
RAPPORT

Fjordbyen

OPPDRAAGSGIVER

Eidos Eiendomsutvikling AS

EMNE

Strøm, hydrografimålinger og 3D-modellering

DATO / REVISJON: 12. november 2020 / 01

DOKUMENTKODE: 10208614-RiVass-RAP-001



Multiconsult

Denne rapporten er utarbeidet av Multiconsult i egen regi eller på oppdrag fra kunde. Kundens rettigheter til rapporten er regulert i oppdragsavtalen. Hvis kunden i samsvar med oppdragsavtalen gir tredjepart tilgang til rapporten, har ikke tredjepart andre eller større rettigheter enn det han kan utlede fra kunden. Multiconsult har intet ansvar dersom rapporten eller deler av denne brukes til andre formål, på annen måte eller av andre enn det Multiconsult skriftlig har avtalt eller samtykket til. Deler av rapportens innhold er i tillegg beskyttet av opphavsrett. Kopiering, distribusjon, endring, bearbeidelse eller annen bruk av rapporten kan ikke skje uten avtale med Multiconsult eller eventuell annen opphavsrettshaver.

RAPPORT

OPPDRAAG	Fjordbyen Lierstranda	DOKUMENTKODE	10208614-RiVass-RAP-001
EMNE	Strøm, hydrografimålinger og 3D-modellering	TILGJENGELIGHET	Åpen
OPPDRAAGSGIVER	Eidos Eiendomsutvikling AS	OPPDRAAGSLEDER	Jan Willy Føreland
KONTAKTPERSON	Geir Hagehaugen	UTARBEIDET AV	Jean-Pierre Bramslev/Martin Arntsen/Håvard Falck
		ANSVARLIG ENHET	Hydrologi/Marint Miljø og Havbruk

SAMMENDRAG

Som en del av prosjektet Fjordbyen Lierstranda er strømforhold og hydrografi blitt undersøkt. Formålet med studien har vært å kartlegge dagens situasjon og videre studere mulige effekter som følge av utfyllingen i Gilhusbukta. Det er gjennomført et tre måneder langt måleprogram som inkluderer strømmålinger i 3 punkter og totalt 53 profileringer av temperatur og saltholdighet spredt utover måleperioden. Videre er det utviklet en 3D-modell for å beskrive strømforhold og hydrografi i indre del av Drammensfjorden.

Hydrografimålingene viser at fjorden er dominert av et 4–8 m dypt ferskt overflatelag (< 5 PSU), som øker noe i tykkelse gjennom måleperioden. Under dette er det en sterk gradient over et saltere vannlag. Det er liten variasjon i hydrografien mellom målepunktene som er målt samme dag.

Det er generelt lav strøm i alle målepunkter i alle dyp, unntaket er ved S4 ved 3 m dyp hvor det er målt sterkere strøm. 3D-modellen gir generelt lavere strømhastigheter enn målinger. Det vurderes imidlertid at modellen gjenspeiler observert strøm og hydrografi i tilstrekkelig grad til å kunne undersøke endringer som følge av planarbeidet.

Det er liten eller ingen endring i dybde på sprangsjiktet med eller uten utfylling/kanaler. Det som avgjør saltholdigheten langs bunnen og inn mot land, er vanddybden. Modellresultatene viser at områder med tilsvarende vanddybde før og etter tiltaket vil ha tilnærmet like forhold mht. temperatur og saltholdighet. På grunn av de lave strømhastighetene er det vanskelig å peke på tydelige tendenser i strømbildet umiddelbart utenfor kanalene i Gilhusbukta. Det ser imidlertid ut til at strømhastighetene reduseres noe i gruntvannsområdet som følge av utfyllingen.

Vannutskifting i kanalene ligger mellom ett og to døgn som gjennomsnitt for hele Gilhusbukta. For enkeltpunkter lengst inne i kanalene kan tiden være i størrelsesorden 50% lengre. Det vurderes på generelt grunnlag at dette er akseptabelt for å sikre god vannkvalitet, men vil i praksis avhenge av forurensningsbelastning.

Vannutskifting i kanalene varierer kraftig i henhold til betraktet periode: fra 24 til 40 timer. Systematiske forskjeller mellom de fem kanalalternativer er ubetydelige. Det er altså ikke tungtveiende grunner til å anbefale ett alternativt frem for et annet, basert på sirkulasjon.

Modellering viser at områder lengst nord og øst i kanalene har langsommere vannutskifting enn kanalvolumet (inkl. gruntvannsområdet) sett under ett. Utvaskingstiden er i størrelsesorden 50% lenger i disse områdene.

01	12.11.2020	Presisjoner om topografi/scenarier etter kommentarer fra klient.	jpb	martia	TSM
00	25.09.2020	Strømmålinger, hydrografi og 3D sjø-modellering Fjordbyen Lierstranda	jpb, hmf, martia	JB	TSM
REV.	DATO	BESKRIVELSE	UTARBEIDET AV	KONTROLLERT AV	GODKJENT AV

INNHOLDSFORTEGNELSE

1	Innledning	5
1.1	Bakgrunn.....	5
1.2	Formål.....	5
2	Metode.....	6
2.1	Strøm- og hydrografimålinger.....	6
2.2	Modellering.....	9
2.2.1	Programvare	9
2.2.2	Modelldomene	9
2.2.3	Bunntopografi	9
2.2.4	Diskretisering	10
2.2.5	Grensebetingelser	13
2.2.6	Stofftransport	13
2.3	Scenarier	14
2.3.1	Kanalscenarier	14
2.4	Representativitet og valg av tidsperiode	19
2.4.1	Ferskvannstilførsel	19
3	Resultater strøm- og hydrografimålinger	21
3.1	Strøm	21
3.2	Hydrografi	22
3.3	Vannstand	24
4	Modellvalidering.....	25
4.1	Strømbildet	25
4.2	Hydrografi	28
5	Resultater modellering	30
5.1	Endringer i strømningsmønster og hydrografi utenfor Gilhusbukta	30
5.1.1	Strømningsmønster	30
5.1.2	Hydrografi	37
5.1.3	Opprinnelse av ferskvannet i Gilhusbukta.	46
5.2	Vannutskifting i kanalene i Gilhusbukta.....	53
5.2.1	Gjennomsnittlig utskiftingstid.....	53
5.2.2	Eventuelle områder med dårligere vannutskifting	58
6	Diskusjon og konklusjon	61
6.1	Diskusjon.....	61
6.2	Konklusjon	61
7	Referanser	62
Appendiks A	Strøm- og hydrografimålinger	
Appendiks B	Modellmesh	
Appendiks C	Modellscenarier	
Appendiks D	Grensebetingelser	

1 Innledning

1.1 Bakgrunn

Som en del av prosjektet Fjordbyen Lierstranda pågår det en utfylling i Gilhusbukta, som vil resultere i tre øyer. Disse vil være adskilt fra hverandre og fra fastlandet av kanaler med bredde på 12-30 m og en dybde på opptil 4 m. Foran øyene vil det fylles opp til et såkalt gruntvannsområde – med dybder på omkring 2–4 m. Gruntvannsområdet er ment å til dels å erstatte habitatet som til nå har ligget inne i Gilhusbukta. I Gruntvannsområdet vil det også ligge noen små øyer. Dette er illustrert på Figur 1.

1.2 Formål

Formålet med denne utredningen er todelt:

- 1) Å kartlegge i hvilken grad utfyllingsprosjektet påvirker strømningsmønsteret i de nærliggende deler av fjorden, med særlig fokus på naturreservatet ved Linnestranda. Videre er det også et særlig fokus på at salinitet- og temperaturforhold ikke forandres, da disse antas å ha betydning for flora og fauna i området.
- 2) Det legges vekt på å kunne sikre en god sirkulasjon i kanalene mellom og rundt de tre Gilhusøyene for å unngå dårlig vannkvalitet og i verste fall oksygenmangel og forråtnelse. Dersom beregninger indikerer risiko for at dette kan oppstå, vil det undersøkes tiltak for å bedre sirkulasjonen.

For å sikre at modellberegninger er i best mulig samsvar med virkeligheten, er det i løpet av sommeren 2020 utført et omfattende måleprogram av hydrografi (dvs salt og temperatur) og strømforhold.



Figur 1 Utfylling og planlagte øyer i Gilhusbukta. Rød strek viser en kombinasjon av eksisterende og tidligere strandlinje.

2 Metode

2.1 Strøm- og hydrografimålinger

Det ble målt tidsserier av strøm, hydrografi og vannstand i Drammensfjorden i perioden 24. april til 30. juli 2020. I tillegg ble det målt hydrografiske profiler ved forskjellige tidspunkt i løpet av måleperioden. Formålet med målingene var å danne grunnlag for å beskrive dagens tilstand for strøm og hydrografi i nærheten av tiltaksområdet. Videre brukes resultatene som grensebetingelser og for å validere den hydrodynamiske modellen.

Strøm- og hydrografitidsseriene ble målt ved tre punkter i indre del av Drammensfjorden.

Vannstanden og lufttrykk ble målt i ett punkt, ved Tørkopp.

Det ble gjennomført totalt 53 hydrografiske profiler. Profilene ble tatt ved 13 forskjellige stasjoner, ved 4 anledninger (5 for H5). Kart over stasjonene er vist i Figur 2, tidspunkt for målingene er vist i Tabell 3.

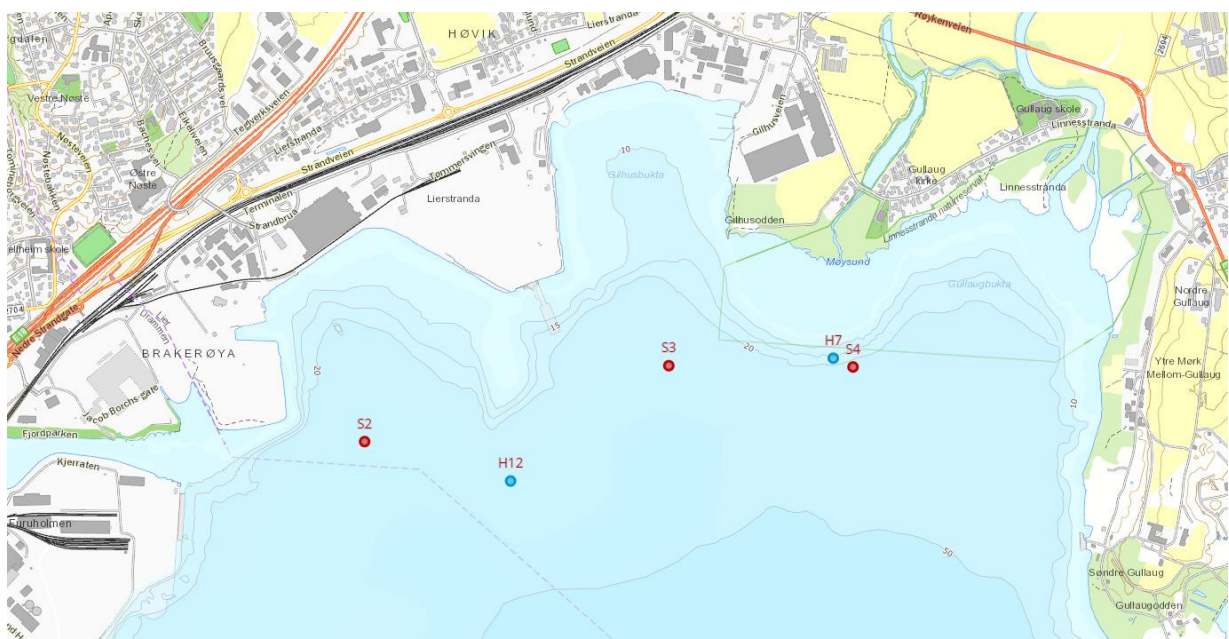
Tabell 1 til Tabell 3 viser generell informasjon om de forskjellige målingene som er gjennomført.

For et kart over detaljplassering av strømmålerne, se Figur 3.

For oversikt over instrumentering, sensorer og informasjon om kalibrering, se Appendiks A.5.4.



Figur 2: Kart som viser hvor det er gjennomført målinger. Tidsserier av strøm og hydrografi (røde punkter), hydrografiske profiler (blå punkter) og tidsserie av vannstand (grønt punkt)



Figur 3: Kart med detaljplassering av strømmålerigger og de hydrografiske stasjonene H12 og H7.

Tabell 1: Generell informasjon om målte tidsserier av strøm og hydrografi

	Plassering	Måleperiode	Måledyp strøm	Måledyp temperatur	Måledyp salinitet	Vanndyp
S2	N 59° 44.423' E 10° 14.846'	24.04.2020–30.07.2020	7 m–14 m og 28 m	14 m og 28 m	28 m	35 m
S3	N 59° 44.608' E 10° 15.806'	24.04.2020–30.07.2020	7 m–14 m	14 m	-	32 m
S4	N 59° 44.621' E 10° 16.332'	24.04.2020–30.07.2020	3 m	3 m	3 m	22 m

Tabell 2: Generell informasjon om målt tidsserie av vannstand

	Plassering	Måleperiode	Måledyp
V1	N 59° 41.463 E 010° 19.481	24.04.2020–30.07.2020	Ca. 4.3 m

Tabell 3: Generell informasjon om målte hydrografiske profiler. Det ble målt profiler ved alle stasjonene 24.4.2020, 14.05.2020, 09.06.2020, 25.06.2020 I tillegg ble det gjennomført en profil ved H5 30.07.2020 (grønne felt representerer gjennomført måling)

	N	E	Vanndyp [m]	24.4	14.5	9.6	25.6	30.7
H1	59° 43.629'	10° 16.041'	67					
H2	59° 43.867'	10° 16.498'	65					
H3	59° 44.114'	10° 16.970'	60					
H4	59° 41.734'	10° 18.990'	94					
H5	59° 42.079'	10° 19.320'	100					
H6	59° 42.515'	10° 19.844'	95					
H7	59° 44.645'	10° 16.255'	14					
H8	59° 44.518'	10° 16.290'	40					
H9	59° 44.375'	10° 16.347'	51					
H10	59° 44.603'	10° 15.276'	4					
H11	59° 44.512'	10° 15.309'	20					
H12	59° 44.406'	10° 15.326'	32					
H13	59° 44.299'	10° 15.356'	44					

2.2 Modellering

2.2.1 Programvare

Programvaren Mike3-FM (=Flexible Mesh) ble benyttet. Mike3-FM er utviklet av Danish Hydraulic Institute (DHI, 2020a). Modellen er 3-dimensjonal og tar hensyn til vertikale gradienter som kan ha innvirkning på strømbildet. Strømningsberegningene i Mike3 tar hensyn til tetthetsforskjeller basert på temperatur og salinitet. Mike3 simulerer også varmeutveksling med atmosfæren, basert på værdata. Dette har især betydning for temperaturen i overflatelaget.

2.2.2 Modelldomene

Modellen omfatter hele Drammensfjorden fra Drammen/Lier helt ned til Svelviksundet. Dette ble valgt fordi sundet er grunt og trangt og gjør det mulig å ha en veldefinert modellgrense. Det gjør det enklere å beskrive grensebetingelsene realistisk mht strøm og hydrografi. Modelldomenet vises i Figur 5.

