet til resten av området.



Figur 1-1: Oversiktskart utslipppunkt rundt Kvasnes.

2. MODELBESKRIVELSE

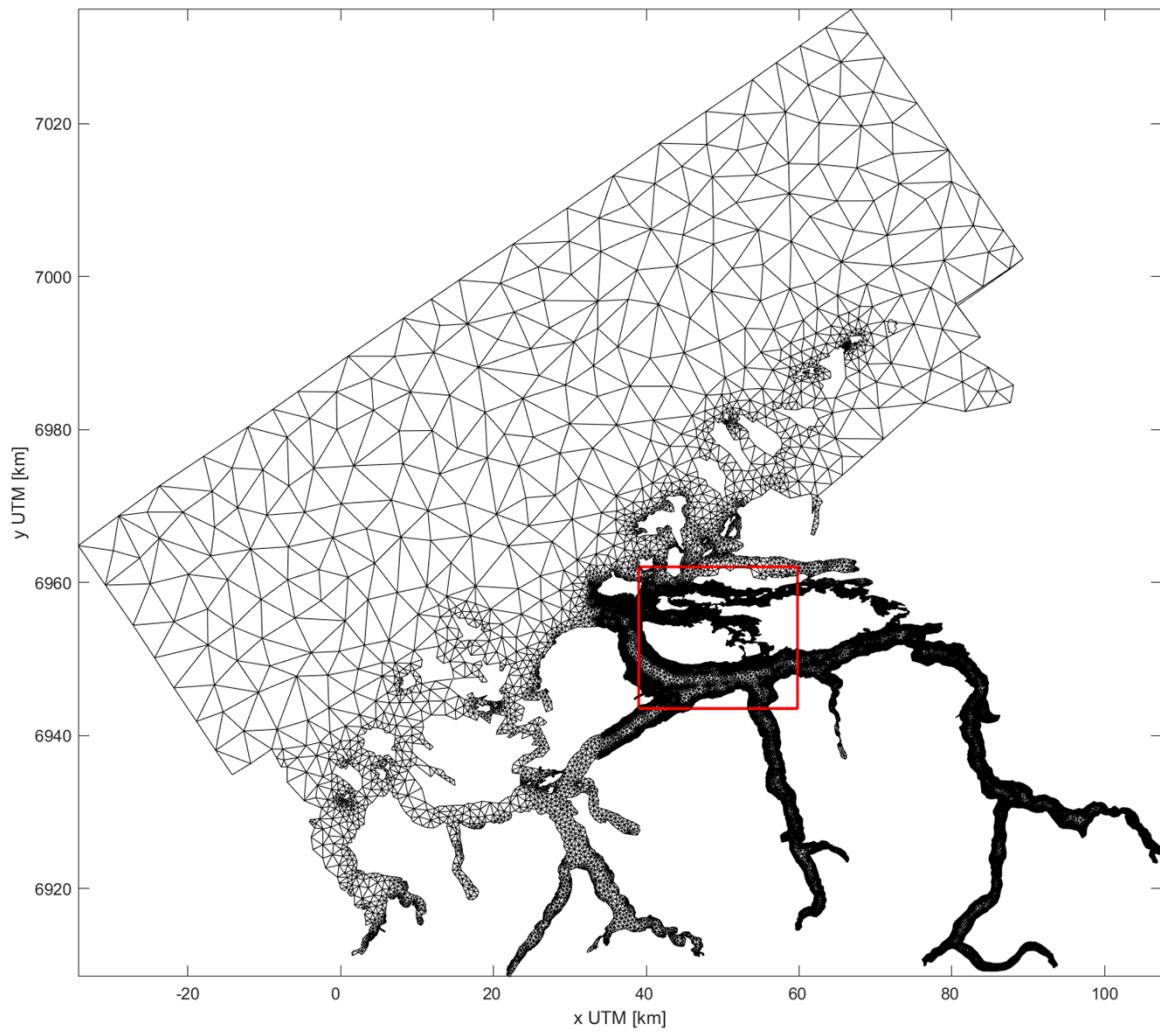
2.1. Innledning

Modellen som er brukt er FINEL3d modellen. Dette er en 3D ikke-hydrostatisk finite element modell. Modellen er utviklet av Tekniske Universitetet i Delft og Svašek Hydraulics (Labeur, 2009, Labeur & Wells, 2007, 2009, 2010, Talstra, 2016). Modellen er tidligere brukt i forskjellige oppdrag (Asplan Viak, 2019a; 2019b; Dam, 2017a og 2017b).

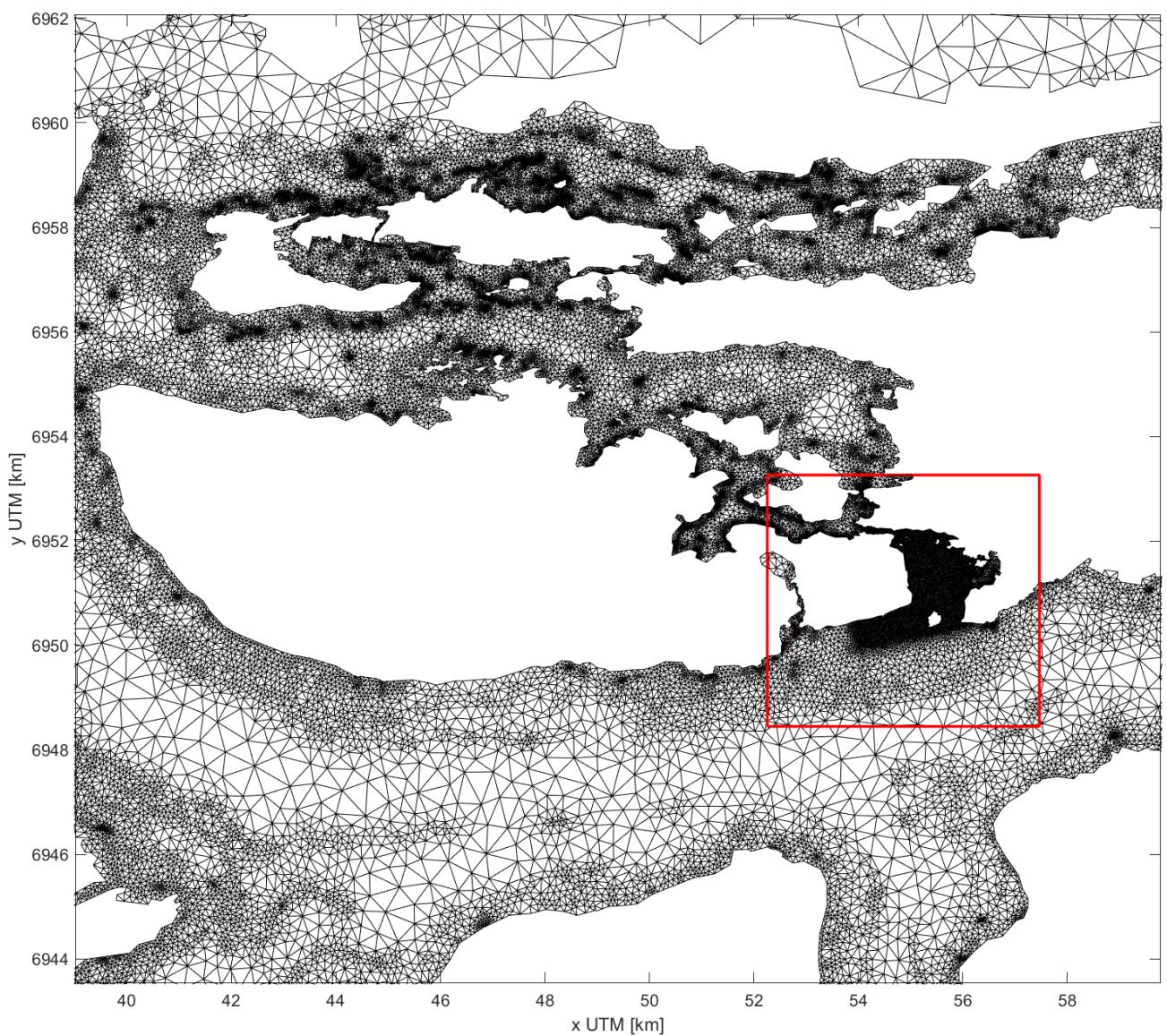
Modellen er en 3D-modell, og inkluderer effekten av tidevannet, corioliskrefter og variasjon i vannets egenvekt pga. variasjon i saltholdighet og temperatur. I tillegg kan modellen kjøre med meteorologiske effekter (f.eks. lufttrykk og vind).

2.2. Beregningsnett, dybde og vertikale lag

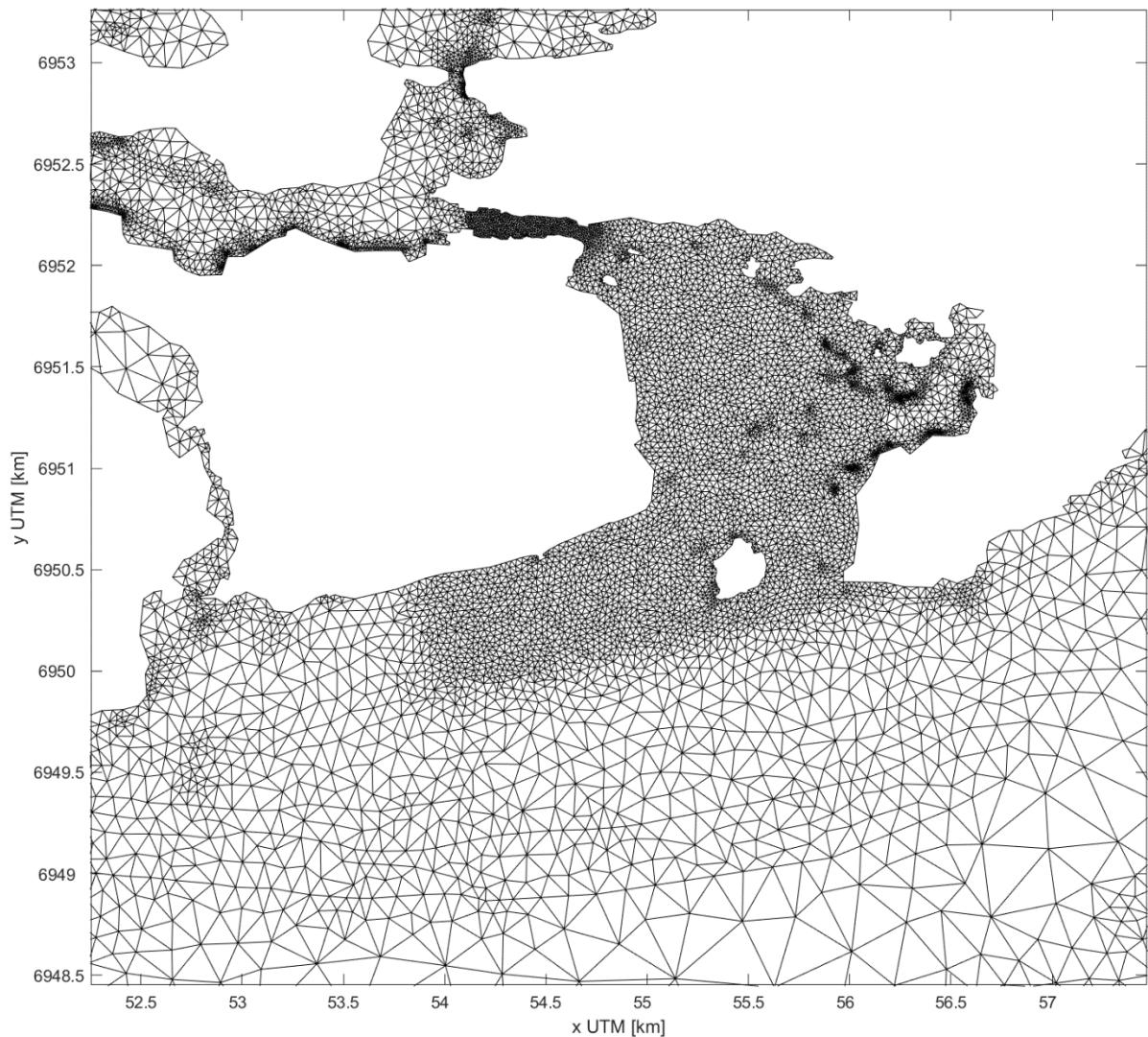
Modellen omfatter hele fjordområdet rundt Ålesund: fra Stadt til Harøyfjorden på sjøsiden og helt inn til Geiranger. Grunnen til at hele fjordområdet er inkludert er at tidevannseffekten da automatisk vil inkluderes i modellen. Fjordområdene blir fylt og tømt hver 12,5 timer pga. tidevann og det er en av de viktigste årsakene til strømning og spredning. Storfjorden blir fylt og tømt gjennom de forskjellige fjordåpningene, så alle åpninger til Storfjorden er inkludert i modellen.



Figur 2-1: Hele beregningsnettet



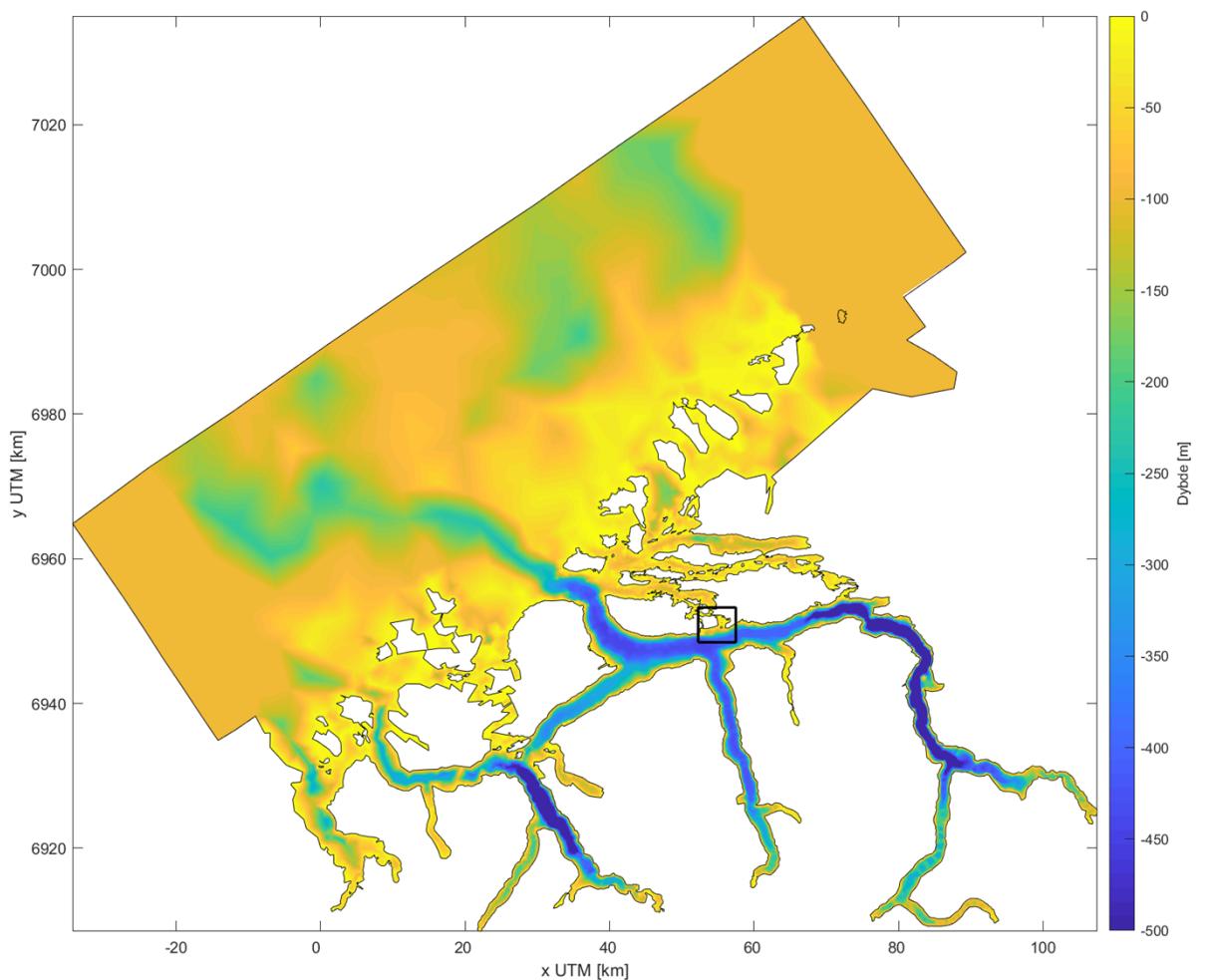
Figur 2-2: Beregningsnettet rundt Storfjorden og Ålesund



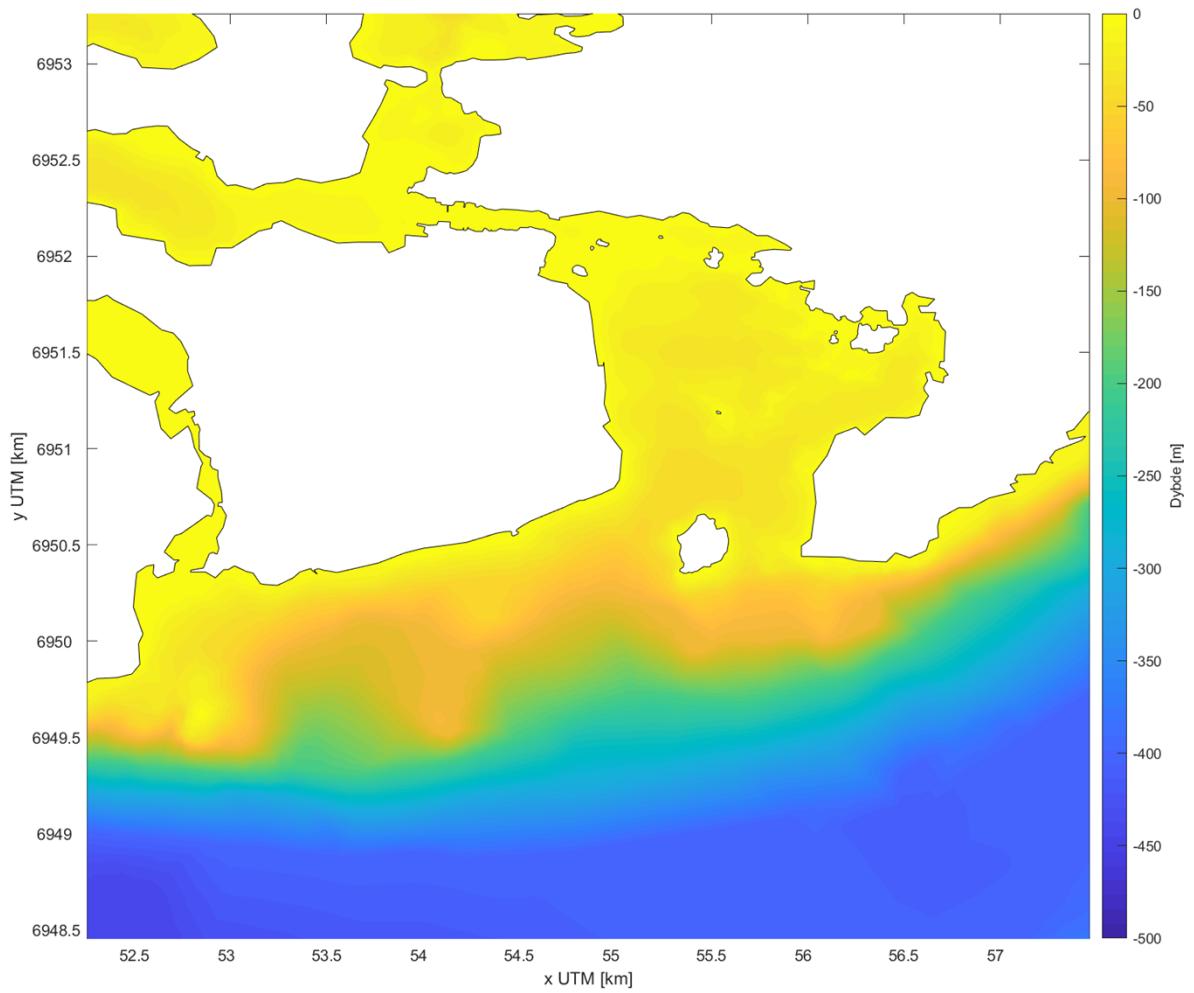
Figur 2-3: Detaljert beregningsnett rundt Kvasnes med høyeste oppløsning

Modellen bruker et trekantnett. Fordelen med trekantnett er at kompliserte kystlinjer kan inkluderes enkelt i modellen og at en da enkelt kan ha en høyere oppløsning i interesseområdet.

Horisontal oppløsning varierer i modellen. Oppløsningen til modellen tilpasses de trange sundene, slik at i Vegsundet som er omrent 60 m bred, brukes en høy oppløsning på ca. 10 meter. Omkring Kvasnes og i området nord for Flisholmen og Hanseskjærret har vi en oppløsning på 25m. Oppløsning i Storfjorden rundt utslipspunktet er også rundt 25m. Videre ut til sjøen og inn til land er oppløsningen mindre. Oppløsningen er høyere igjen rundt bratte deler av fjorder (dybdelinjer er inkludert i beregningsnettet rundt interesseområdet).

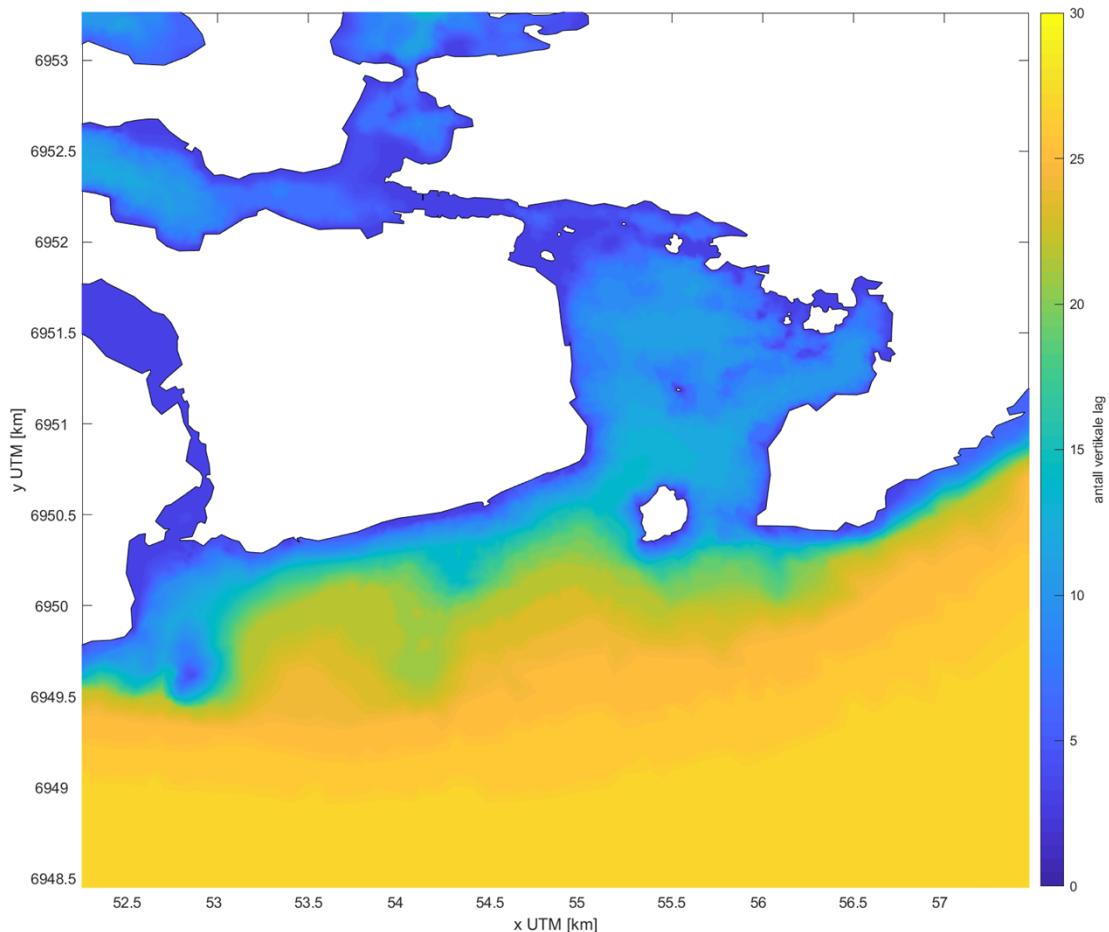


Figur 2-4: Dybde i modellen



Figur 2-5: Dybde i modellen rundt Kvasnes

I interesseområdet rundt Kvasnes ble det utført detaljerte bunnskanninger. Denne dybdeinformasjon ble brukt i modellen. Utenfor dette området ble dybdeinformasjon hentet fra kartverket sin nettside og interpolert til beregningsnettet (Figur 2-4, Figur 2-5).