2.2.3 Bunntopografi

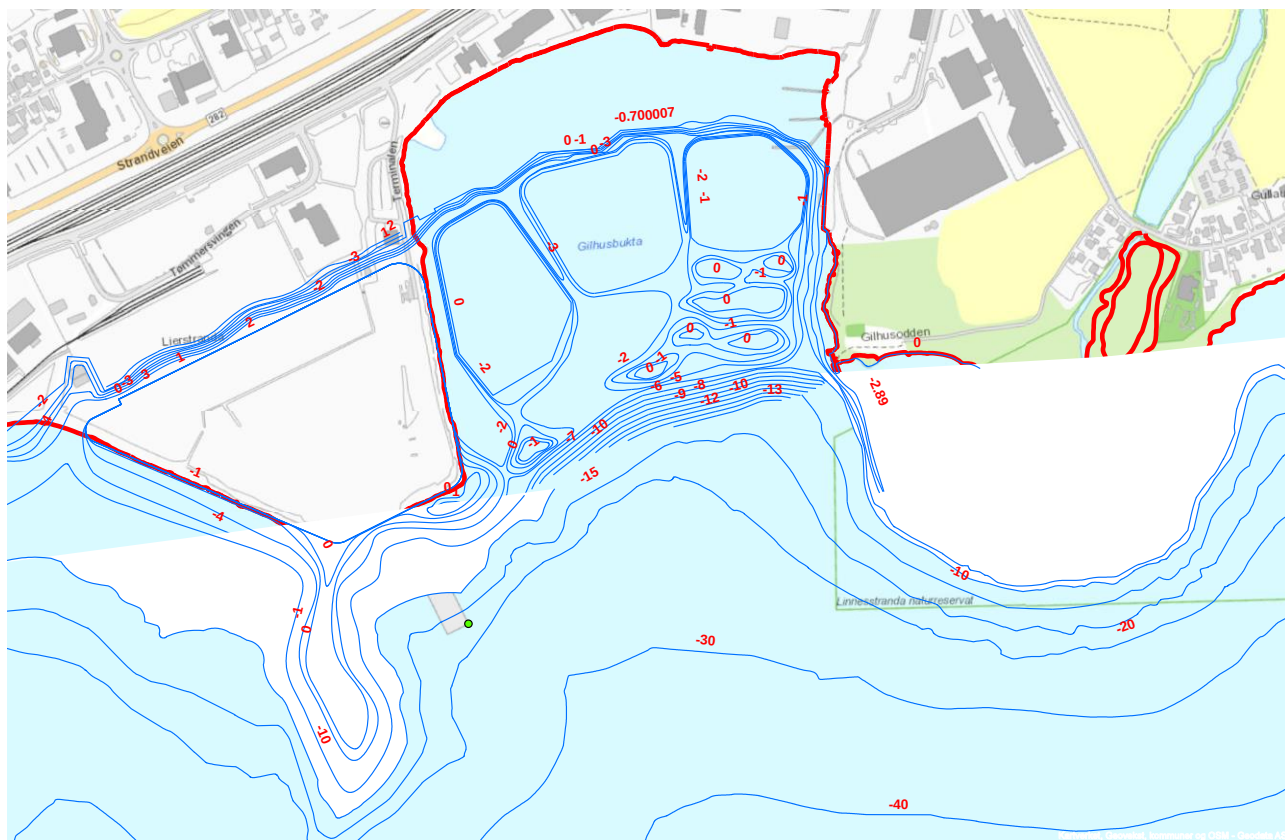
Det er benyttet tre ulike terrengmodeller.

1. Validering av modellen er basert på en bunntopografi som avspeiler opprinnelig situasjon før utfylling i Gilhusbukta. Denne situasjonen kalles «Baseline». Bunndataene er innhentet fra Drammen Havn AS.

2. Nullalternativet. Avspeiler hvordan kystlinje og fjordbunn vil se ut i fremtiden dersom utfyllingen i Gilhusbukta ikke hadde blitt noe av. Eksisterende bunntopografi umiddelbart øst for Holmen (øya i utløpet fra Drammenselva) er erstattet med en stor, planlagt fylling. Denne fyllingen er lagt inn i henhold til prosjektbeskrivelsen fra utbyggeren, Drammen Havn AS. Holmenutfyllingen vil utvide land med ca. 600 m mot øst samt anlegge en støttefylling under vann.

3. Kanalmodell. Gilhusbukta er oppfylt, kanaler utgravd, gruntvannområde anlagt. Bunntopografi i og umiddelbart omkring Gilhusbukta som oppgitt av Link Arkitektur (Figur 4). Holmenutfyllingen opptrer identisk i både Nullalternativet og Prosjektalternativene (Kanalmodell). Det er modellert fem ulike kanalalternativer, som omtalt i avsnitt 2.3.1. Dybdekanturene på figuren avspeiler en tidligere versjon fra mai 2020, der man planla en øy ut for sørspissen av Tømmerterminalen, der det i dag er en grunne med rundt 4m dybde. Denne øya har man siden tatt ut av prosjektet. Modellen avspeiler derfor i dette området den eksisterende grunna og ikke øya som er vist på figuren.

Flytende øyer, som er en del av prosjektet, er ikke inkludert i kanalmodellen. Årsaken er at en modell som Mike3 forutsetter i utgangspunktet fritt vannspeil. Det finnes muligheter for fravike denne grunnforutsetningen (f.eks. å simulere islegging), men disse ville ha medført andre ulemper, av hvilke konsekvensene for resultatet er vanskelige å vurdere. Forutsatt at de flytende øyene ikke stikker veldig dypt, vurderes det at øyenes betydningen strømningsmønsteret ikke er avgjørende – så lenge det ikke er i et veldig grunt område.



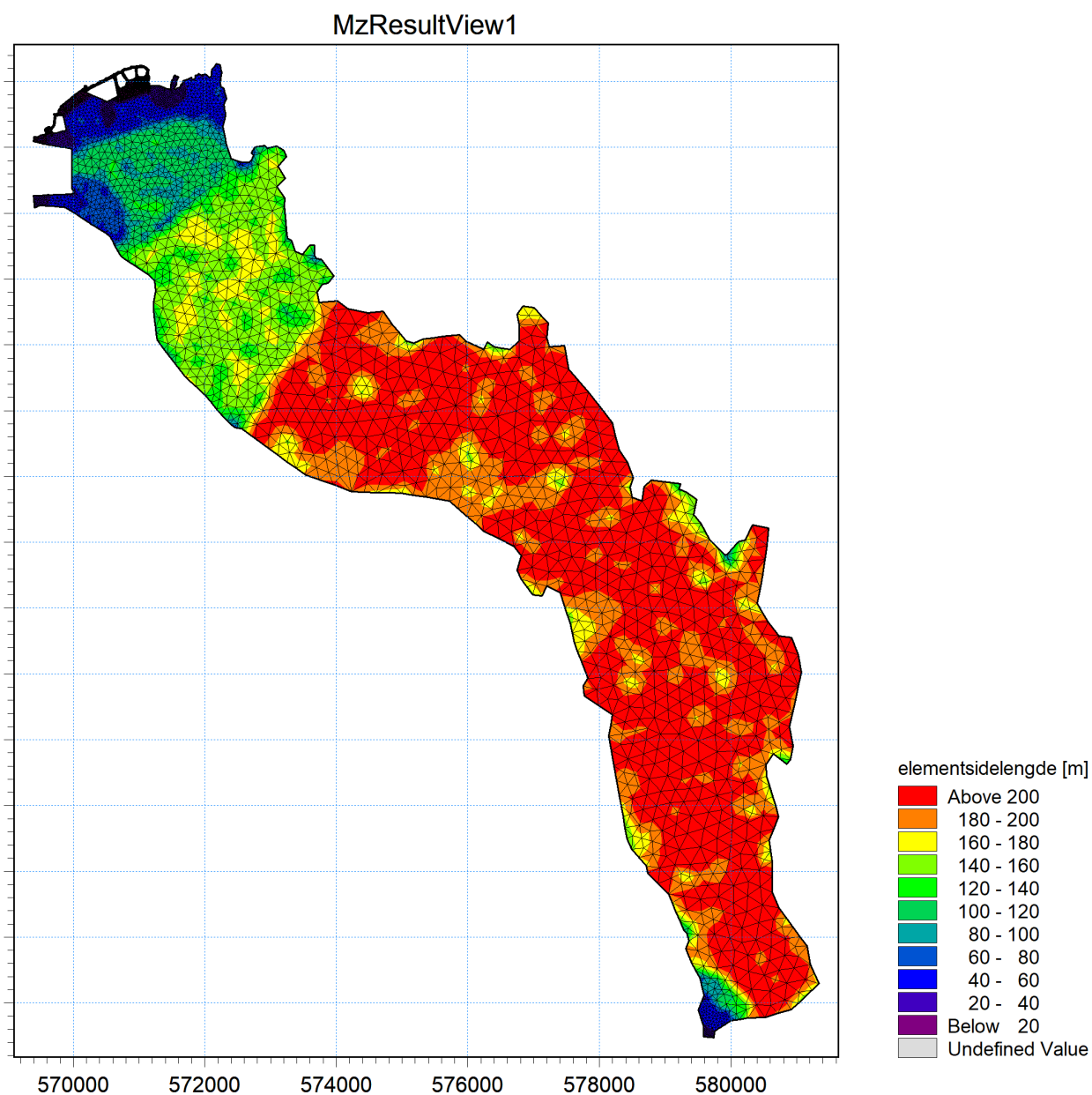
Figur 4 Dybdekoter for i Gilhusbukta Lierstranda-prosjektet. Utarbeidet av Link Arkitektur, juli 2020. ¹

2.2.4 Diskretisering

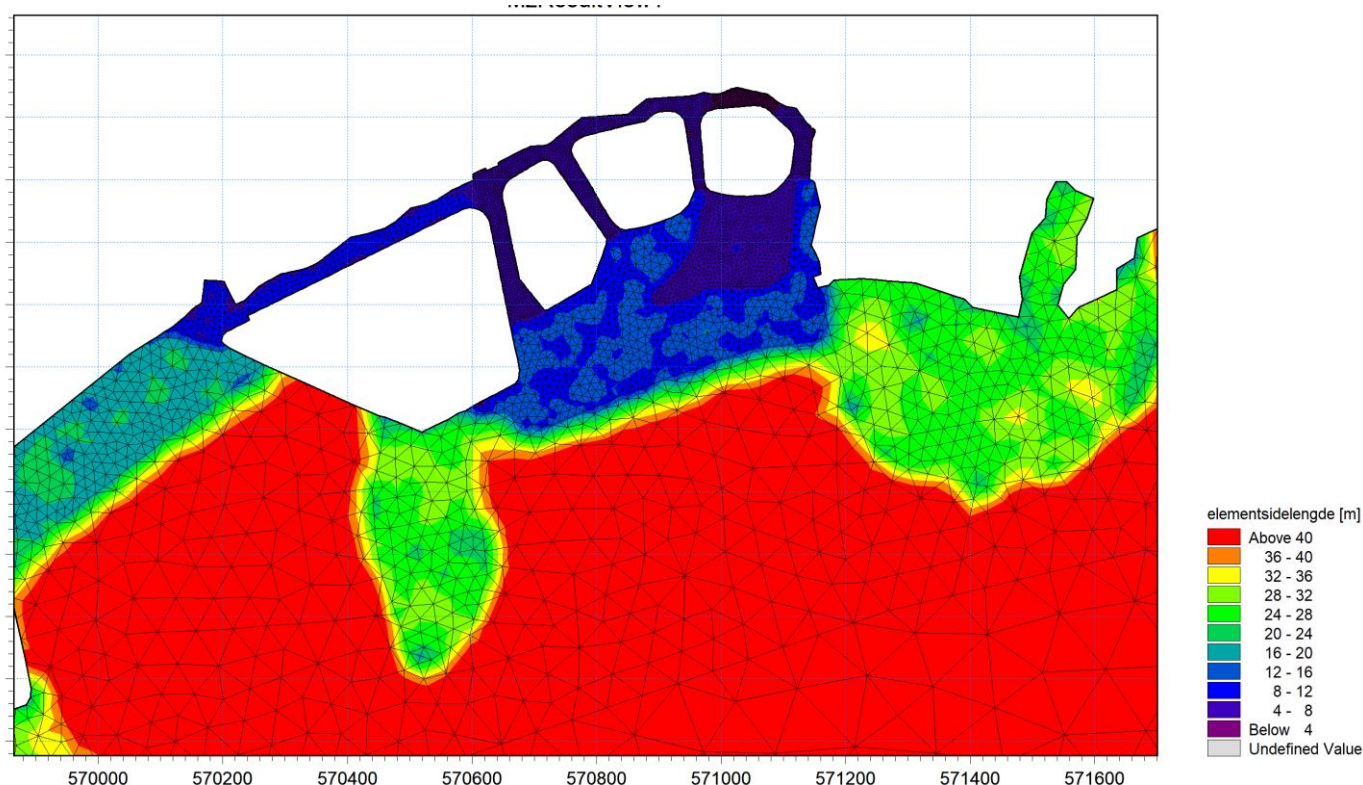
Beregningene skjer på et ustrukturert modellgitter. Dette vil si at i stedet for et rutenett med konstant gitterstørrelse, består modellgitteret av trekanter med varierende størrelse. Dermed kan det benyttes ulike størrelser på elementene (trekantene) i overensstemmelse med hvor det er viktigst å ha høy nøyaktighet. Størst detaljering er benyttet lengst nord i Drammensfjorden, i og rundt Gilhusbukta og elveutløpene, samt rundt Svelviksundet. I mesteparten av Drammensfjorden der dybden er rundt 100 m er det benyttet store elementer med sidelengde rundt 200 m. I kanalene er det benyttet elementstørrelser på 2-5 m. Dette er illustrert på Figur 5 og Figur 6.

De tre modellgitter som er benyttet er vist i Appendiks B. Figurenes farger avspeiler bunndybde.

¹ Dybdekonturene på figuren avspeiler en tidligere versjon fra mai 2020, der man planla en øy ut for sørspissen av Tømmerterminalen, der det i dag er en grunne med rundt 4m dybde. Denne øya har man siden tatt ut av prosjektet. Modellen avspeiler derfor i dette området den eksisterende grunna og ikke øya som er vist på figuren.