Figur 2-6: Antall vertikale lag rundt Kvasnes

Figur 2-6 viser vertikale lag i modellen. Lagene er ikke fordelt jevnt over vannsøylen. Fordeling av lagene bruker en z-lag system, det vil si at antall lag er avhengig av dybde. Et dypere punkt får flere lag enn en grunnere punkt. Høyeste vertikale oppløsning er definert i overflatelaget med en oppløsning på 1m, slik at overflatelaget er godt representert i modellen.

Rundt interesseområdet er antall vertikale lag satt til rundt 25 i den dypeste delen, med høyest oppløsning de øverste 20m.

2.3. Andre innstillinger

- Modellen kjører med ferskvannavrenning fra elvene i området og tethetseffektene fra denne avrenningen.
- Modellen bruker en $k-\epsilon$ turbulens modell for vertikal diffusjon.
- Horizontal eddy-viskositet er satt til $1E-4 \text{ m}^2/\text{s}$
- Ruhet i modellen er 10 cm.
- Andre innstillinger i modellen kommer fra Dam (2017a og 2017b) og Asplan Viak (2019a, 2019b).

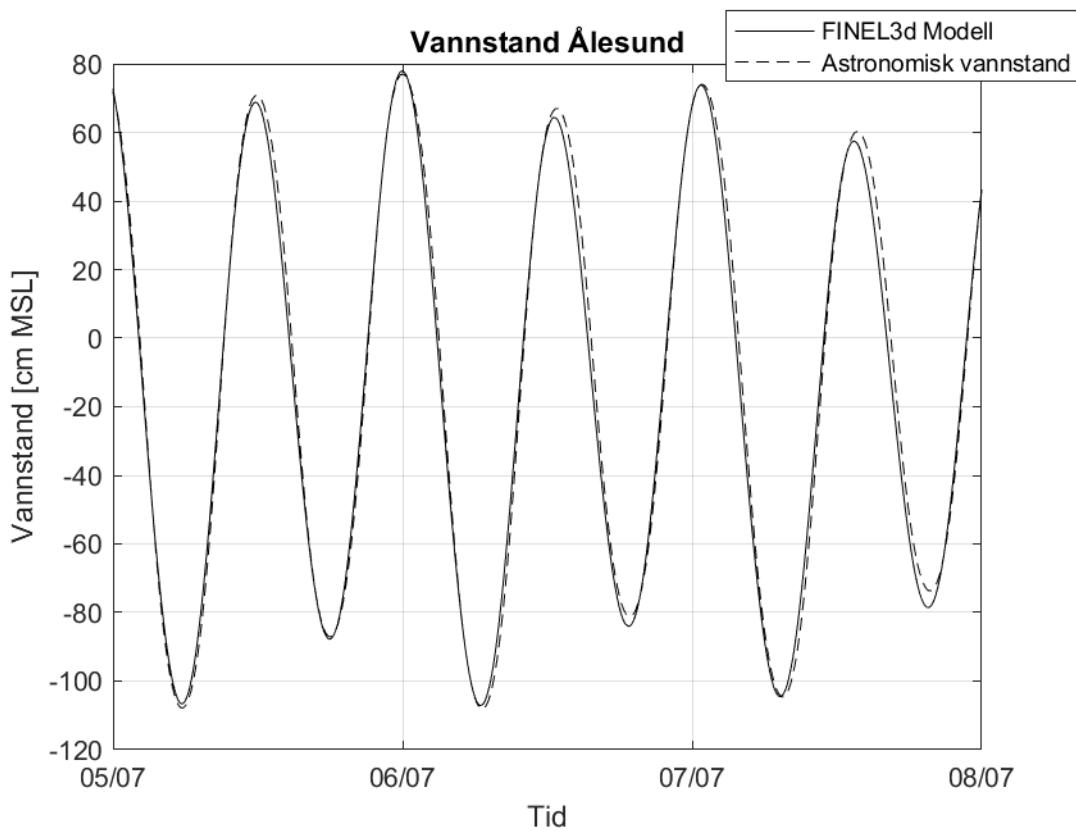
3. KALIBRERING

3.1. Vannstand

Modellen blir kjørt med astronomisk tidevannsinformasjon på modellgrensen på sjø. Astronomiske tidevannsdata er hentet fra den globale TPXO-modellen, som inneholder tidevannsinformasjon over hele verden.

Før bruk av modellen har vi kalibrert den med vannstand fra Ålesund målestasjon. Vannstandsdata i Ålesund er hentet fra kartverket sin side: www.sehavnivå.no. Her har vi lastet ned astronomisk tidevannsinformasjon, det vil si vannstand uten meteorologisk påvirkning (vind og lufttrykk).

Modellen kjører også med den astronomiske tidevannseffekten (uten meteorologiske effekter) noe som gir en ærlig sammenligning. Kalibreringen ble gjort med data fra en periode i juli 2019. Endelig resultat av kalibreringen er vist i Figur 3-1. Her vises at modellen klarer å regne ut de astronomiske vannstandene veldig godt. Vannstandsforskjellen er innenfor noen cm som er meget bra, og tidsforskjellen mellom modellen og astronomisk tidevann er neglisjerbar.

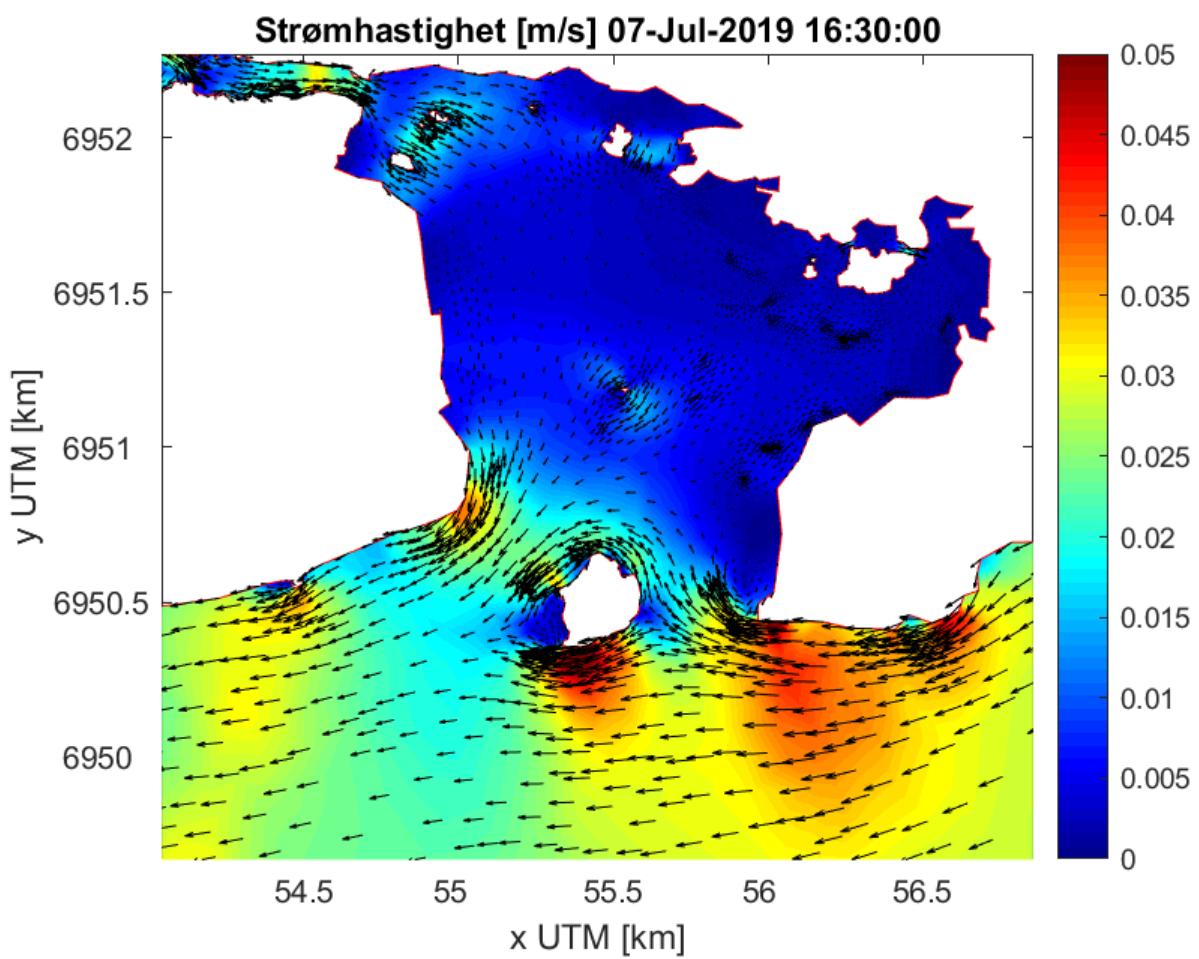


Figur 3-1: Sammenligning astronomisk vannstand (www.sehavnivå.no) og modellert vannstand i Ålesund

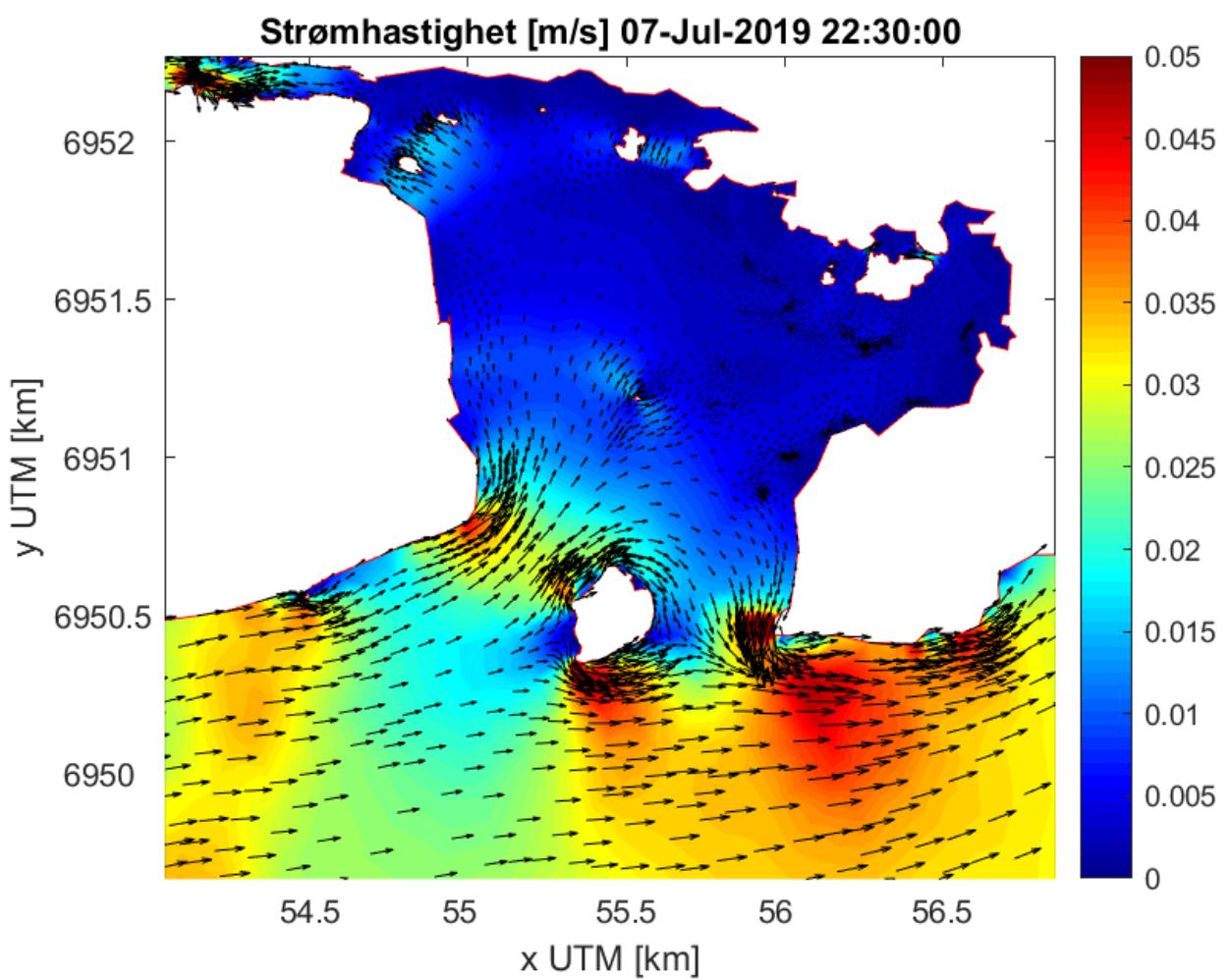
Her ser vi også på det generelle strømningsbildet i interesseområdet på grunn av tidevannseffekter og corioliskrefter. Dette gir et første inntrykk, men gir ikke det ferdigkalibrerte resultatet.

Vi ser at øyen Flisnesholmen påvirker strømningen rundt Kvasnes. Strømningen går stort sett rundt Flisnesholmen i både flo og fjære. Det gjør at strømningsretning pga. tidevannseffekter ved Kvasnes er rettet sørvest og nordøst (Figur 4-2 og Figur 4-3) fordi strømningen går nord for Flisnesholmen.

Det viser at den lokale geometrien er ganske avgjørende for den lokale tidevannsstrømmen rundt Kvasnes.



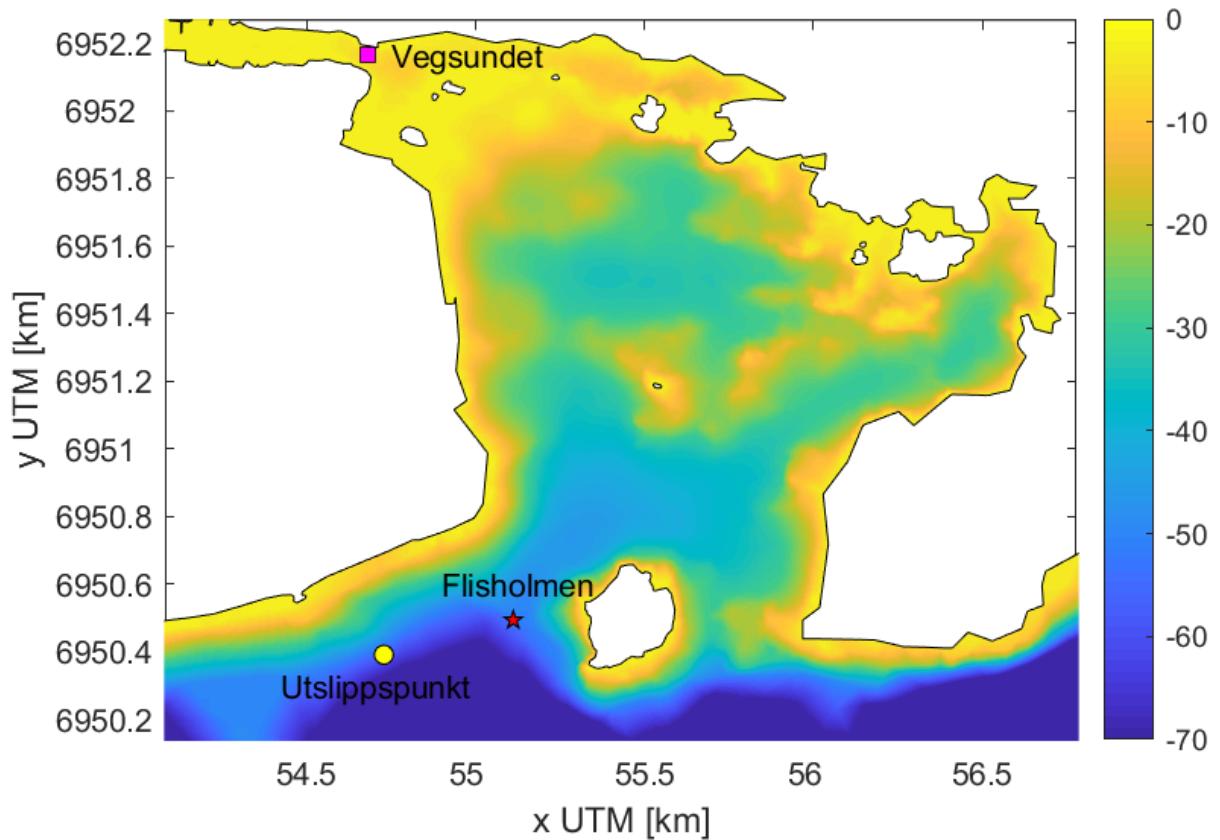
Figur 3-2: Strømningsbilde FINEL3d modellen Kvasnes med utgående strømning (bare tidevannseffekten)



Figur 3-3: Strømningsbilde FINEL3d modellen Kvasnes inngående strømning (bare tidevannseffekten)

3.2. Strømning

Rådgivende Biologer utførte strømningsmålinger fra mai 2019 -juni 2020 på forskjellige steder i området (Figur 3-4). Hovedriggen ble plassert ved Flisholmen, og målte hele perioden. I Vegsundet ble det målt i første perioden fra 14.05.2019-09.07.2019. Ved planlagt utslipbspunkt ble det målt store deler av året mellom 09.07.2020 og 05.06.2020.



Figur 3-4: Oversikt over utplasserte strømmålerne ved Kvasnes

I de neste avsnittene sammenligner vi statistikken av målt strømning med resultatene fra strømningsmodellen. Strømningsmålingene viste at strømningsforholdene gjennom året var ganske lik, bortsett fra for høst 2019, hvor strømning rundt utslippspunktet viste andre dominerende retninger.

Strømningsforholdene vår/vinter er sannsynligvis jevn fordi kraftstasjonene i bl.a. Tafjord produserer mye strøm om vinteren og dermed slipper ut mye ferskvann. Vår (og sommer) er snøsmeltingen den viktigste prosessen for ferskvannstilførsel (Dyb & Tuene, 2003). Dette en det generelle bildet, avvik fra dette bildet kan forekomme fra år til år.

Strømningsmodellen ble derfor kjørt for en representativ vår/vinter-periode og en representativ høst-periode. Forskjellen mellom en vår/vinter-situasjon og en høst-situasjon er mengden ferskvannrenning fra elvene som renner ut til Storfjorden. Representativ vår/vinter ble kjørt med 3x gjennomsnitt ferskvannrenning fra elvene. Representativ høst situasjon ble kjørt med 0,5x gjennomsnitt ferskvannrenning.

3.2.1. Strømrosor Vegsundet

Målingene i Vegsundet viser et ganske likt forhold mellom øst og vestgående strømning over dybden (Tabell 3-1). Modellen reproduuserer at strømforholdene mellom øst og vestgående strømning er ganske lik, og dermed virker modellen bra på denne lokasjonen. Det ser ut til at tidevannet er det viktigste strømningsprosessen her. Siden Vegsundet er et trangt sund blir bare en liten del av Storfjorden fylt og tømt gjennom dette sundet.

Tabell 3-1: Strømrosor Vegsundet;

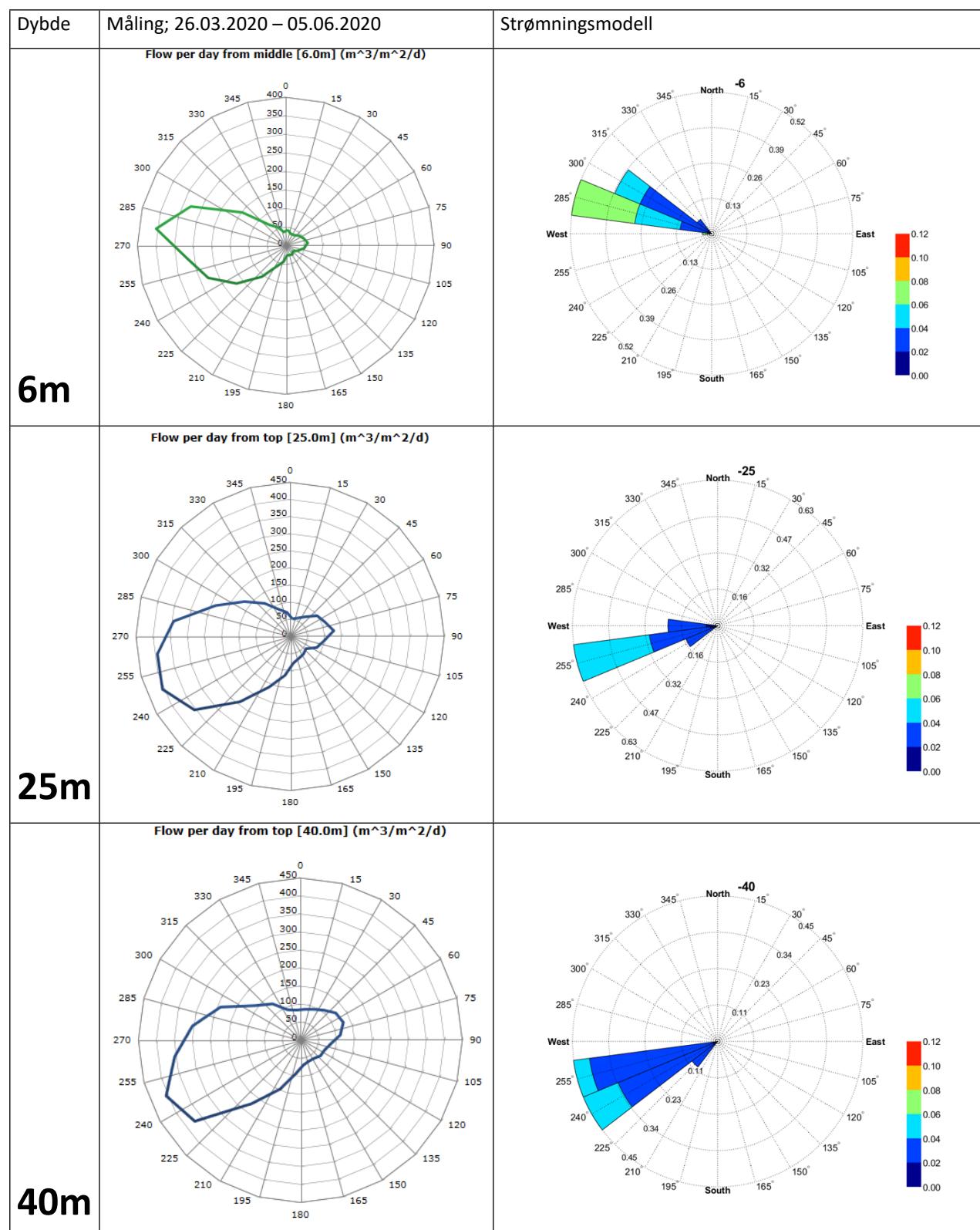
Dybde	Målinger; fra 14.05.2019-09.07.2019	Strømningsmodell; vår/vinter situasjon
2m	<p>Flow per day from top [2.0m] ($m^3/m^2/d$)</p>	
4m	<p>Flow per day from middle [4.0m] ($m^3/m^2/d$)</p>	
7m	<p>Flow per day from bottom [7.0m] ($m^3/m^2/d$)</p>	

3.2.2. Strømrosor ved planlagt utslippspunkt

Rundt planlagt utslippspunkt (Figur 3-4) ser vi på en vår/vinter-situasjon (Tabell 3-2) og en høst-situasjon (Tabell 3-3), siden strømningsmålingene viser forskjellige dominerende strømningsretninger i disse årstidene. For en vår/vinter-situasjon er det en dominerende strømning rettet mot vest-nord-vest på 6m dybde i målingsresultatene. Modellen reproduserer dette veldig godt. På 25 og 40m dybde har dominerende strømningsretning skiftet til vest-sør-vest. Modellen kan også reproduksere dette.