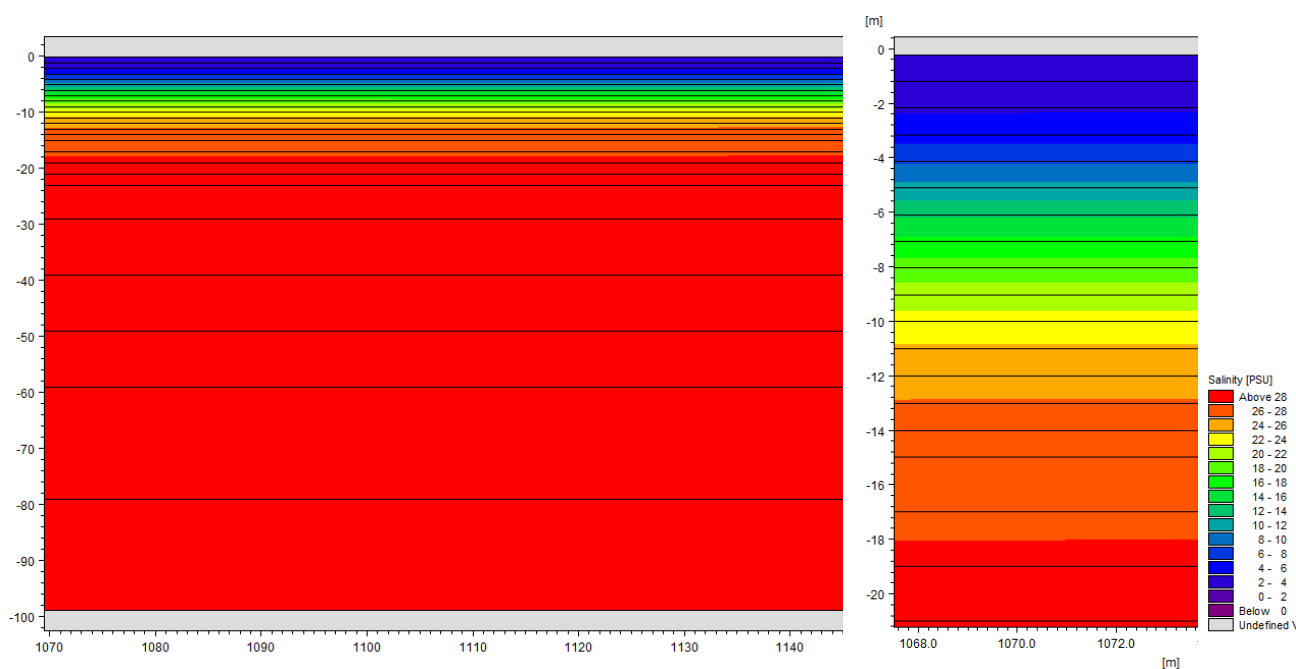


Figur 5 Modelldomenet og diskretisering (oppløsning). Fargeskalaen avspeiler elementstørrelse. Viser gitteret for Kanal-A alternativet.



Figur 6 Modelldomenet og diskretisering (oppløsning). Fargeskalaen avspeiler elementstørrelse. Detaljutsnitt rundt Gilhusbukta. Viser gitteret for Kanal-A alternativet.

For vertikal diskretisering er det benyttet en sigmadybde på -10m og 10 sigma-lag. Det medfører at på de øverste 10m er hvert lag maksimalt 1 m tykt – og mindre der lokal totaldybde er mindre enn 10 m. Under sigmadybden er det 15 z-lag. De øverste fem av disse er 1 m tykke og deretter økende. De to dypeste lagene er 20 m tykke. Den vertikale diskretiseringen er illustrert på Figur 7.



Figur 7 Vertikal diskretisering. Fargeskalaen avspeiler beregnet salinitet. Bildet til høyre viser de øverste 20 m av vannsøylen.

2.2.5 Grensebetingelser

Ved åpne modellgrenser (dvs grenser som ikke består av kyst) angis det en grensebetingelse, som enten kontrollerer vannføring, strømhastighet eller vannstand. Se Tabell 4.

Tabell 4 Oversikt over grensebetingelser for modellens åpne grenser.

Grense	Type	Datakilde	Salinitet	Temp
Ytre Drammensfjord - Svelvik	Vannstand + strømhastighet**	SeHavnivå + Multiconsult	35 PSU	10°C
Drammenselva – Bragernesløpet	Vannføring	NVE	0	=luft*
Drammenselva – Strømsløpet	Vannføring	NVE	0	=luft*
Lierelva	Vannføring	NVE	0	=luft*

*: ferskvannstemperaturen er satt til et gjennomsnitt av lufttemperaturen de forutgående 5 døgn.

** : strømhastighet (med fortegn) er beregnet ut fra vannstandsvariasjon (målt tidevann) og ferskvannstilførsel ved en enkel volumberegning og den resulterende vannføring er delt på Svelviksundets tverrsnittsareal.

Varmeutvekslingsmodulen i Mike3 forutsetter input i form av:

- lufttemperatur,
- relativ fuktighet
- klarvæskoeffisient (det motsatte av overskyethet).

Disse dataene er angitt i form av tidsserier som er lastet ned fra Norsk Klimaservicesenter. Seriene er vist i Appendiks D sammen med vannføringsdataene.

2.2.6 Stofftransport

Det er utført stofftransportmodellering for å evaluere vannutskiftning i kanalene, både med hensyn til tidsskala og med hensyn til vannets opprinnelse. I stofftransportsimuleringene er det tilsatt et konservativt sporstoff i en konsentrasjon på 1000 mg/l. Ut over å være målbart, har ikke stoffet noen egenskaper som avviker fra vannet det er tilsatt, og påvirker derfor ikke strømning, salinitet, temperatur eller densitet.

I simuleringer med henblikk på å evaluere tidsskalaen for vannutskiftning i de planlagte kanalene, er sporstoffet tilsatt som en initiell éngangstilsetning i hele Gilhusbukta. Fra en periode på fire måneder (01/03-30/06) er det utvalgt seks 5-døgns perioder for modellering av vannutskiftning. De seks startdatoene ble lagt med tre ukers intervaller for å dekke perioden mest mulig. Datoene ses i Tabell 5.

I simuleringer som har til formål å spore vannets opprinnelse mht de ulike ferskvannstilførseler, er det tilsatt sporstoff til ferskvannet i hver av de tre elvemunningene. Stofftilførsel varer 24 timer. I begge tilfeller er stoffkonsentrasjonen satt til 1000 mg/l. Det er kjørt én simulering, med start 11/03, som varer fem døgn.

2.3 Scenarioer

Det er gjennomført simulering av scenarier i hovedgruppene som vist under. Forkortelsene «RV» og «ST» står for «Rent vann» hhv. «Stofftransport». Se også fremstillingen i Tabell 5.

Det opereres med tre ulike topografier; «Baseline» betegner den opprinnelige situasjonen før både Holmenutfylling og utfylling i Gilhusbukta. «Nullalternativet» betegner situasjonen med fullført Holmenutfylling, men uten utfylling av Gilhusbukta. «Med prosjekt» har med både Holmenutfylling og utfylling (og kanaler) i Gilhusbukta. Se også avsnitt 2.2.3.

Merk at i andre utredningsrapporter kan «Nullalternativet» forutsette at Gilhusbukta er ferdigutfyllt, men at kanaler, øyer og gruntvannsområde ikke etablert. Dette er *ikke* tilfellet i denne rapporten.

A. «Rentvannsscenarioer» (RV)

RV-1 Baseline= situasjon før utfyllinger. Brukes til kalibrering/validering. (1 x 60 døgn)

RV-2 Nullalternativet = fremtidig situasjonen dersom utfylling i Gilhusbukta ikke hadde funnet sted. (2 x 60 døgn)

RV-3 Med utfyllingsprosjekter. Konsekvensvurdering mht strømming og hydrografi *utenfor* selve Gilhusbukta. (2 x 60 døgn)

B. Stofftransportsimuleringer (ST)

ST-1 Stofftilførsel fra elver: utrede opprinnelsen til vannet i Gilhusbukta. (5 døgn)

ST-2 Utvasking fra Gilhusbukta for ulike kanalalternativer. (5 døgn)

2.3.1 Kanalscenarioer

I tillegg til det prosjekterte kanalkonseptet (kalt «A») er det undersøkt 4 andre alternative kanalscenarioer (B-E) med henblikk på å klarlegge hvordan ulike grep vil påvirke sirkulasjonen.

Kanal-A

Prosjektet som beskrevet pr. mai 2020 (se Figur 4). Inkluderer en kanal gjennom/bak Sykehusodden. Se illustrasjoner under.

Kanal-B

Avviker fra Kanal-A ved at kanalen bak Sykehusodden er stengt (ikke utgraves). Det ønskes undersøkt om dette i vesentlig grad reduserer vannutskiftingen i kanalene.

Kanal-C

Avviker fra Kanal-A ved at det er kanalisert en grøft gjennom gruntvannsområdet, for å oppnå bedre vanntransport inn og ut fra kanalene. Det formodes i utgangspunktet at dette tiltaket kan være gunstig for vannutskiftingen, ettersom gruntvannsområdet til dels danner en «barriere» foran kanalene med et stort område med maksimum-dybder på 2-2,5m (minimumsdybdene er null = små øyer). Grøften er gravd ut til 4 m dybde.

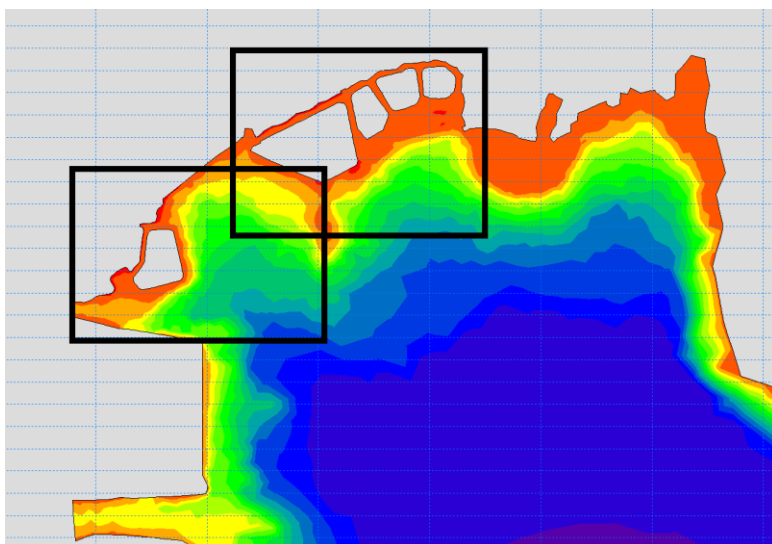
Kanal-D

Avviker fra Kanal-A ved at kanalene er gravd til å ha flat bunn på kt. -4, i stedet for å ha trekantet eller trapesformet tverrsnitt. Effekten av et slikt hypotetisk tiltak er ikke på forhånd kjent; man kan argumentere for at et større kanaltverrsnitt vil øke vanngjennomstrømmingen. Men man kan også argumentere for at et økt kanalvolum vil ta mer tid å skifte ut (gitt uendret tidevannsamplitude). Flat kanalbunn er i utgangspunktet ikke ønskelig av ulike grunner, men her ønsker man primært å forstå hvilke tiltak som evt kan forbedre sirkulasjonen.

Kanal-E

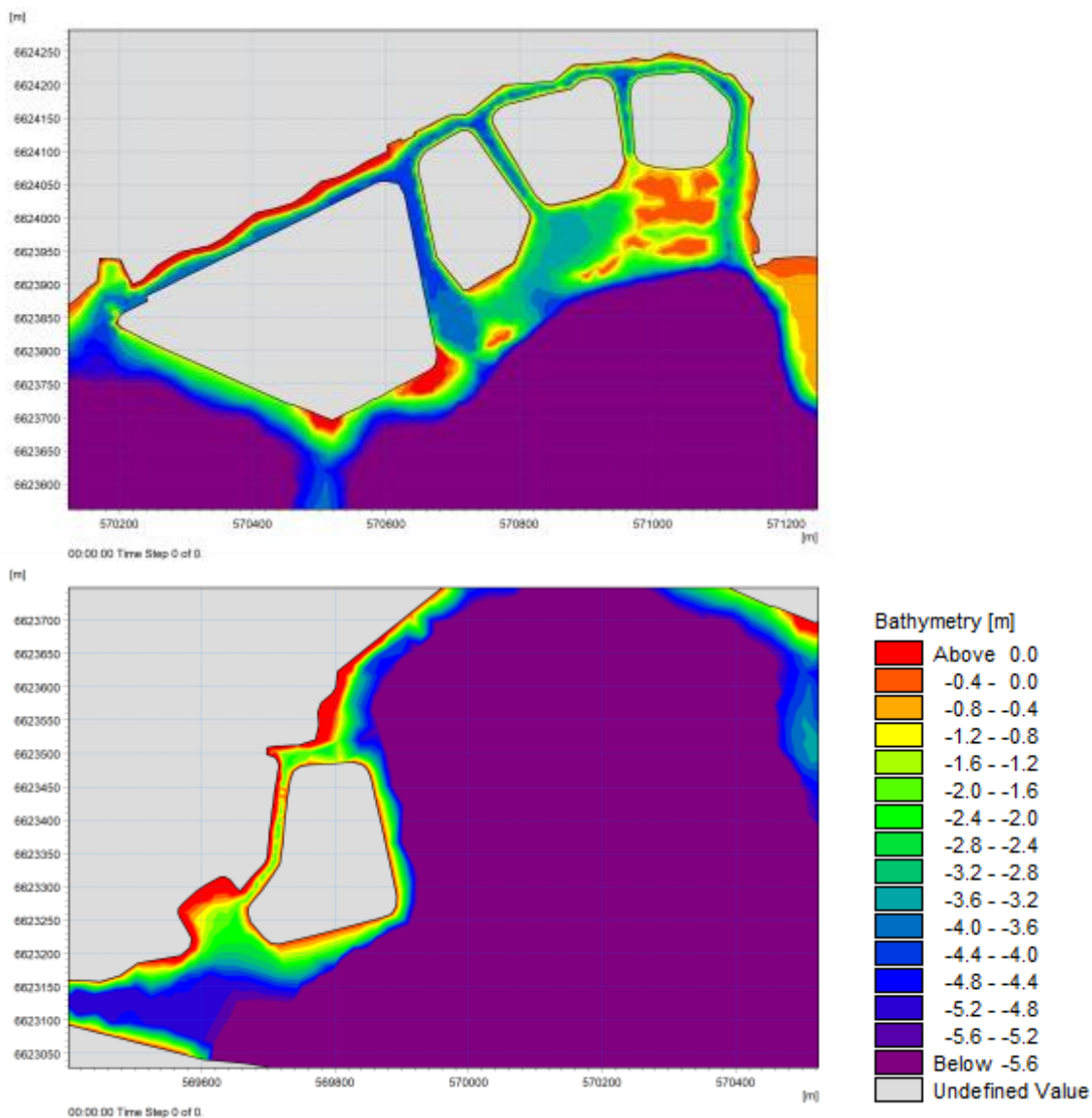
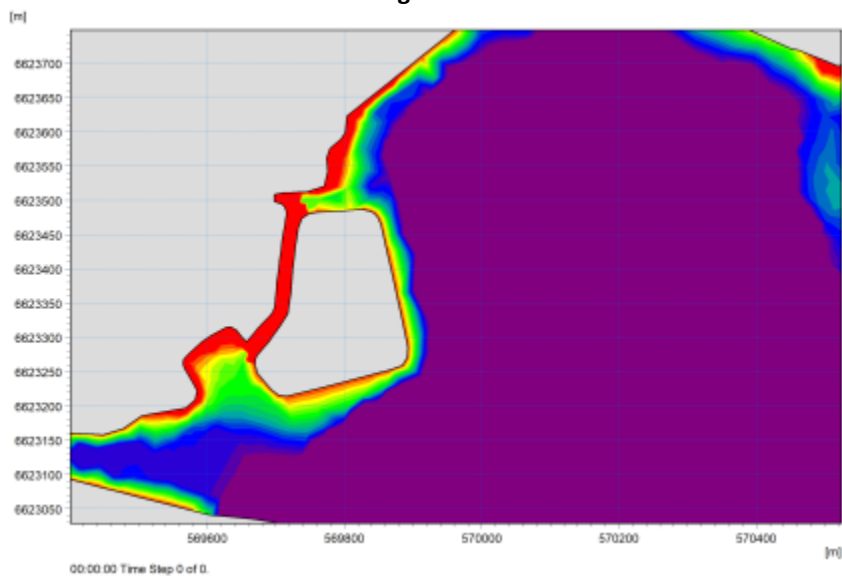
Er en kombinasjon av C og D.