De dominerende strømningsretningene mot vest skyldes et ferskvannslag på flere titalls meter som renner ut mot havet. Vi forventer at det i den dypere delen av Storfjorden er en returstrøm i motsatt retning på grunn av den estuarine sirkulasjonen.

Tabell 3-2: Strømrosor ved planlagt utslipspunkt; vår/vinter-situasjon



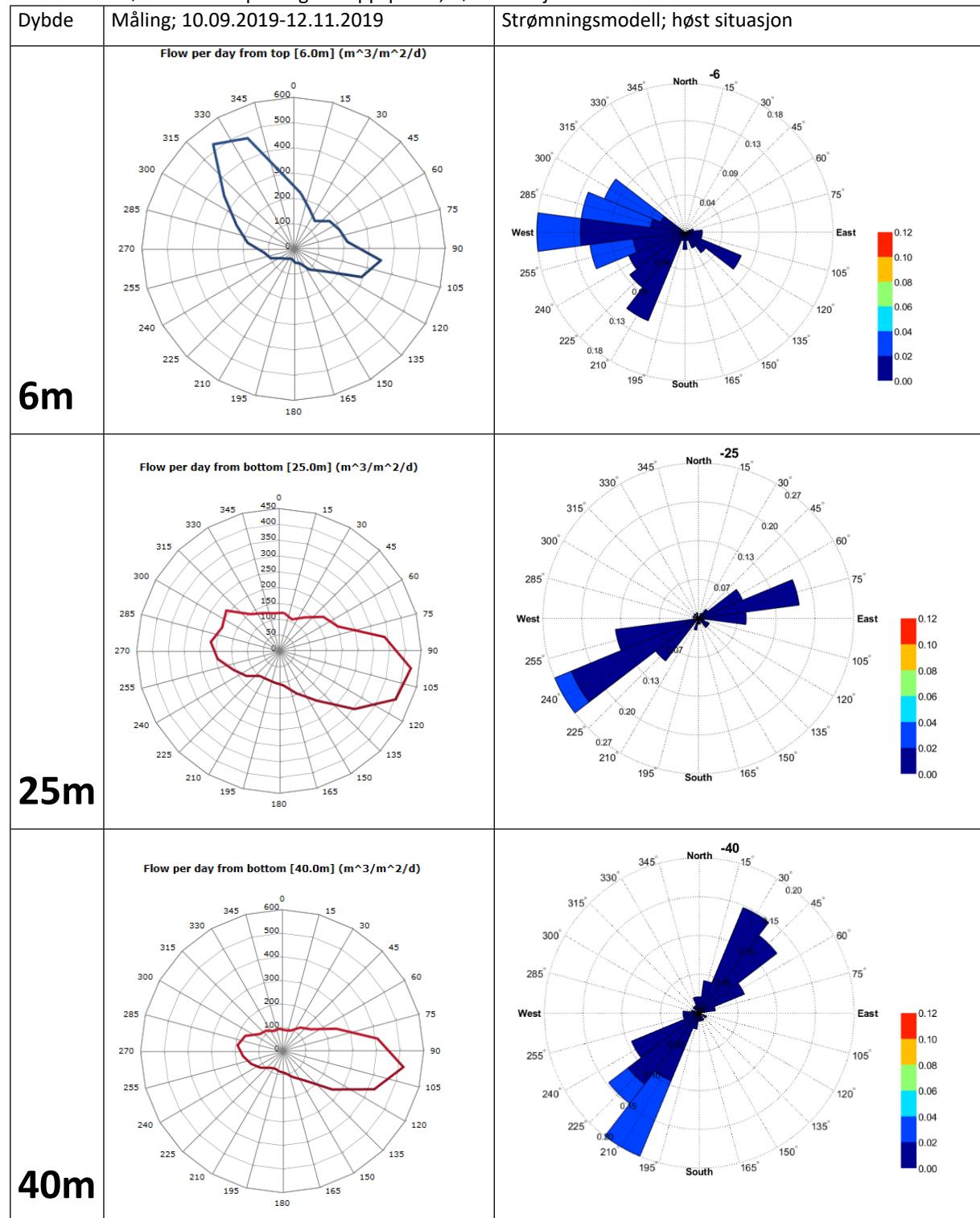
For øvrig viser strømningsmålene en sterk bunnstrøm. Vi har ikke sammenlignet modellen med denne bunnstrømmen siden den vertikale oppløsningen i modellen ikke tillater å reproduksere dette.

Strømningsmålingene som ble utført høst 2019 viser et skifte i de dominerende strømningsretningene sammenlignet med resten av året. I saltholdighetsprofilen av november er det mindre stratifikasjon som skyldes sannsynligvis mindre ferskvannstilførsel. Den estuarine sirkulasjon blir mindre viktig og dermed kan tidevannsstrømning eller værforhold (vind) blir relativ viktigere. Vi har modellert høst-situasjonen uten vind.

Tabell 3-3 viser de dominerende strømningsretningene høsten 2019. På 6m dybde ble det målt en dominerende strømning til nordvest og øst-sørøst. Modellen viser en dominerende strømning mot vest på 6m dybde, med litt strømning mot øst-sørøst. På 25m og 40m dybde ble det målt en dominerende strømningsretning mot øst-sørøst. På 25m viser modellen en strømning mot øst, men samtidig også til vest. På 40m dybde finner vi en dominerende strømningsretning til nordøst og sørvest i modellen. Målingslokasjon Flisholmen som ligger 400 m øst for dette punktet viser stort sett denne sørvestlige strømning på samme dybden (nest avsnitt) hele året rundt.

Årsaken til avviket mellom modellert strøm og strømmålingene fra høsten 2019, kan skyldes værforholdene. Lavtrykksystemer som er hyppig om høsten medfører ofte sørvestlig vind. Fjellene rundt fjordene gjør at vinden stort sett følger fjordene. Derfor blir dominerende vindretning i Storfjorden rundt utslipspunktet stort sett i østlig retning. Dette kan endre dominerende strømning mer mot øst. Vi har ikke sett nærmere på vindforholdene høsten 2019, men vi kjører et utslipsscenario med vind for å undersøke følsomheten for vind.

Tabell 3-3: Strømrosor ved planlagt utslippspunkt; høst situasjon



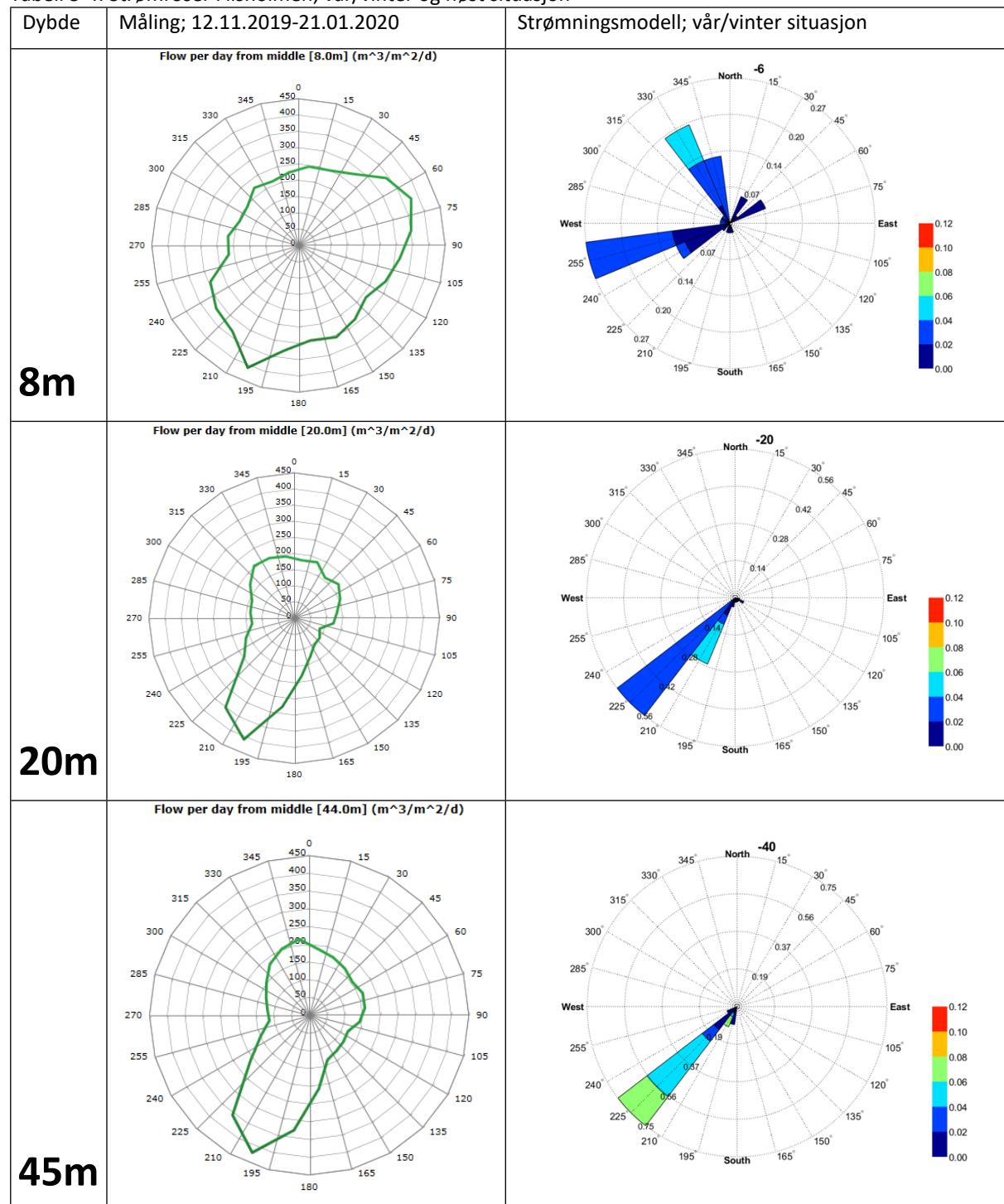
3.2.3. Strømrosor Flisholmen

De strømningsmålingene viser at de dominerende strømningsretningene rundt Flisholmen (Figur 3-4) er ganske lik over året. Her har vi valgt å bare vise de strømrosene fra måleperiode 12.11.2019-21.01.2020 og sammenligne det med vår/vinter situasjon. På 8m vises de målingene stort sett strømning i alle retninger (Tabell 3-4), med litt mer strømning mot sørvest og øst. Modellen viser strømning i sørvestlige retning på 8m dybde, men også strømning mot nordvest. På 20 og 40m dybde

viser både målingene og modellen veldig tydelig at dominerende strømningsretning er rettet mot sørvest.