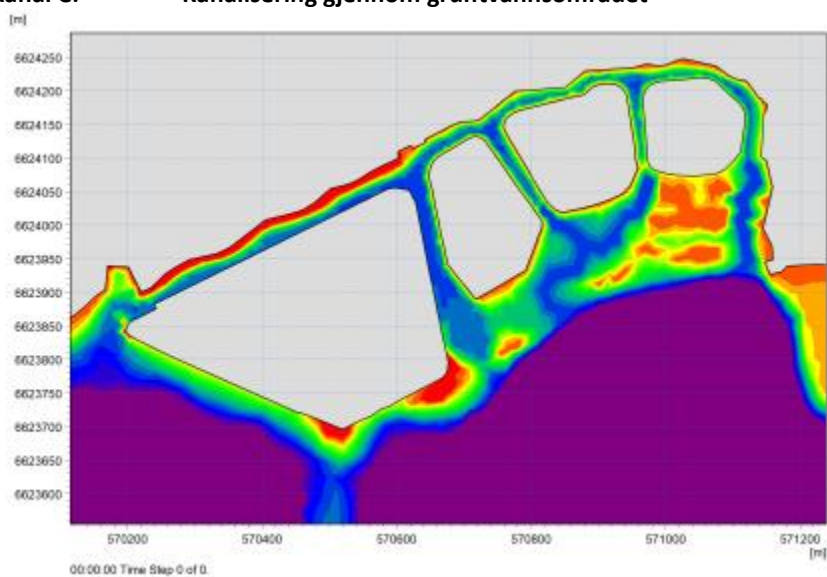
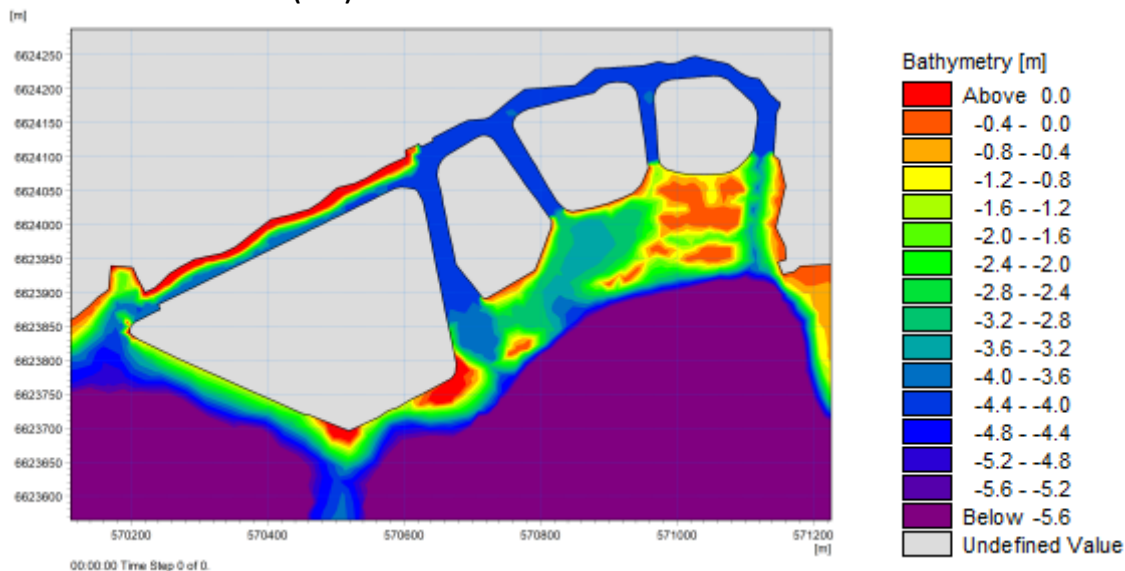
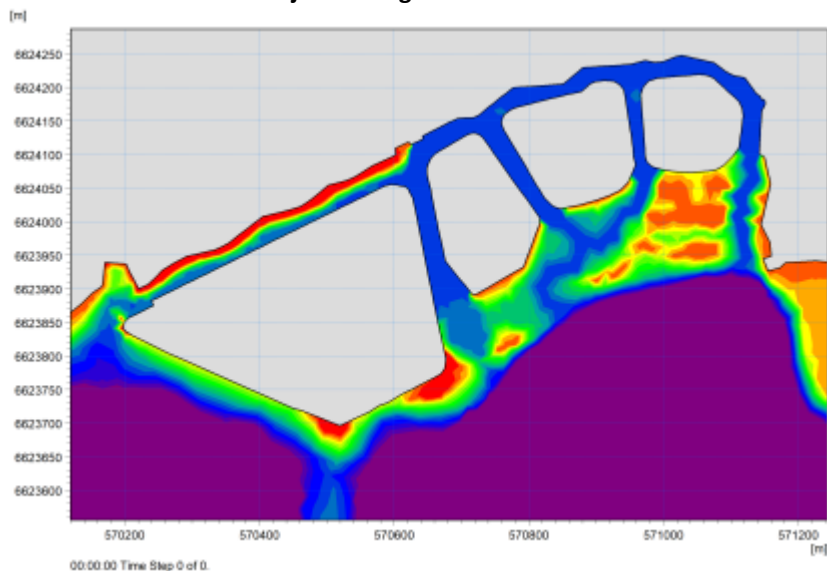
Figurene under illustrerer særtrekkene ved hvert kanalscenario A-E.



Figur 8 Viser plassering av de to utsnittene som illustrerer hvert kanalalternativ på de følgende figurene.

Kanal A**Basisutformingen**

**Kanal B: Oddenkanalen stengt.**

Kanal C: Kanalisering gjennom gruntvannsområdet**Kanal D Flat bunn (-4m) i kanalene****Kanal E Kombinasjon av C og D.**

Tabell 5 Oversikt over simuleringsscenarier. Alle datoer år 2020

		11.mar	31.mar	20.apr	11.mai	31.mai	20.jun
Rent vann	Baseline				RV-1		
	Nullalternativ	RV-2			RV-2		
	Kanal-A	RV-3			RV-3		
Stofftransport	Nullalternativ	ST-1				ST-1	
	Kanal-A	ST-1				ST-1	
	Nullalternativ	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2
	Kanal-A	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2
	Kanal-B	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2
	Kanal-C	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2
	Kanal-D	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2
	Kanal-E	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2	ST-2

Lengde på simuleringer:

RV1, RV2, RV3: 2 måneder

ST1, ST2: 5 døgn

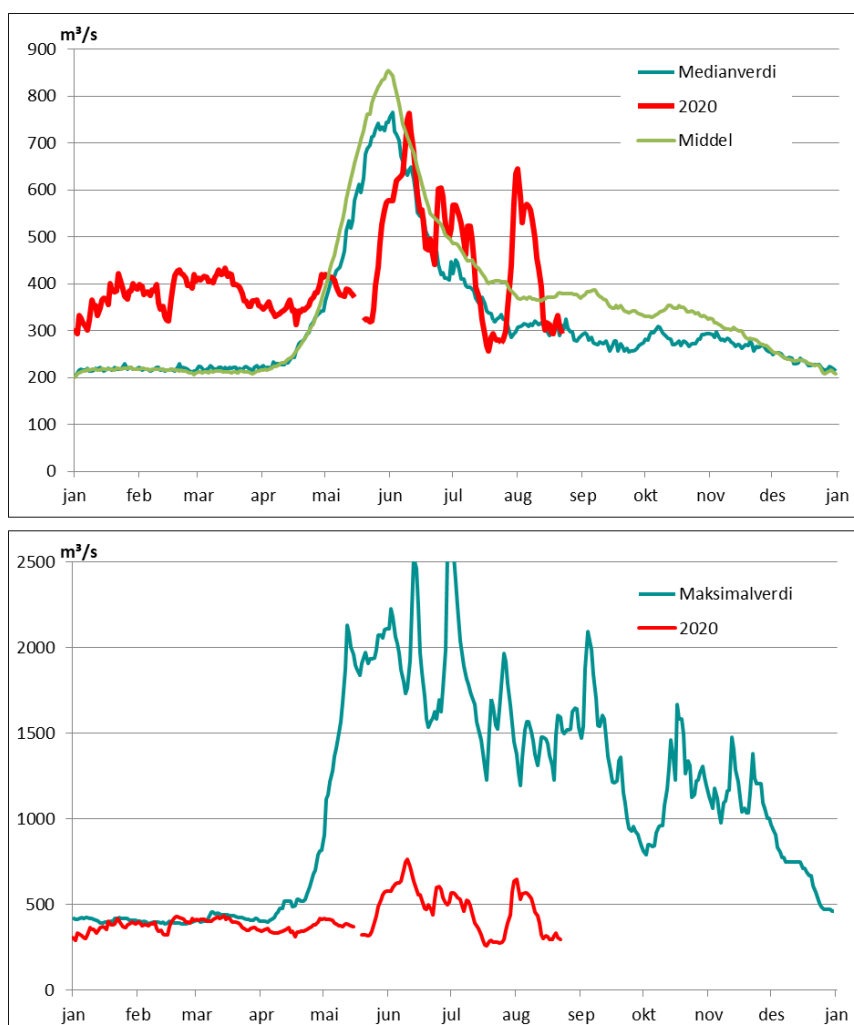
2.4 Representativitet og valg av tidsperiode

2.4.1 Ferskvannstilførsel

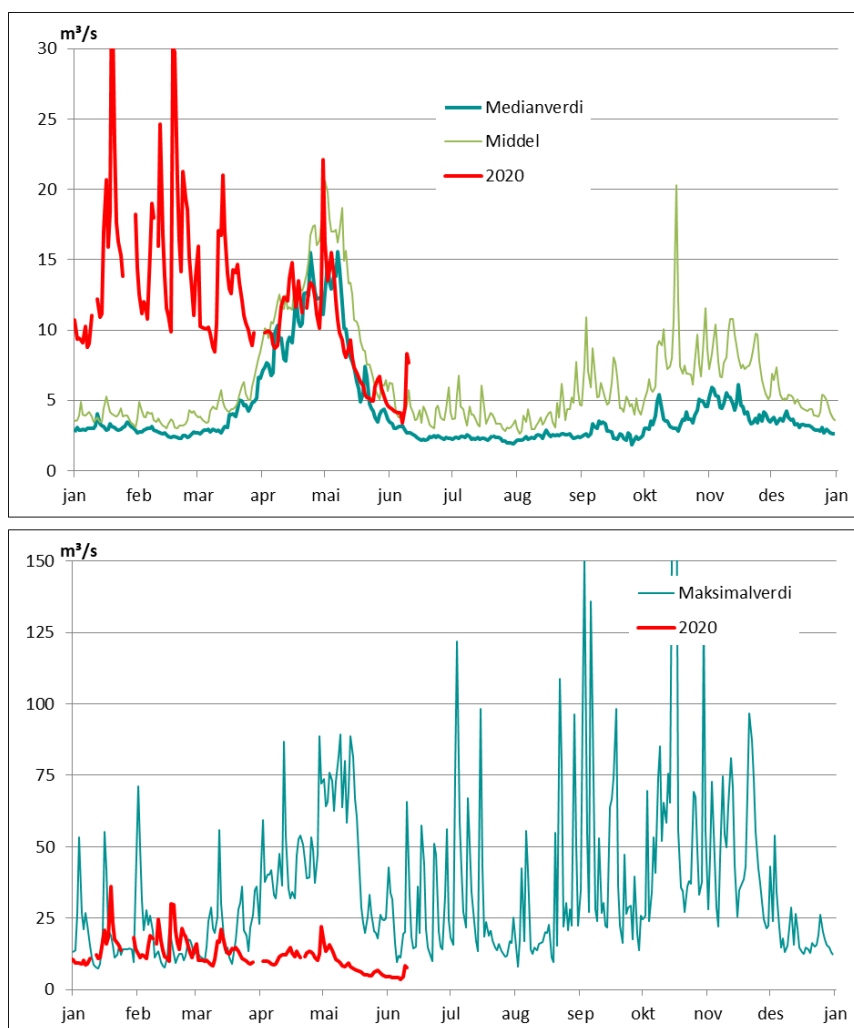
Vannføringen i Drammenselva i 2020 er sammenlignet med flerårsstatistikk for perioden 1912-2019, som illustrert på Figur 9. I januar-april 2020 var vannføringen uvanlig stor – rundt det doble av gjennomsnittlig vannføringen for årstiden. Faktisk lå den helt på nivå med det største som noensinne er målt, som det ses på nederste del av Figur 9. Figuren (øvre panel) viser også at vårfloppen begynte rundt en måned senere enn vanlig; rundt 1. juni i stedet for rundt 1. mai. Vannføringen i mai var derfor *mindre* enn vanlig. Fra flommens kulminasjon rundt 15/6 ligger vannføringen imidlertid på helt vanlig nivå.

Figur 10 viser en lignende fremstilling for Lierelva. Her likner bildet det vi så for Drammenselva, med vannføringer i årets første tre måneder som er på nivå med de største målingene noensinne, samt vannføringer på nivå med middel i perioden for vårflopp.

Vi kan oppsummere om modellperioden 01/03-30/06-2020 at den første halvparten var uvanlig i form av veldig høy vannføring, mens den siste halvparten var gjennomsnittlig.



Figur 9 Vannføring Drammenselva (Mjøndalen), NVEs målinger. Sammenligning av 2020 med flerårsstatistikk for 1912-2019. Øverste figur viser vannføring i 2020 sammen med middel og median vannføring. Nederste figur viser sammenligning av 2020 og maksimal målt vannføring. Den lange serien er en omregning og korreksjon av serien fra Døviksfoss.



Figur 10 Vannføring Lierelva, NVEs målinger. Sammenligning av 2020 med flerårsstatistikk for 1980-2020.