Vågen ble fylt med relativt ferskvann på overflaten fra Storfjorden. Den dominerende sørvestlige strømmen på større dybde forklares derfor som returstrømning av den estuarine sirkulasjon inn i Vågen. Strømningsmodellen viser samme resultater for vår/vinter og høst og ble derfor ikke videre analysert.

Tabell 3-4: Strømrosor Flisholmen; vår/vinter og høst situasjon



3.3. Konklusjon kalibrering

Modellen viser seg å kunne reproduksere de dominerende strømningsretningene under en vår/vintersituasjon. Ferskvannsavrenning mot sjø og den estuarine sirkulasjonen er de viktigste prosessene som kan forklare de dominerende strømningsretningene for vår/vinter.

En høst-situasjon er mer vanskelig å reproduksere rundt utslipspunktet. Vi tror at værforhold som ikke ble modellert kan være en av årsakene for hvorfor den dominerende strømningsretningen mot øst ved utslipspunktet ikke ble reproduksert. Siden vi undersøker følsomhet av en høststorm på spredning av utslippet i neste kapittel, kan vi konkludere at modellen er ferdig til å kjøre scenarier.

4. RESULTATER

4.1. Scenarier og antakelser

I dette kapitlet viser vi resultater av utslipsscenarioer. Fokus er på situasjoner hvor det er gjennomslag av utslippsvannet til overflaten og spredning av utslippsvannet på overflaten. Visual Plumes resultater viser at lave stratifikasjon og lave strømhastighet er viktige parameter for gjennomslag. Derfor er fokus på situasjoner med mindre/ingen ferskvannsavrenning og mindre strømhastighet.

Vi har kjørt følgende utslipsscenarioer:

Tabell 4-1: Definisjon av utslipsscenarioer

Scenario	Vannføring utsipp	Ferskvannsavrenning elver
1. Mye ferskvannsavrenning	600 l/s	3x gjennomsnitt
2. Mindre ferskvannsavrenning	600 l/s	0,5x gjennomsnitt
3. Bare tidevann	600 l/s	Ingen
4. Bare tidevann	300 l/s	Ingen
5. Sørvestlig høststorm 10 m/s	600 l/s	Ingen

Vi antar at *E. coli* bakterier kan overleve maksimum 2 dager i vann. Derfor kjører vi modellen med 2 dagers utsipp og viser fortynningen på overflaten, bunnen og i tverrsnitt. Videre antar vi at der er ingen dødelighet av *E. coli* i løpet av modelleringsperioden. Dette gir særlig konservative resultater siden en del av *E. coli* bakterier dør i løpet av 2 dager.

Vi antar at utslippsvannet er ferskvann, det vil si null saltholdighet. I realiteten er tettheten av utslippsvannet litt høyere enn for ferskvann på grunn av innhold av gjenværende forurensning i utslippsvannet som innvirker på saliniteten (f.eks. næringssalter). Også innlekkning av sjøvann kan skje på grunn av dårlig avløpsnett i Ålesund/Sula. Vi har ikke noe mer informasjon om dette og antar at utslippsvannet er 100% ferskvann. Antakelsen om null saltholdighet i utslippsvannet gjør at 'plumen' stiger mer opp til overflaten. Dette gi mest konservative fortynningsresultater for overflaten.

Gjennomsnittlig utslippsrate er 300 l/s, men i noen tilfeller, f.eks. ved mye nedbør og innlekkning til avløpsnettet, kan dette gå opp til 600 l/s. Konsentrasjon av stoffer er dermed lavere siden stoffene i utslippsvannet blir mer fortynnet. Vi kjører allikevel modellen med 600 l/s utslippsrate som konservativ antakelse siden dette viser maksimum spredning av partikler i far-field. Vi utfører også et scenario med 300 l/s.

Vi påpeker at dette er en far-field modell. Rundt utslipspunktet er oppløsningen ikke bra nok til å gi troverdige resultater for fortynningsfaktor. For 'near-field' resultater av innlagring og fortynning viser vi til Visual Plumes-resultatene.

4.2. Resultater fra de ulike scenariene

Figur 4-1 viser resultater fra modellering av Scenario 1 med mye ferskvannsavrenning. Det viser seg at utslippsvannet ikke har gjennomslag til overflaten pga. ferskvannslaget. På grunn av den dominerende strømningsretningen i vestlig retning mot havet i denne situasjonen (se

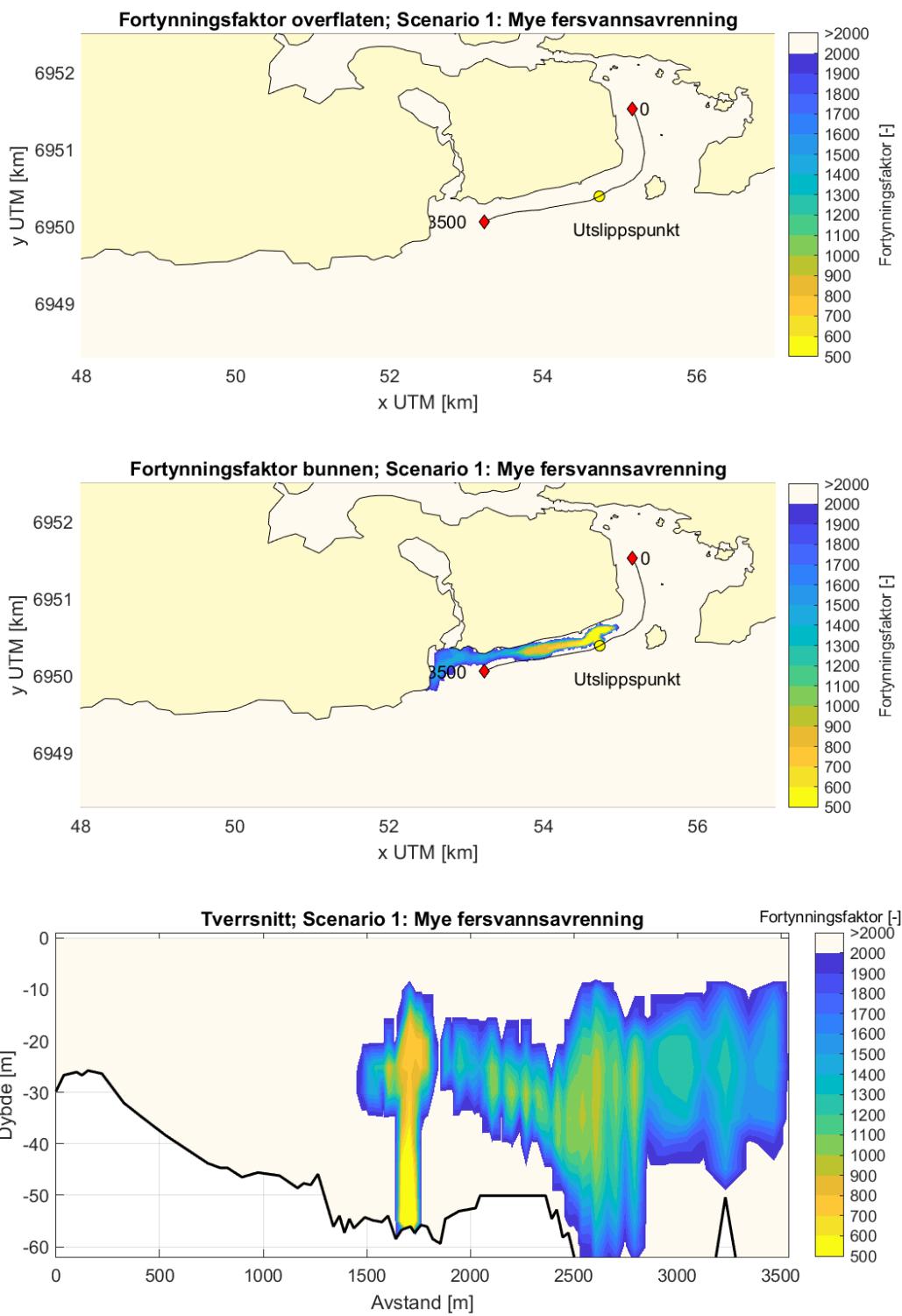
kalibreringskapitel) sprer utslippsvannet seg vestover. På overflaten og i Vågen finnes neglisjerbare konsentrasjoner.

Scenario 2 er en situasjon hvor utslippsvannet har gjennomslag til overflaten (Figur 4-2). På overflaten sprer utslippsvannet seg i både østlig og vestlig retning. En del av utslippsvannet kommer inn i Vågen. Minimum fortynningsfaktor mot land ved Vågen er på rundt 800x (som gir høyeste konsentrasjon av forurensning). Litt lengre inn i Vågen går fortynningsfaktor opp til 2000x.

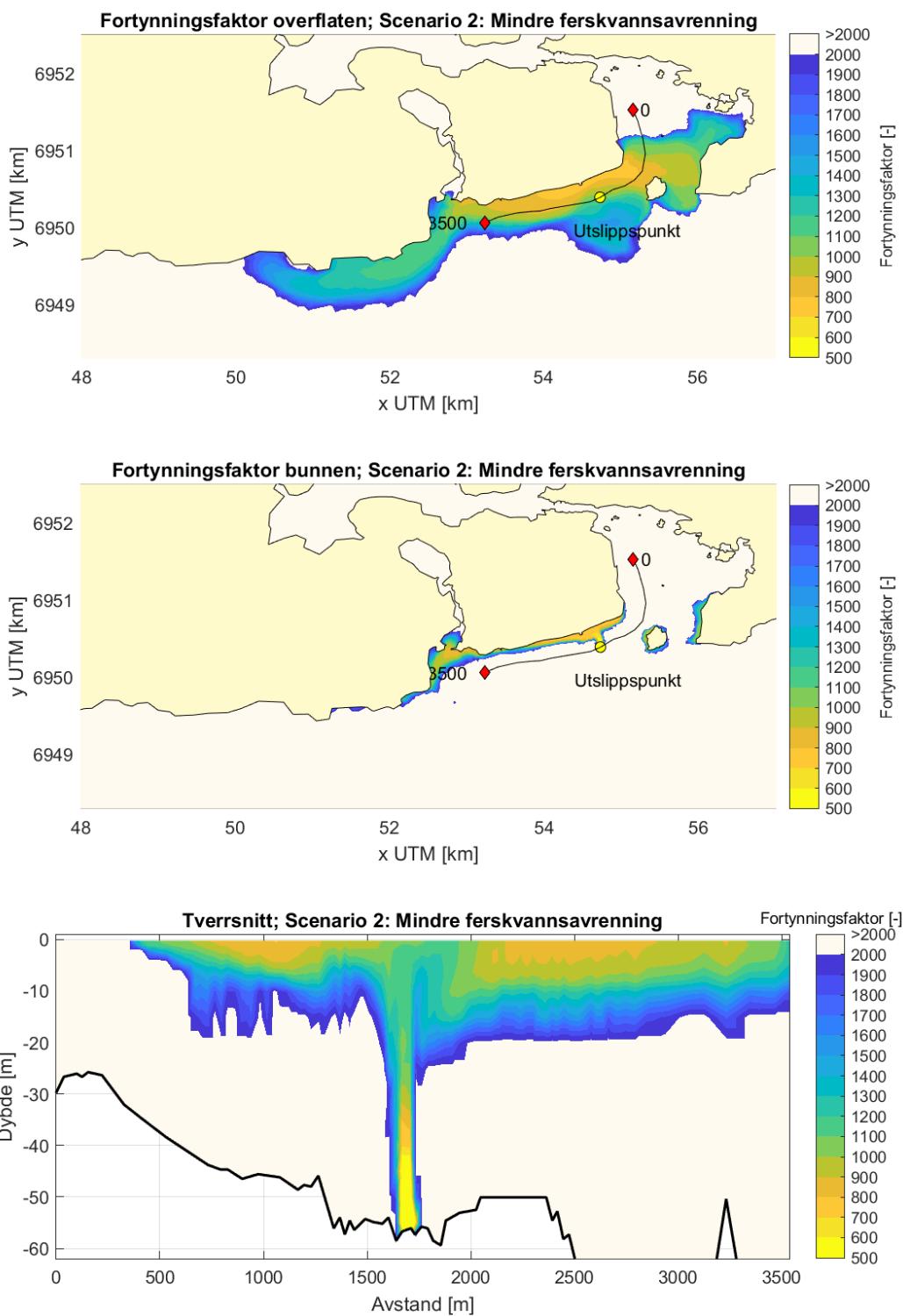
Scenario 3 er bare tidevannsstrømning uten ferskvannsavrenning (Figur 4-3) med utslippsrate på 600 l/s. Vi får da gjennomslag av utslippsvannet til overflaten. Utslippsvannet sprer seg omrent som i høst-situasjonen, og en del av utslippsvannet kommer inn i Vågen. Minimum fortynningsfaktor er også rundt 800x inn mot land ved Vågen.

Scenario 4 er det samme som Scenario 3, men utslippsrate er 300 l/s. Dette er en gjennomsnittsrate for utslippet. Figur 4-4 viser fortyningen i dette scenariet. Fortynningsfaktor ligger på rundt 1200-1300x inn mot land ved Vågen. Selv om dette scenariet får en høyere fortynningsfaktor enn Scenario 3 (rundt 800) er konsentrasjonen i vannet sannsynligvis høyere fordi stoffer i utslippsvannet er mer konsentrert ved 300 l/s enn 600 l/s.

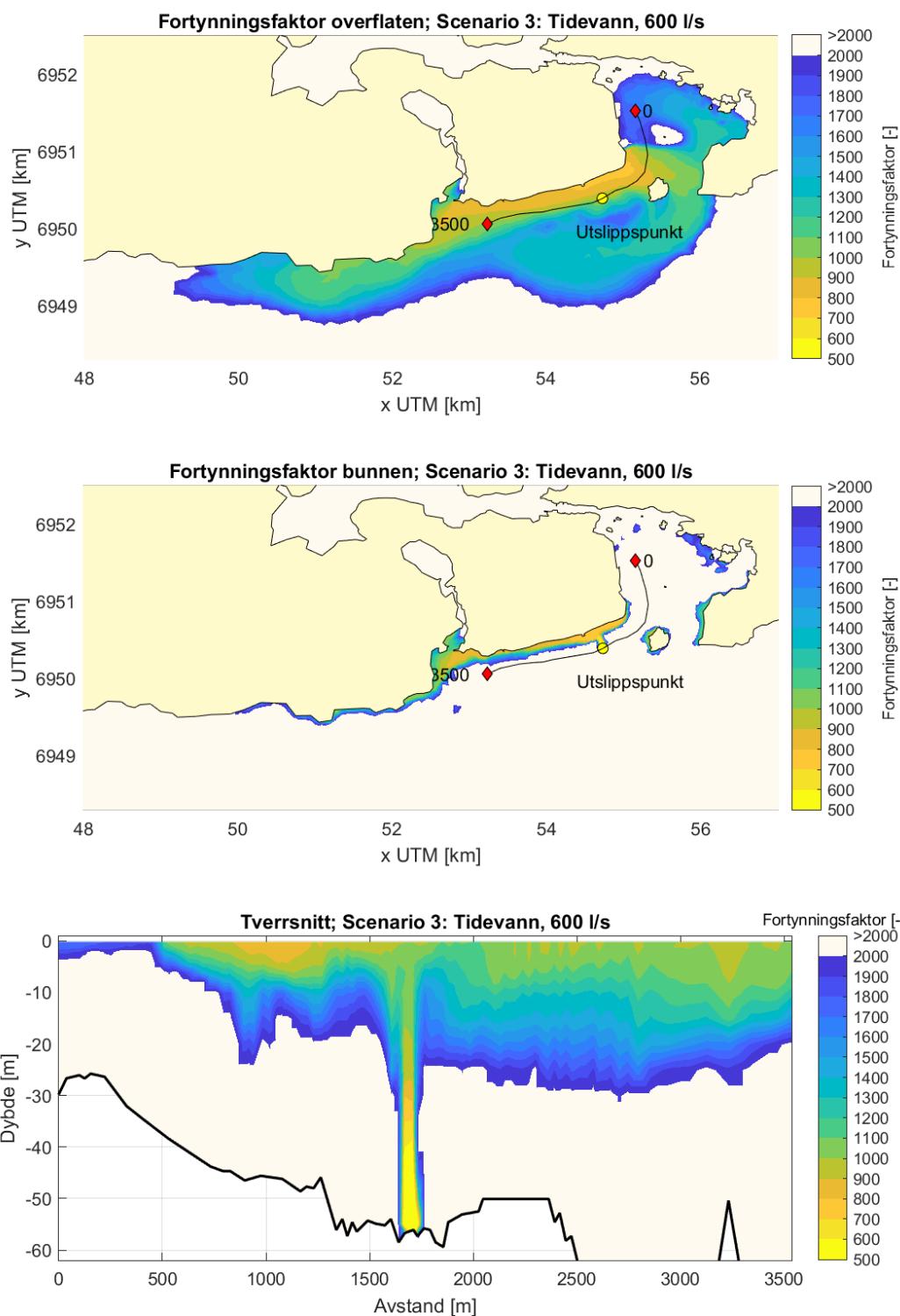
Scenario 5 er en høststorm med konstant vind på 10 m/s fra sørvest. En storm pleier å ha høyere vindhastighet (≥ 20 m/s), men aldri varer to dager. Vi kjører derfor med en mer gjennomsnitt vindhastighet på 10 m/s over 2 dager. Hvis vi hadde kjørt med konstant vind på 20 m/s kommer det til å vise mer fortyning enn dette scenario. Resultatene (Figur 4-5) viser at strømningen på overflaten er høy og rettet mot (nord)øst. Vi ser at alt utslippsvannet sprer seg østover til Flisholmen med minste fortyning på ca. 800x. På litt lengre avstand går fortyningen raskt opp mot 2000x. Fortyningen fortsetter pga. høy strømhastighet, men faktoren er da allerede mer enn 2000 og vises som hvit.



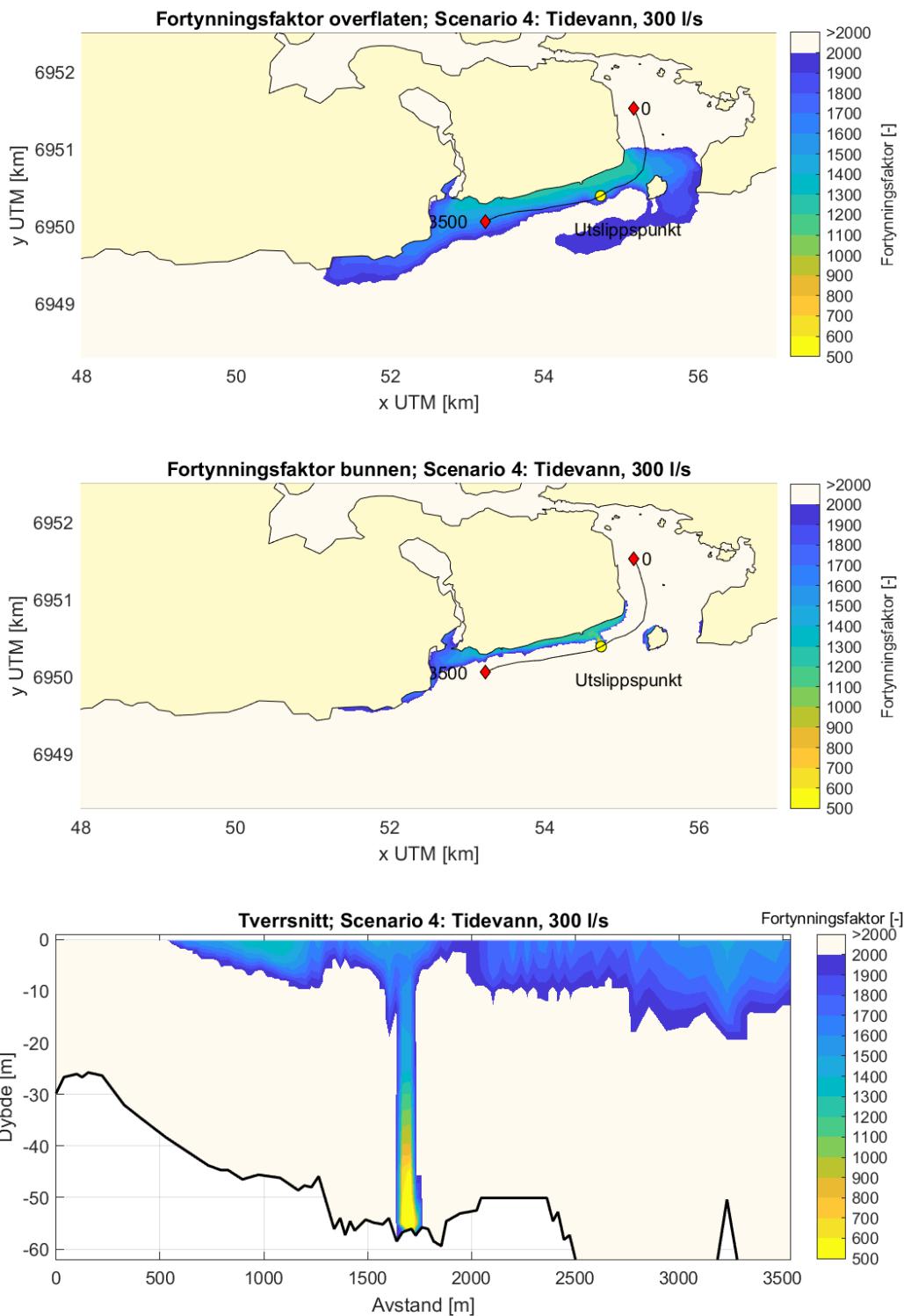
Figur 4-1: Fortynningsfaktor Scenario 1; Mye ferskvannsavrenning. Resultater etter 2 dager utslipp. En fortynningsfaktor >2000 vises som hvit. Tallene i overflate/bunn figuren indikerer avstand av tverrsnittet.