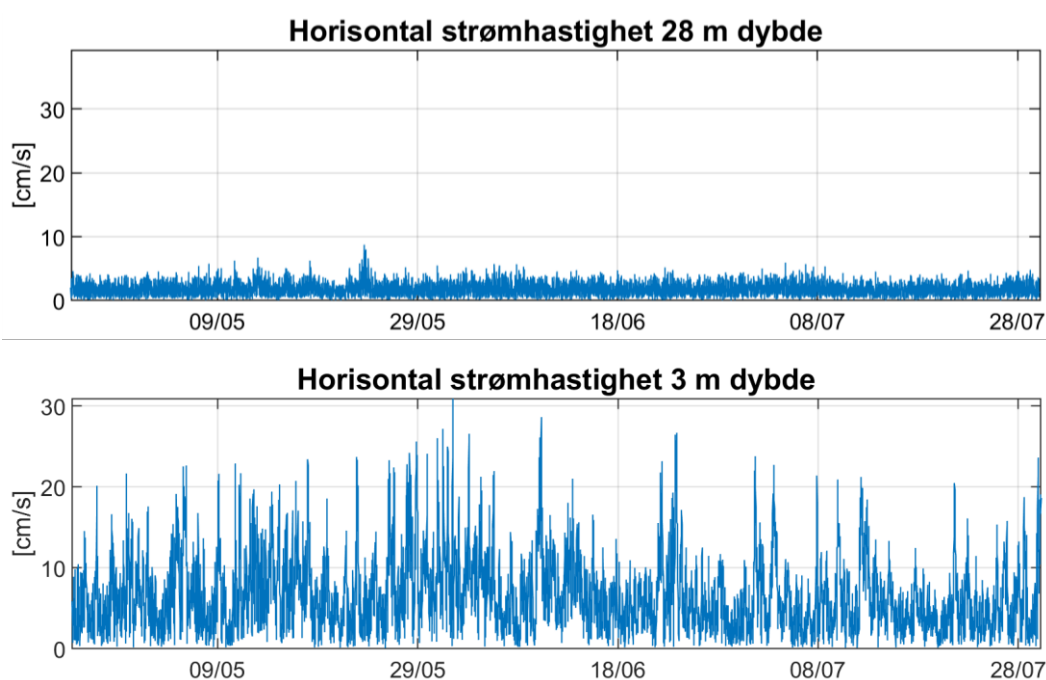
3 Resultater strøm- og hydrografimålinger

Dette kapittelet beskriver hovedfunnene fra målingene gjennomført i Drammensfjorden. For utfyllende informasjon og flere figurer, se Appendiks A.

3.1 Strøm

Det ble målt lav strøm ved alle stasjonene gjennom hele måleperioden. Tidsserier av strømhastighet ved S2 28 m dyp og S4 3 m dyp er vist i Figur 11.

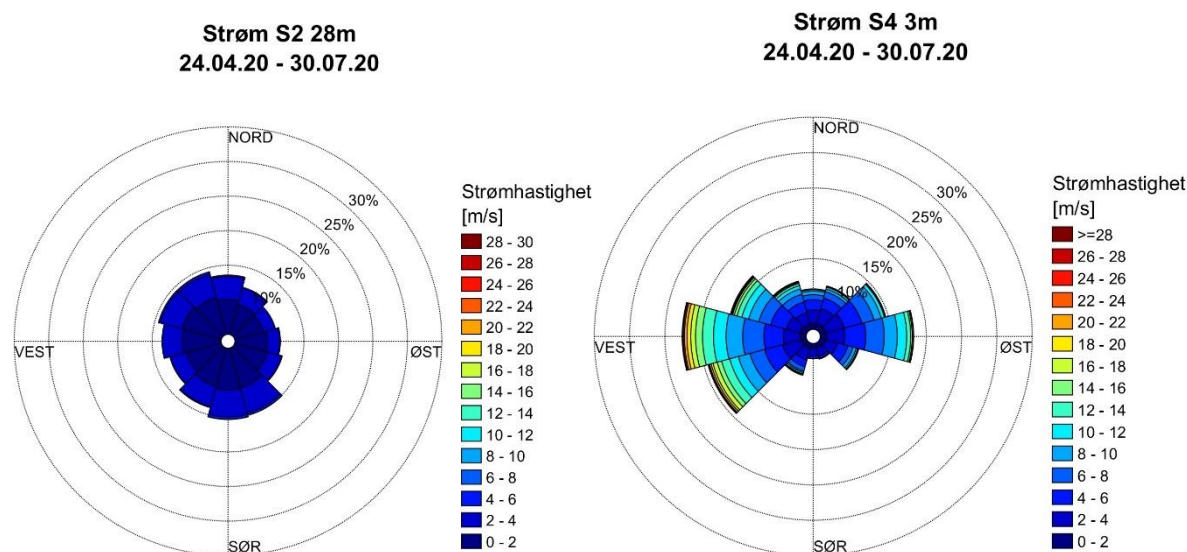
Det er generelt målt lave strømhastigheter i måleperioden. Nært overflaten er det målt de høyeste hastighetene. De lave hastighetene er ned mot hva det akustiske måleinstrumenter er i stand til å måle. Spesielt strømrretningen blir vanskelig å estimere, og derfor er det ved flere måledyp kun vist strømrretning dersom hastigheten er over 10 cm/s. For detaljer se Appendiks A.5.



Figur 11: Eksempler på tidsserier av strøm. Øverste panel: S2, 28 m dyp. Nederste panel: S4, 3 m dyp

Målingene i disse to punktene gir et godt inntrykk av det generelle strømbildet. Det var generelt lav strømhastighet, spesielt i dypere vannlag. Nært overflaten er det tidvis målt høyere strømhastighet, opp mot 20–30 cm/s i mange perioder.

Strømroser fra samme dyp (S2, 28 m og S4, 3 m) og stasjoner er vist i Figur 12. Disse viser fordelingen av strømhastighet og retning gjennom måleperioden. Fra figurene ser man at strømmen i S4 ved 3 m dybde var rettet hovedsakelig øst-vest, mens den ved 28 m i S2 hadde mer spredt retning.



Figur 12: Venstre: Strømrose ved 28 m dyp ved S2. Høyre: Strømrose fra 3 m dyp ved S4

3.2 Hydrografi

Profiler av temperatur, saltholdighet og tetthet for alle måletidspunkt er vist i Figur 13 og Figur 14. Det var generelt liten variasjon mellom stasjonene målt samme dag, og derfor er kun H5 vist.

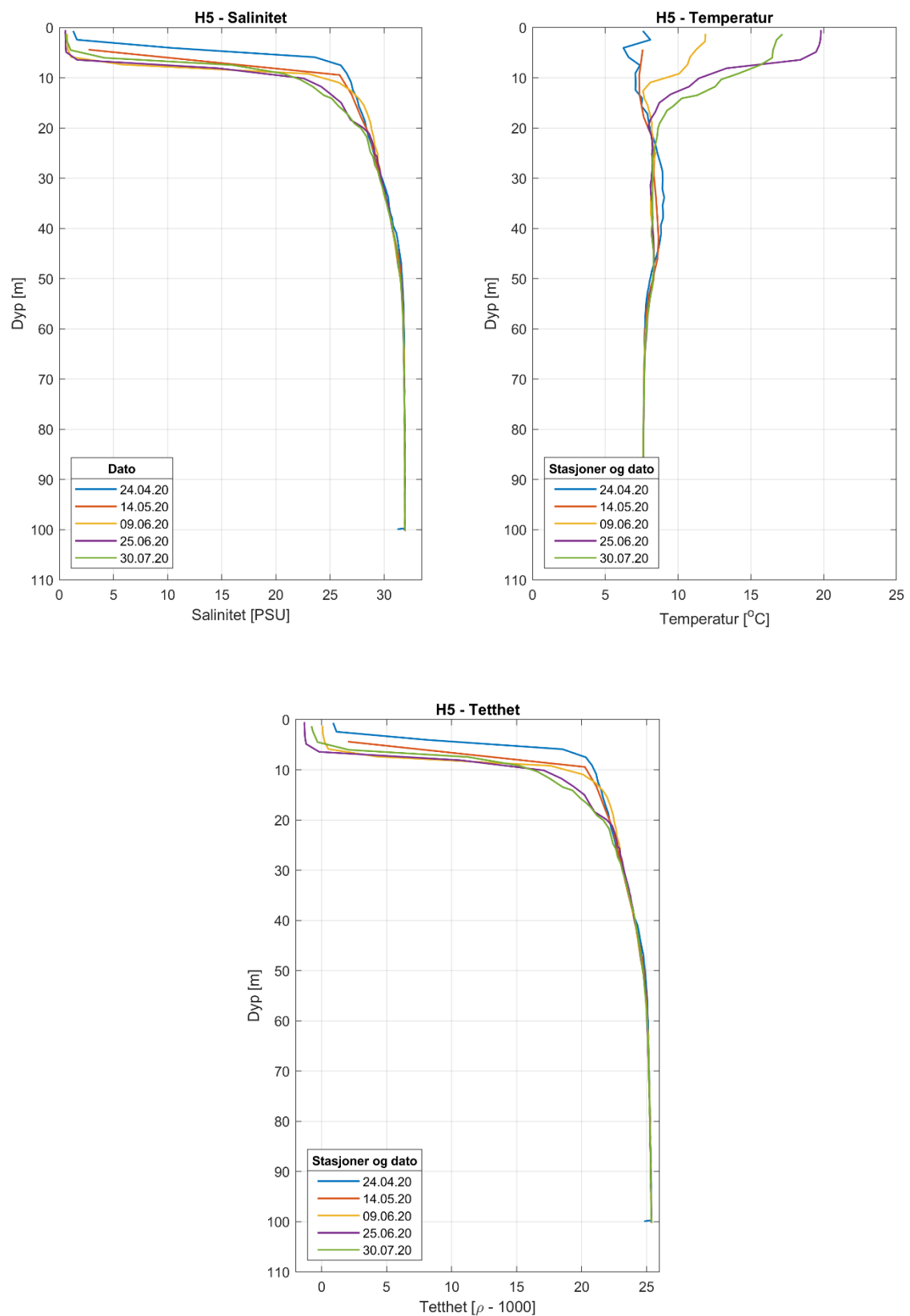
Målingene viser et tydelig, ferskt overflatelag ned til omtrent 4 m dyp i april som blir noe dypere i juni, ned til omtrent 8 m. Målingene gjennomført 30.07 antyder at det samme laget er blitt noe grunnere igjen. Dette overflatelaget er relativt kjølig (omkring 7 grader) i april og mai, men det varmes gradvis opp til omkring 20 grader i slutten av juni. I slutten av juli er overflatetemperaturen noe lavere (omkring 17 grader).

Under overflatelaget er det et skarpt sprangsjikt mellom omtrent overflatelaget og omkring 10 m dyp. Videre ned i vannsøylen er det en svak gradient i salinitet mellom 10 m dyp til 50 m dyp hvor saliniteten øker fra omtrent 25–26 PSU til 31 PSU ved 50 m. Temperaturen i det samme laget varierer noe i både tid og rom, men holder seg stort sett omkring 8°C. Fra 50 m dyp ned til bunnen ligger saliniteten på 31 PSU og temperaturen på omtrent 7°C.

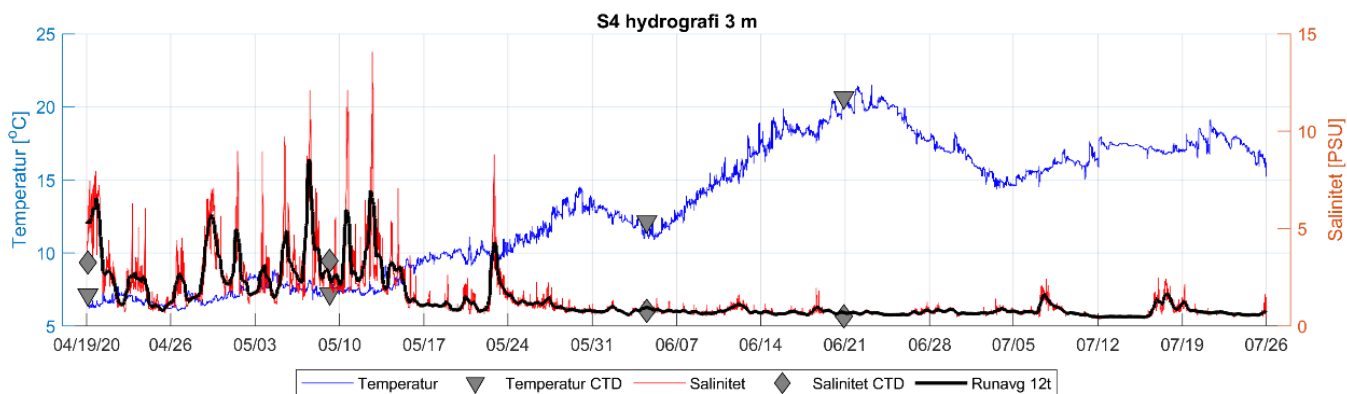
Ved målingene gjennomført 25.06. og 30.07 er salinitet- og tetthetsgradienten svakere mellom 10 m og 20 m dyp sammenliknet med tidligere målinger.

Tidsseriene av temperatur og saltholdighet ved S4 (3 m dyp) er vist i Figur 14 sammen med verdier fra sammenfallende dyp fra CTD-profilene i H7. I begynnelsen av måleperioden (april–mai) varierer saliniteten ved 3 m mellom 2 PSU og 14 PSU. Senere i måleperioden er saliniteten relativt stabil på omkring 1–2 PSU.

Flere resultater fra hydrografimålingene er vist i Appendiks A.5.2.



Figur 13: Temperatur, salinitet og tetthet ved den hydrografiske stasjonen H5 for alle måledatoer



Figur 14: Hydrografiske tidsserier og målinger fra de hydrografiske profilene ved målepunkt S4 og H7 ved 3 m dyp. Grå trekkanter viser målt salinitet ved 3 m dyp ved hydrografisk stasjon H7 og grå trekant viser målt temperatur ved 3 m dyp ved H7

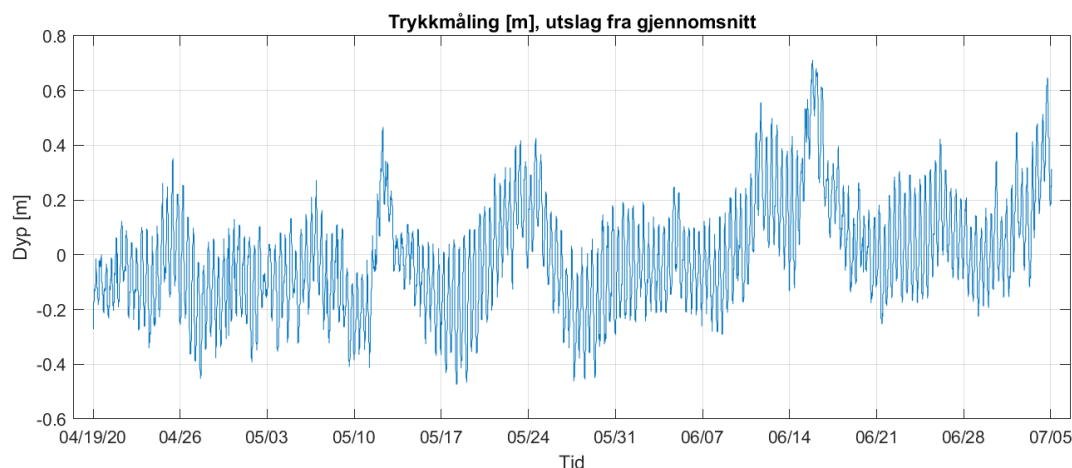
3.3 Vannstand

Det ble målt vannstand fra 24.04.2020 til 30.07.2020 ved Tørkopp (se Figur 2). Resultatene fra målingene er vist i Figur 15.