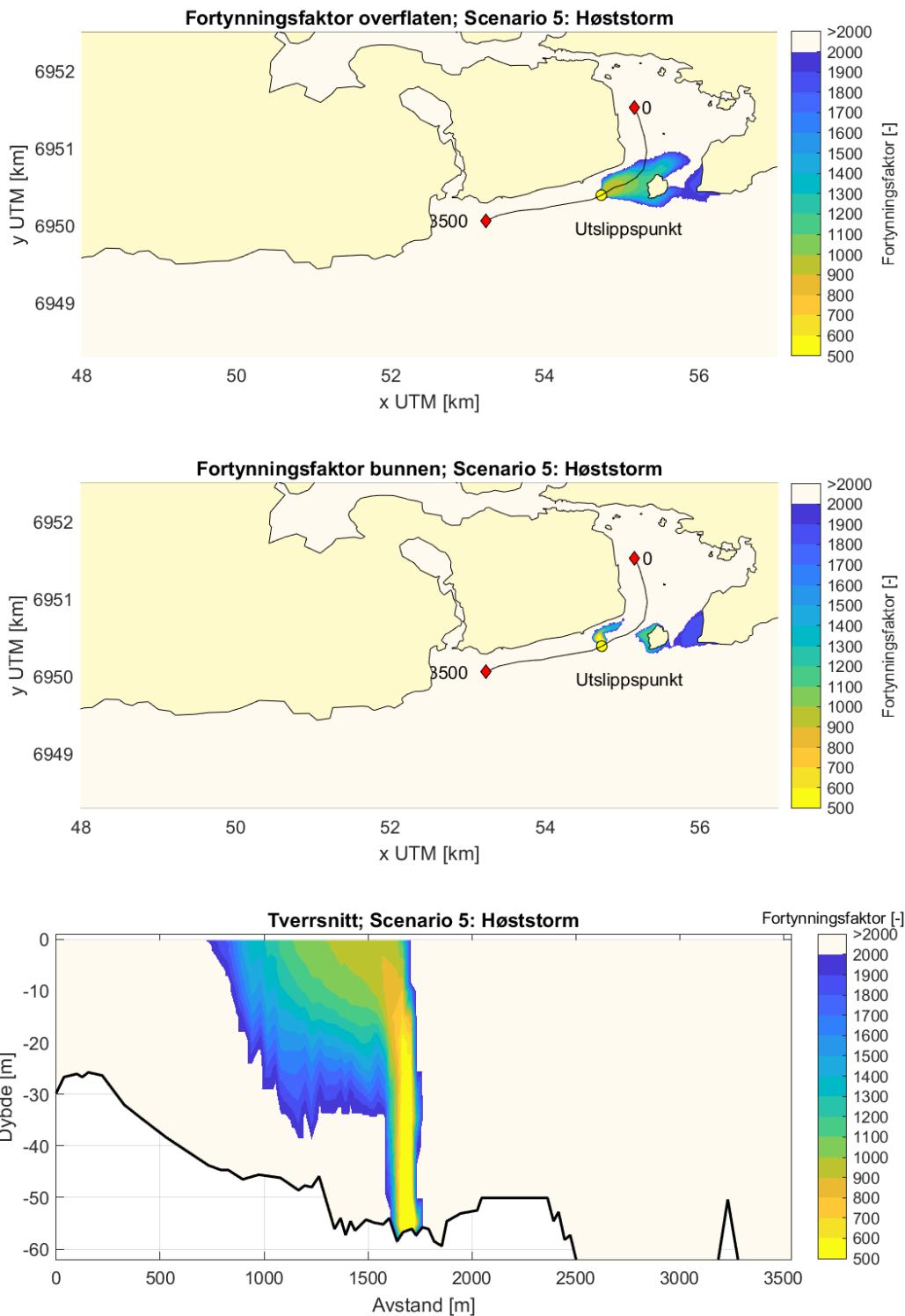
Figur 4-2: Fortynningsfaktor Scenario 2; Mindre ferskvannsavrenning. Resultater etter 2 dager utslipp. En fortynningsfaktor >2000 vises som hvit. Tallene i overflate/bunn figurene indikerer avstand av tverrsnittet.



Figur 4-3: Fortynningsfaktor Scenario 3; Tidevann 600 l/s. Resultater etter 2 dager utslipp. En fortynningsfaktor >2000 vises som hvit. Tallene i overflate/bunn figurene indikerer avstand av tverrsnittet.

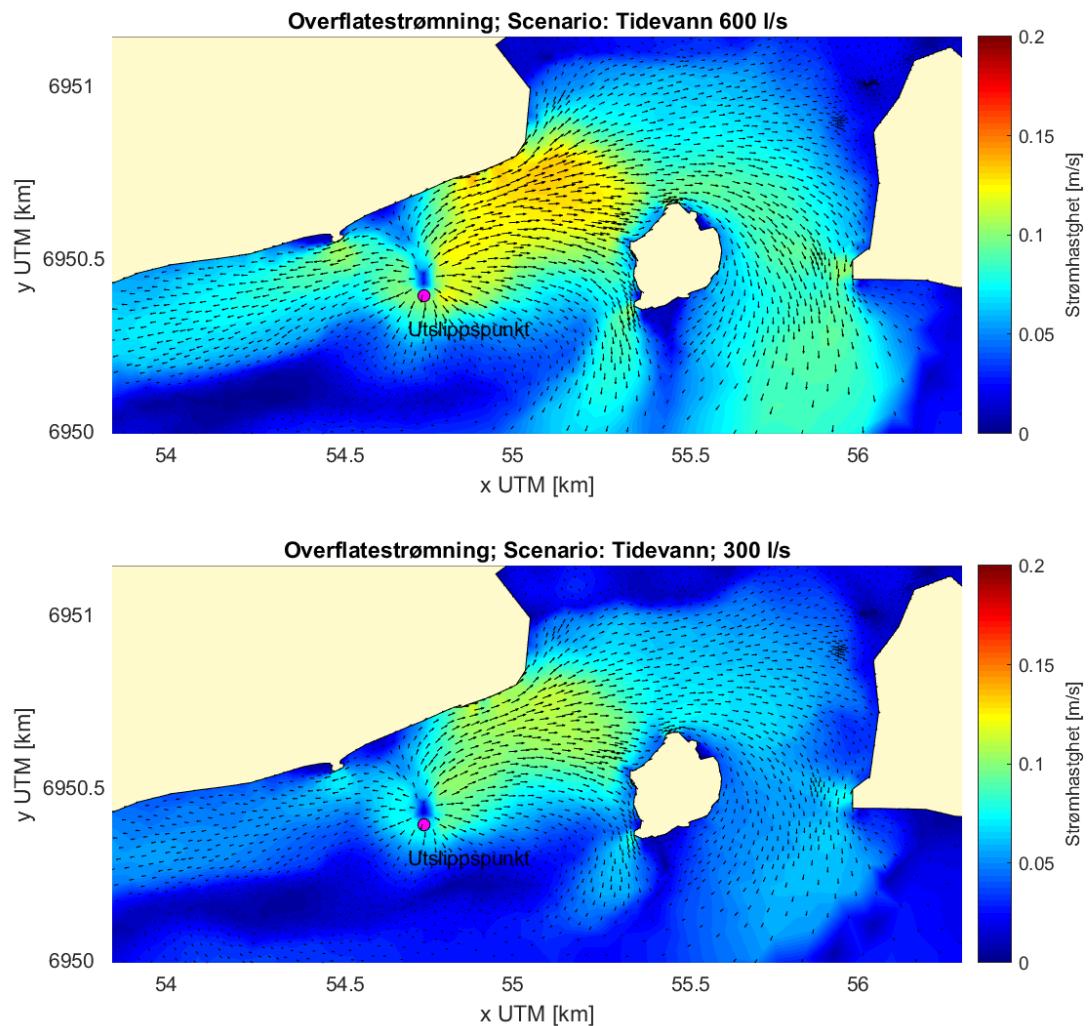


Figur 4-4: Fortynningsfaktor Scenario 4; Tidevann og med 300 l/s utslipp. Resultater etter 2 dager utslipp. En fortynningsfaktor >2000 vises som hvit. Tallene i overflate/bunn figurene indikerer avstand av tverrsnittet.



Figur 4-5: Fortynningsfaktor Scenario 5; Høststorm. Resultater etter 2 dager utslipp. En fortynningsfaktor >2000 vises som hvit. Tallene i overflate/bunn figurene indikerer avstand av tverrsnittet.

Figur 4-6 viser overflatestrømning av Scenario 3 (tidevann, 600 l/s utsipp) og Scenario 4 (tidevann, 300 l/s utsipp). Det viser seg at ferskvannsutslippet som har gjennomslag og kommer på overflaten sprer seg i alle (horisontale) retningen og over relativ lang avstand (ca. 1 km) på grunn av densitetsforskjellen mellom utslippsvannet (fersk) og sjøvannet (salt). Denne strømningen dominerer spredning av utslippsvannet rundt utslipppunktet og inn i Vågen. Logisk viser et utsipp på 300 l/s mindre strømning enn 600 l/s (Figur 4-6).



Figur 4-6: Overflatestrømning Scenario 3 (tidevann, 600 l/s utsipp) og 4 (tidevann, 300 l/s utsipp).

5. KONKLUSJON

En hydrodynamisk 3D-modell er laget av Storfjorden med høyeste oppløsning rundt interesseområdet for å kunne regne ut spredning og fortynning av utslippsvann fra nytt renseanlegg på Kvasnes.

Modellen er kalibrert med vannstander i Ålesund og viser at vannstandsfordelingen mellom målinger og modellen er innenfor noen cm, hvilket er meget bra.

Modellen ble også kalibrert mot strømningsmålinger utført over en periode på ett år. Modellen klarer å reproduksjonere vår/vinter-målinger i stor grad. Mye kan forklares ut ifra ferskvannavrenning, overflatestrømning rettet mot sjø og den estuarine sirkulasjonen.

Strømmålingene som ble utført høsten 2019 er vanskeligere å reproduksjonere. Vi tror at avvik kan forklares med den dominante vindretningen fra vest som gir mer østlig strømning.

Modellen ble kjørt med 5 scenarier som representerer forskjellige strømningsforhold. Resultater vises i Tabell 5-1.

Tabell 5-1: Resultat scenarier

#	Scenario	Utslipps rate	Ferskvann avrenning elver	Gjennomslag utslippsvannet til overflaten	Resultat
1	Mye ferskvanns avrenning	600 l/s	3x gjennomsnitt	Nei	Utslippsvannet sprer seg under overflaten videre vestover mot sjøen
2	Mindre ferskvanns avrenning	600 l/s	0,5 x gjennomsnitt	Ja	Spredning av utslippsvannet på overflaten øst og vestover fra utslipspunktet. Minimum fortynningsfaktor ligger på 800x inn mot land på Kvasnes
3	Kun tidevanns strømning	600 l/s	Ingen	Ja	Spredning av utslippsvannet på overflaten øst og vestover fra utslipspunktet. Minimum fortynningsfaktor på 800x på overflaten inn mot land ved Kvasnes
4	Kun tidevanns strømning	300 l/s	Ingen	Ja	Fortynningsfaktor på overflaten på 1200-1300x inn mot land ved Kvasnes. Selv om dette gir en høyere fortynningsfaktor enn scenario 3 (rundt 800) er konsentrasjonen i vannet sannsynligvis høyere fordi stoffer i utslippsvannet er mer konsentrert med 300 l/s enn 600 l/s.
5	Sørvestlig høststorm	600 l/s	Ingen	Ja	Utslippsvannet sprer seg raskt østover på overflaten med mye fortynning. Minimum fortynningsfaktor er beregnet på 800x i nærheten av utslipspunktet.

KILDER

- Asplan Viak (2019a), Modellering utslipp og spredning av næringssalter Losna Seafood, Rapport 622226-01.
- Asplan Viak (2019b), Modellering av spredning av slam oppdrettsanlegg Husevågøy, Rapport 624961-01.
- Dam, G., (2017a) Simulation of spreading of fine sediment in Sørfjorden due to rock dumping, Dam Engineering, report O16022/P3/C.
- Dam, G., (2017b) The effect of floating breakwaters on currents in Os Harbour, Dam Engineering, report O17006/P4/C.
- Dyb, J.E, Tuene, S., Storfjordundersøkelsen; Del 2 – Hydrografi i Storfjorden, historisk oversikt. Møreforskning Ålesund.
- Labeur, R.J., Wells, G.N., (2007), A Galerkin interface stabilisation method for the advection-diffusion and incompressible Navier-Stokes equations, Computer methods in Applied Mechanics and Engineering 196, pp. 4985-5000.
- Labeur, R.J., Wells, G.N., (2009), Interface stabilized finite element method for moving domains and free surface flows, Computer methods in Applied Mechanics and Engineering 198, pp. 615-630.
- Labeur, R.J., Wells, G.N., (2010), Energy stable and momentum conservation interface stabilised finite element method for the incompressible Navier-Stokes equations, SIAM Journal of Scientific Computations, 34(2), pp. A889–A913.
- Labeur, R.J., (2009), Finite element modeling of transport and non-hydrostatic flow in environmental fluid mechanics, PhD thesis, Technical University Delft.
- Talstra, H., (2016) User manual FINEL3d, Svašek Hydraulics