Målingene viser en tydelig periodisitet som stammer fra tidevannet.

De mer ujevne variasjonene i vannstand (for eksempel omkring 24.5) stammer trolig fra andre faktorer. Eksempler på slike faktorer kan være værets virkning på vannstanden, vannføring i Drammenselva og Lierelva, effekter i Svelviksundet eller dynamikk på kysten utenfor Drammensfjorden.

For sammenlikning mellom målte vannstandsdata ved Tørkopp og vannstandsdata brukt i modellen, se Appendiks A.5.3.



Figur 15: Målt vannstand ved Tørkopp. Figuren viser variasjon omkring gjennomsnittlig vannstand i måleperioden

4 Modellvalidering

Modellen er validert mot målingene beskrevet over. I valideringsarbeidet er det lagt særlig vekt på å sikre at modellen gjenskaper hydrografien i måleperioden. Valideringen ble gjort på valideringsgitteret. Dette gitteret er litt grovere enn gitrene brukt i selve prediksjonssimuleringene (Nullalternativet og Kanalalternativene).

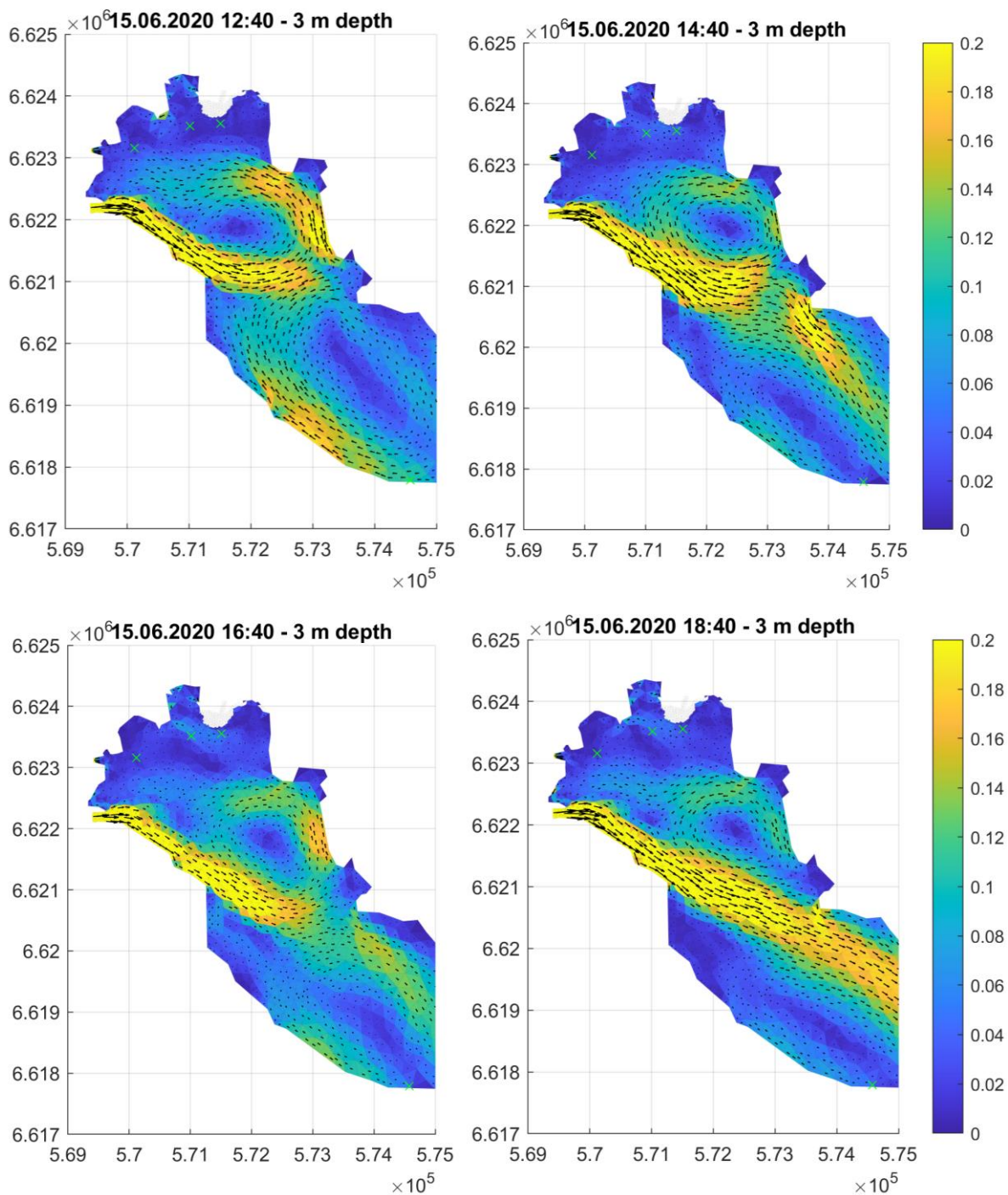
4.1 Strømbildet

Figur 16 viser et øyeblikksbilde av strømmen ved 3 m dybde for fire tidspunkt den 15.6.2020. Figurene illustrere det typiske sirkulasjonsmønsteret som modellen produserer i overflatelaget. Dette illustrerer forventet retning og styrke på vanntransporten i forskjellige områder av domenet. Strømbildet er dominert av avrenningen fra Drammenselva, og især Strømsløpet, hvor vi har en strøm som i hovedsak følger land sørøstover fra utløpet av Drammenselva. En videre karakteristikk er en form for virvel/bakevje hvor noe av den sørgående strømmen bøyer av nordover mellom Nøstodden og Engersand og fortsetter langs den østre bredden av fjorden. Hvor utpreget denne bakevjen/virvelen er, varierer. Øyeblikksbildene i Figur 16 illustrerer noe av variasjonen man kan forvente i løpet av en dag.

For å vurdere modellens evne til å gjenskape det overordnede strømbildet sammenlignes noen statistiske verdier. Figur 17 viser strømrøser fra modellen i punktene S2 og S4 ved 3 m dyp og S2 ved 28 m dyp. En sammenligning av statistiske verdier fra målinger og modell er vist i Tabell 6. Strømrøsene viser prosentvis fordeling av strømretning gjennom simuleringsperioden. Røsene viser at strømmen ved S4 hovedsakelig er rettet mot vest-sørvest og øst-sørøst ved 3 m. Ved S2 er strømretningene mer varierende ved 3 m og mot nord-nordvest ved 28 m.

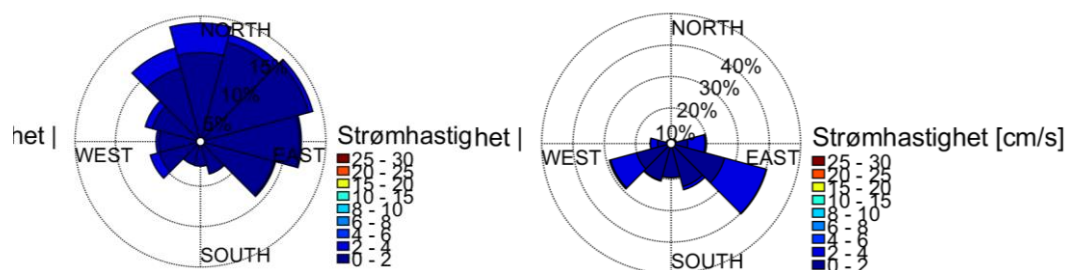
Sammenligner man dette med resultatene fra strømmålingene (Figur 12), kan man merke seg følgende:

- Modellen gjenskaper noe av forskjellene man observerer i strøm ved 28 m dyp i S2 sammenlignet med ved 3 m dyp i S4; Strømmen er generelt lavere på dypere vann. Målingene viser imidlertid større spredning i strømretning ved 28 m enn hva modellen gir.
- Målingene viser at strømmen i S4 ved 3 m følger dybdekonturene og er følgelig rettet øst – vest. Dette klarer modellen å gjenskape forholdsvis bra. Det er imidlertid et avvik i dominerende strømretning; Målingene viser en svak overvekt av strøm mot vest, mens det i modellen er liten en overvekt av strøm mot øst-sørøst.
- Fra Tabell 6 fremkommer det at modellen generelt produserer lavere strømstyrker enn det som måleresultatene viser. Dette er det mest fremtredende avviket mellom målingene og modellresultatene. Noe av forklaringen antas å ligge i at måleresultatene angir en noe høyere strømhastighet enn hva som er reell på grunn av at strømhastighetene er lavere enn hva instrumentet klarer å måle (7A.5.1). Dette gjør valideringen mot strømdataene utfordrende utover den observasjonen at det i begge tilfeller (måling og modell) fremkommer at strømhastighetene i målepunktene generelt er lave. Vindgenerert strøm er ikke representert i modellen, siden vind ikke er med som input-parameter. Dette vil trolig føre til at perioder med økt overflatestrøm ikke blir gjengitt i modellen, noe som også bidrar til forskjellene vi observerer mellom måling og modell.

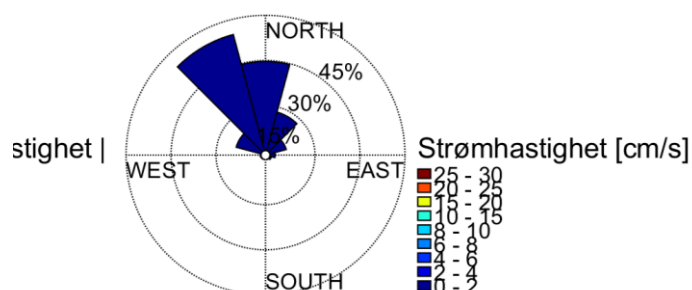


Figur 16 Strømbildet ved 3 m ved fire tidspunkt i løpet av 15.6.2020 (Fargeskala [m/s]). grønn «x» viser plassering av strømmålere S2, S3 og S4.

Valideringsgrid mai-jun | S2 | 3m Valideringsgrid mai-jun | S4 | 3m



Valideringsgrid mai-jun | S2 | 28m



Figur 17 Strømroser fra modellen ved 3 m dyp for S2, S3 og S4 samt 28 m dyp ved S2. Strømrosene viser prosentvis fordeling av strømreretning og styrke gjennom simuleringsperioden (1.5 – 30.6)

Tabell 6 Sammenligning av statistiske verdier for måleresultater (24.4 – 30.7) og simuleringsresultater (1.5 – 30.6). Måleverdiene for sammenligning er et utvalg av resultatene listet i Tabell 12.

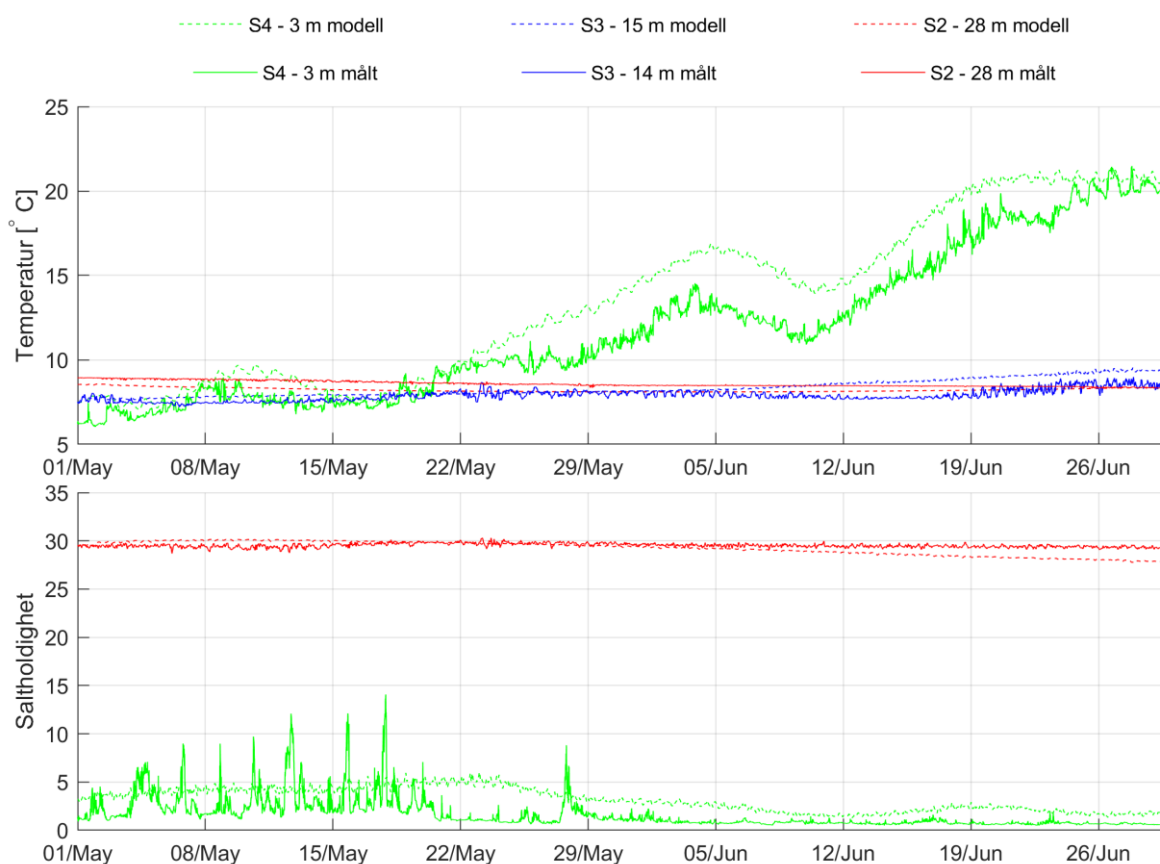
	S2				S3		S4	
Dybde	14 m		28 m		14 m		3 m	
	Målt	Modell	Målt	Modell	Målt	Modell	Målt	Modell
Gjennomsnittsstrøm [cm/s]	4	0.7	2	0.3	3	1.4	7	1.7
Median [cm/s]	3	0.6	2	0.3	3	1.3	6	1.6
Standardavvik [cm/s]	2	0.4	1	0.1	2	0.8	4	0.8
Maksimumstrøm [cm/s]	11	2.6	9	1.0	12	4.6	31	5.2
95 prosentil [cm/s]	7	1.3	3	0.6	6	2.8	15	3.2

4.2 Hydrografi

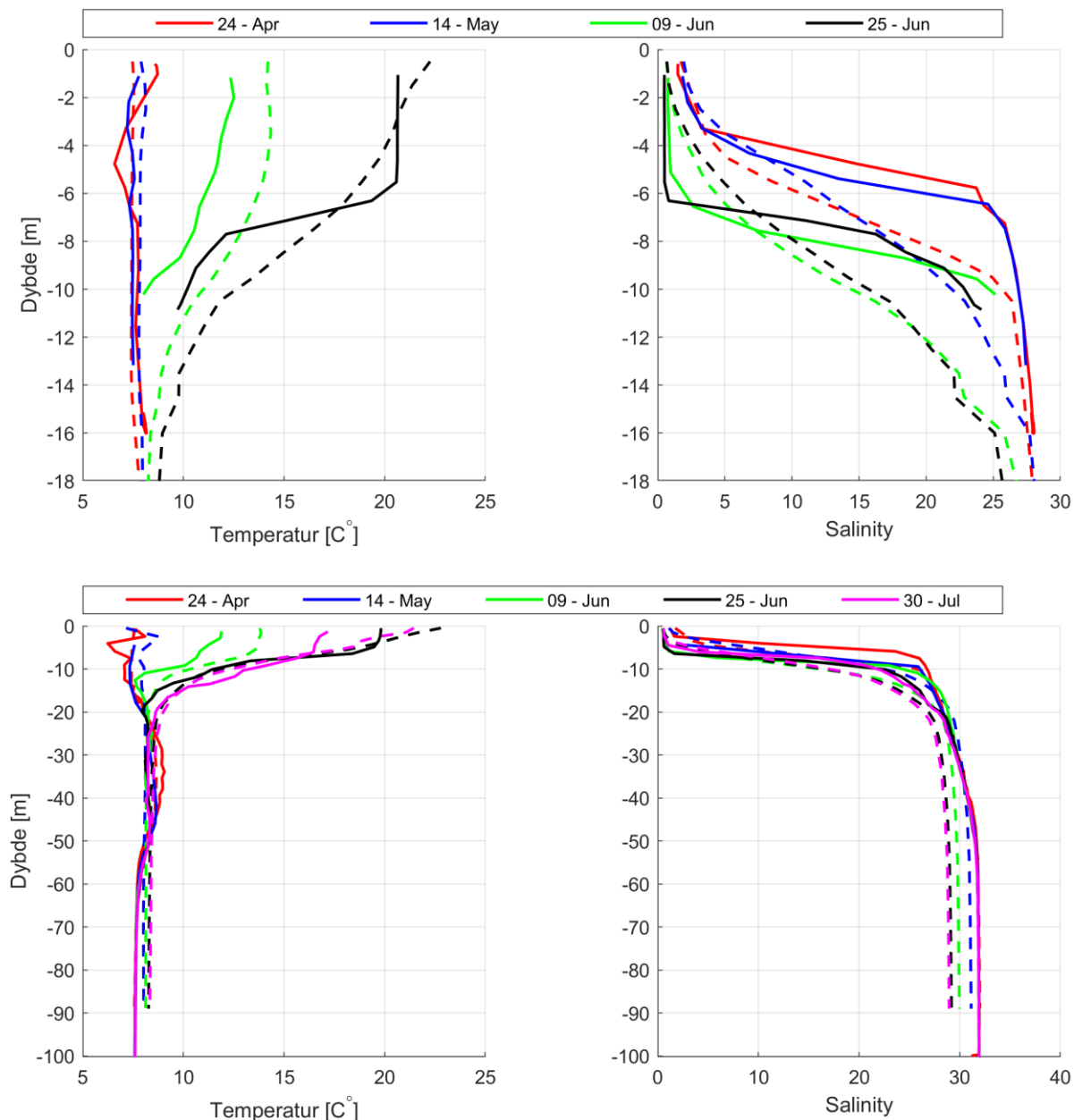
Tidsserie av saltholdighet og temperatur i S2, S3 og S4 er vist i Figur 18. Figuren viser sammenligning mellom modell og måling for disse parametrene i de punkter der målinger og modell overlapper. Fra figuren ser man at modellen gjenskaper temperaturen ved 3 m i S4 (grønn linje) forholdsvis bra. Modellen har generelt noe høyere temperatur enn måletidsserien, og noe mindre variasjon på kort tidsskala. På lengre tidsskala gjenskaper modellen den gradvise økningen utover måleperioden. Den samme tendensen kan observeres for utviklingen i saltholdighet ved 3 m i S4. Her gjenskaper modellen det generelle bildet, med saltholdighet på om lag 4 psu i første del av måleperioden, og så en reduksjon i saltholdighet mot slutten av mai. Også her ser man at modellen ikke gjenskaper de hurtige svingningene i saltholdighet ved målepunktet.

Figur 19 viser sammenligning av hydrografi-profiler i S4 og H5 ved fire tidspunkt igjennom måleperioden. Fra disse figurene ser man at det er godt samsvar mellom måling og modell i de øverste meterne av vannsøyla og på dypere vann. Modellen gjenskaper imidlertid ikke den sterke gradienten i sprangsjiktet som målingene viser.

Alt i alt produserer modellen et realistisk strømbilde og hydrografisituasjon. De grove trekkene ser ut til å være i overenstemmelse med målingene. Man ser imidlertid at raske svingninger og skarpe vertikale gradienter ikke kommer frem i modellresultatet.



Figur 18 Tidsserie av temperatur og saltholdighet ved målte dyp for måling og simulering



Figur 19 Sammenligning av målte og modellerte hydrografi-profiler. Øvre rad S4, nedre rad H5. Temperatur til venstre, saltholdighet til høyre. Heltrukken linje er målt, stiplet er modellert. (Den målte profilen fra 24. april (rød), er sammenlignet med modellert fra 1. mai)

5 Resultater modellering

5.1 Endringer i strømningsmønster og hydrografi utenfor Gilhusbukta

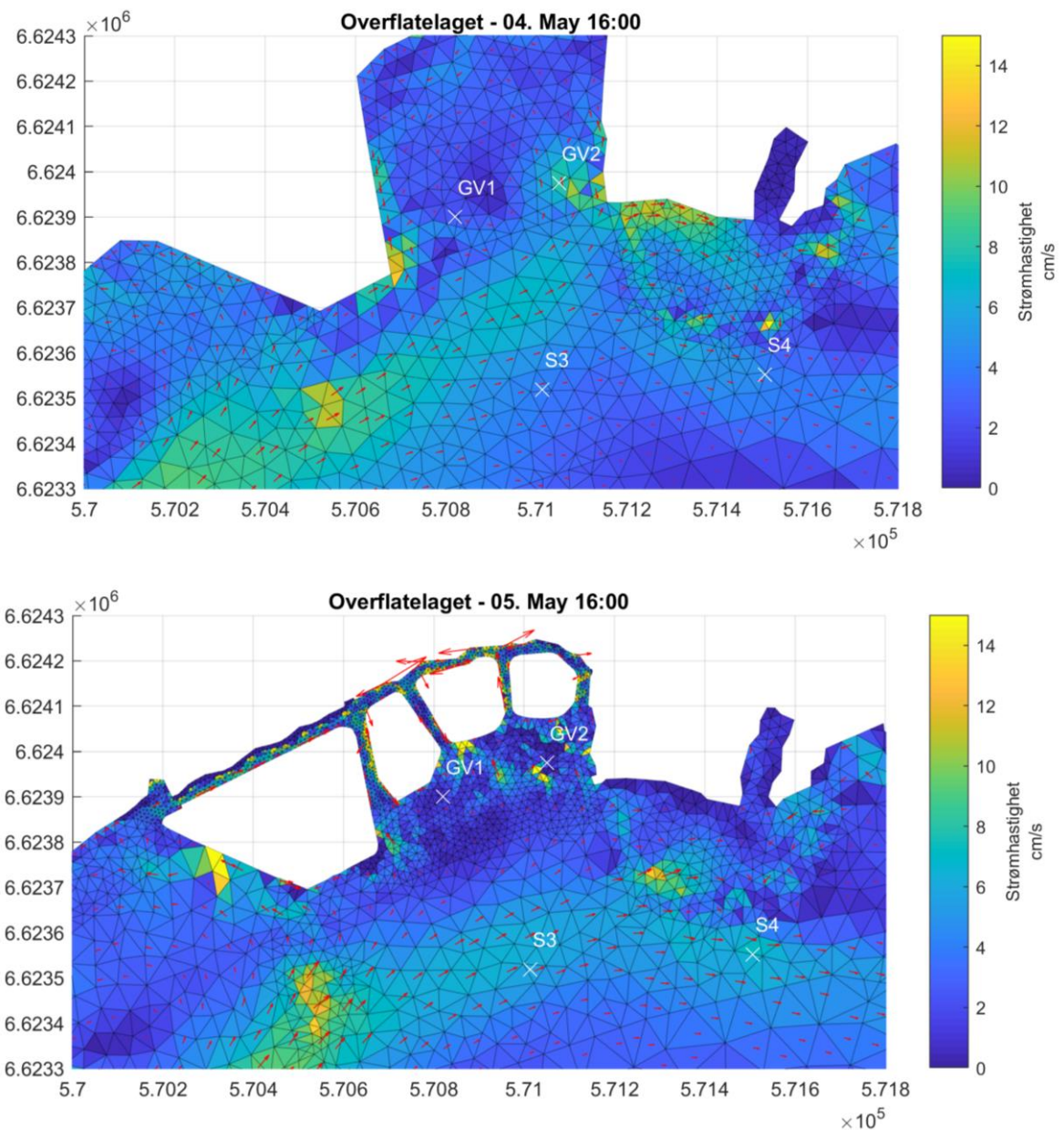
5.1.1 Strømningsmønster

Figur 20 og Figur 21 viser overflatestrømmen i området rundt GHB i to utvalgte tidspunkt for nullalternativet. Tidspunktene er valgt tilfeldig for å gi et inntrykk av hvordan strømfeltet varierer i tid og rom. Fra figurene kan man se den fremherskende strømrretningen mot øst i overflatelaget ved S3 og S4. Punktene GV1 og GV2 er markert i figurene. Disse punktene ligger på henholdsvis 8 og 9 m vanddyp i Nullalternativet og 5 og 2 m vanddyp i Kanalalternativet. Figur 22 til Figur 26 viser sammenligning av strømrøser for nullalternativet og kanalalternativet ved 3 m dybde for S2, S3 og S4 og 1 m for GV1 og GV2. Det er kun vist strømrøser fra mars-april-kjøringen, mai-juni kjøringen viser tilnærmet like verdier. Tabell 6 til Tabell 10 viser sammenligning av statistiske verdier for strømhastigheten for S2 og S4 ved 3 m dybde og GV1 og GV2 ved 1 m dybde for de to alternativene.

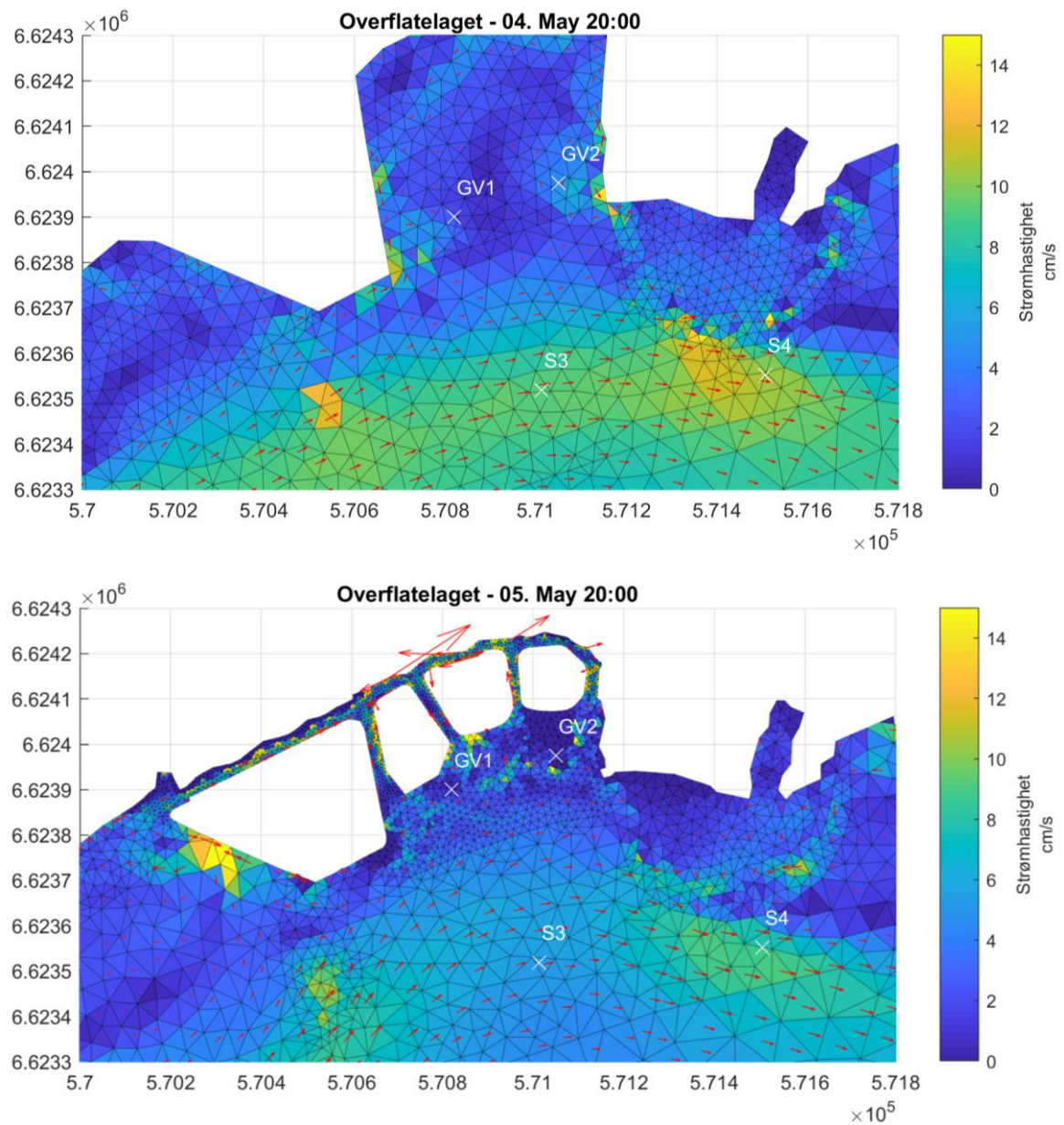
Fra strømrøsene ser man at det er noe forskjell i retningsfordeling i de utvalgte punktene i Kanalalternativet sammenlignet med Nullalternativet. Spesielt ved GV1 og GV2 er det forventet at sirkulasjonen vil bli betydelig påvirket av tiltaket, da opparbeidelsen av gruntvannsområdet fører til en betydelig endret topografi i området.

Når man sammenligner strømhastighetene i de fire punktene, ser man at gjennomsnittshastighet, median og maksimal strømhastighet er omtrent halvert i Kanalalternativet sammenlignet med Nullalternativet for GV1 og GV2. Det er også endring i S4 og S2 som ligger et stykke unna Gilhusbukta. For S4 ved 3 m er det også en liten reduksjon i strømhastigheter, mens det ved 3 m i S2 er høyere strømhastigheter i Kanalalternativet enn i Nullalternativet.

Alt i alt er det vanskelig å gi noen konklusjon om den generelle tendensen i endringer som følge av utbyggingen. I områdene som ligger i umiddelbar nærhet til utfyllingen vil det naturlig være forskjeller, og resultatene tyder på at strømmen blir noe redusert som følge av tiltaket i umiddelbar nærhet til utfyllingen.

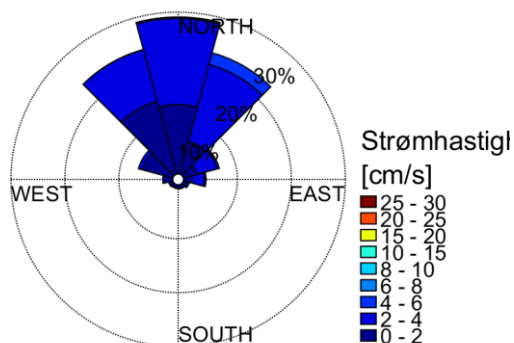


Figur 20 Strømhastighet i overflatelaget 5.5 16:00 for Nullalternativet (øvre plot) Kanalalternativet (øvre plot).

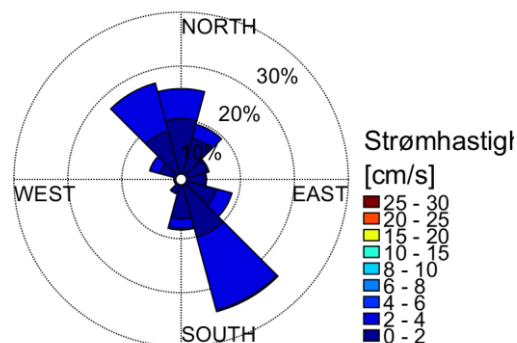


Figur 21 Strømhastighet i overflatelaget 5.5 20:00 for Nullalternativet (øvre plot) Kanalalternativet (øvre plot).

Null alt. mai-jun | S2 | 3m

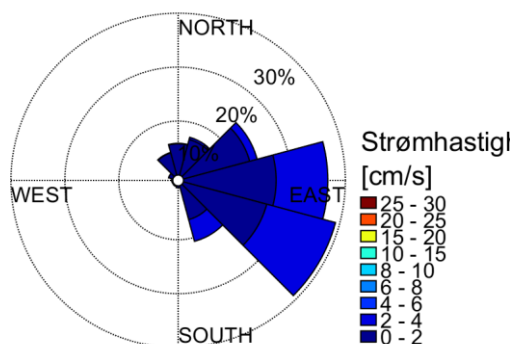


Kanal-A mai-jun | S2 | 3m

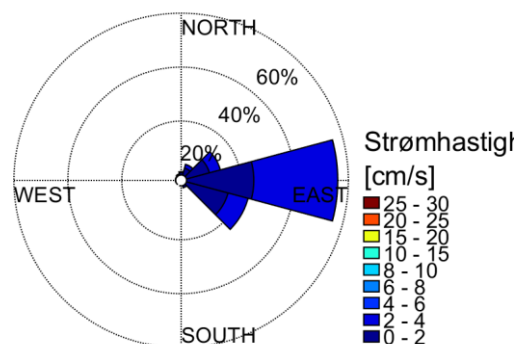


Figur 22 Strømroser for S2 ved 3 m dybde for Nullalternativet og Kanal-A

Null alt. mai-jun | S3 | 3m

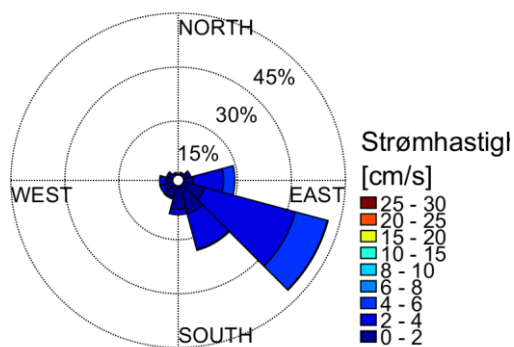


Kanal-A mai-jun | S3 | 3m

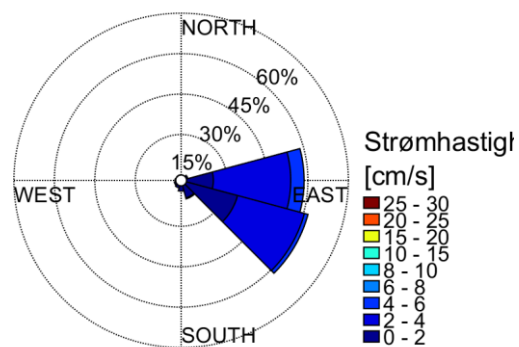


Figur 23 Strømroser for S3 ved 3 m dybde for Nullalternativet og Kanal-A

Null alt. mai-jun | S4 | 3m

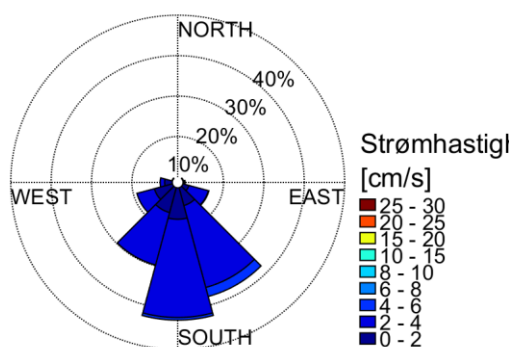


Kanal-A mai-jun | S4 | 3m

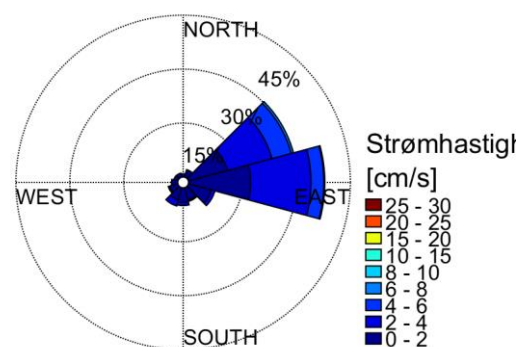


Figur 24 Strømroser for S4 ved 3 m dybde for Nullalternativet og Kanal-A

Null alt. mai-jun | GV1 | 1m

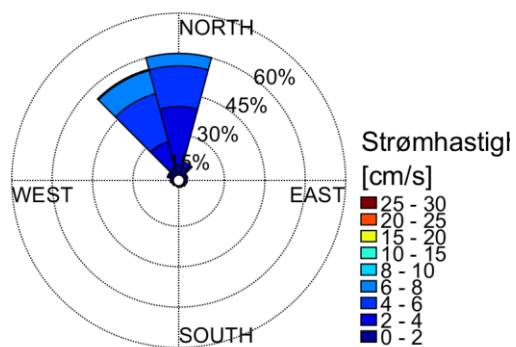


Kanal-A mai-jun | GV1 | 1m

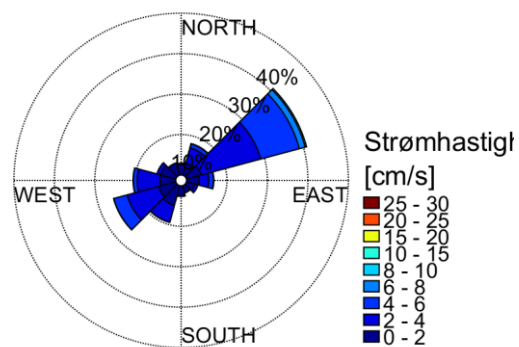


Figur 25 Strømroser for GV1 ved 1 m dybde for Nullalternativet og Kanal-A

Null alt. mai-jun | GV2 | 1m



Kanal-A mai-jun | GV2 | 1m



Figur 26 Strømroser for GV2 ved 1 m dybde for Nullalternativet og Kanal-A

Tabell 7 Sammenligning av statistiske verdier fra de forskjellige modellsimuleringene for S4 ved 3 m dybde.

	Null alt. mars-apr	Kanal-A mars-apr	Null alt. mai-jun	Kanal-A mai-jun
Gjennomsnittsstrøm [cm/s]	2.6	2.0	2.6	2.4
Median [cm/s]	2.5	2.0	2.5	2.4
Standardavvik [cm/s]	1.2	1.1	1.2	1.1
Maksimumstrøm [cm/s]	7.0	5.8	6.4	5.6
95 prosentil [cm/s]	4.6	3.8	4.6	4.1

Tabell 8 Sammenligning av statistiske verdier fra de forskjellige modellsimuleringene for S2 ved 3 m dybde.

	Null alt. mars-apr	Kanal-A mars-apr	Null alt. mai-jun	Kanal-A mai-jun
Gjennomsnittsstrøm [cm/s]	0.9	2	2	1.8
Median [cm/s]	0.8	1.9	2	1.8
Standardavvik [cm/s]	0.6	1	1.1	0.8
Maksimumstrøm [cm/s]	4.3	5.7	5.2	5
95 prosentil [cm/s]	2	3.8	3.8	3.1

Tabell 9 Sammenligning av statistiske verdier fra de forskjellige modellsimuleringene for GV1 ved 1 m dybde.

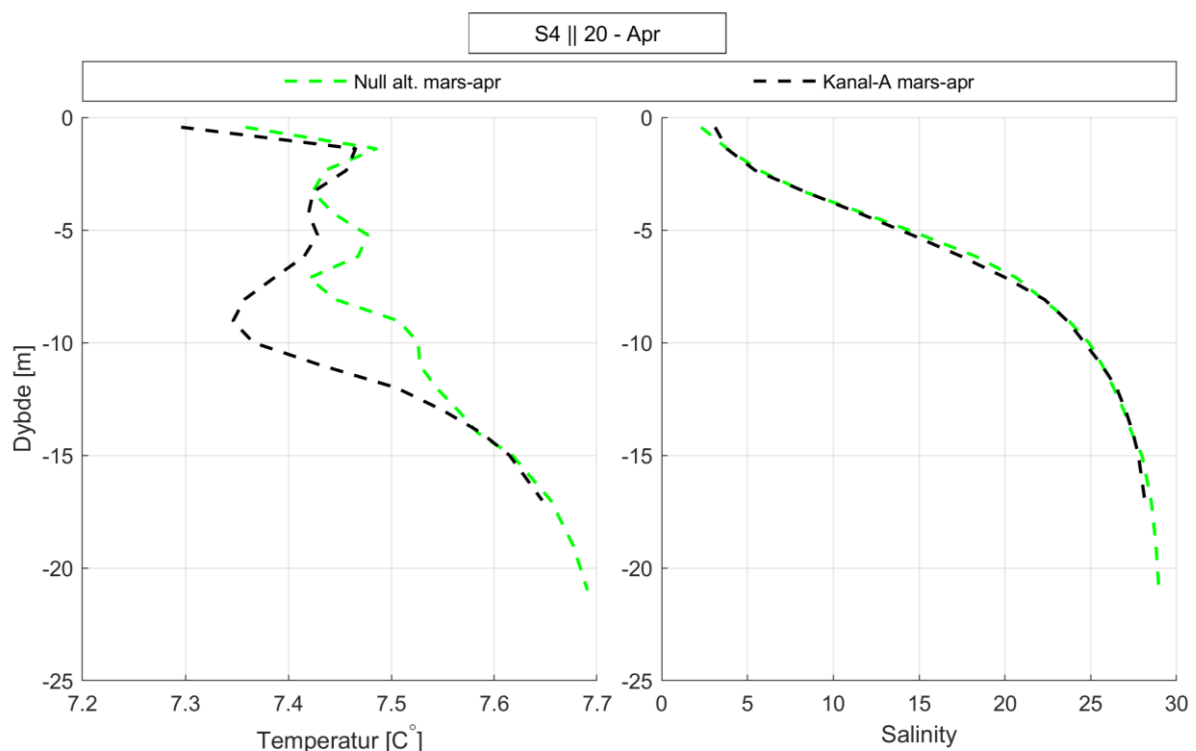
	Null alt. mars-apr	Kanal-A mars-apr	Null alt. mai-jun	Kanal-A mai-jun
Gjennomsnittsstrøm [cm/s]	2.7	1.8	2.5	2.1
Median [cm/s]	2.7	1.7	2.5	1.8
Standardavvik [cm/s]	0.9	0.9	0.8	1.3
Maksimumstrøm [cm/s]	5.6	6.3	5.6	7.1
95 prosentil [cm/s]	4.1	3.6	3.8	4.9

Tabell 10 Sammenligning av statistiske verdier fra de forskjellige modellsimuleringene for GV2 ved 1 m dybde.

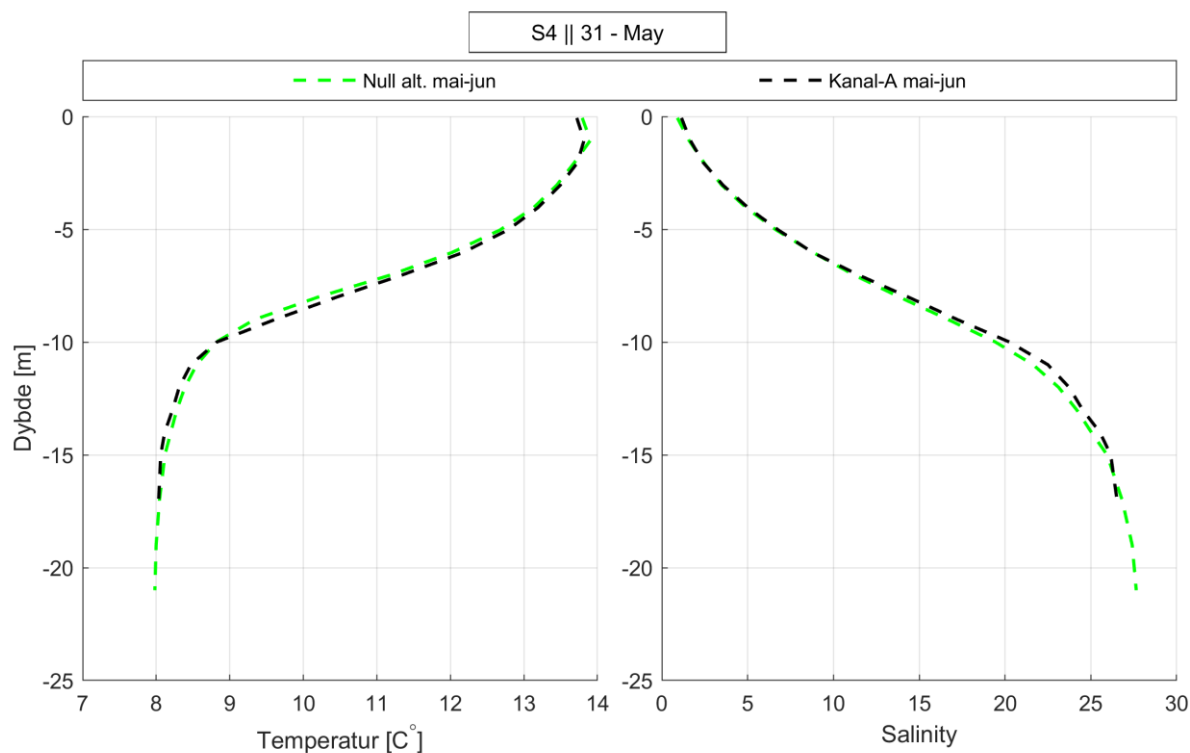
	Null alt. mars-apr	Kanal-A mars-apr	Null alt. mai-jun	Kanal-A mai-jun
Gjennomsnittsstrøm [cm/s]	4.5	2.4	3.9	2.6
Median [cm/s]	4.7	2.2	3.9	2.5
Standardavvik [cm/s]	1.6	1.5	1.8	1.5
Maksimumstrøm [cm/s]	9.4	7.8	8.9	9.6
95 prosentil [cm/s]	7.2	4.8	6.9	5.2

5.1.2 Hydrografi

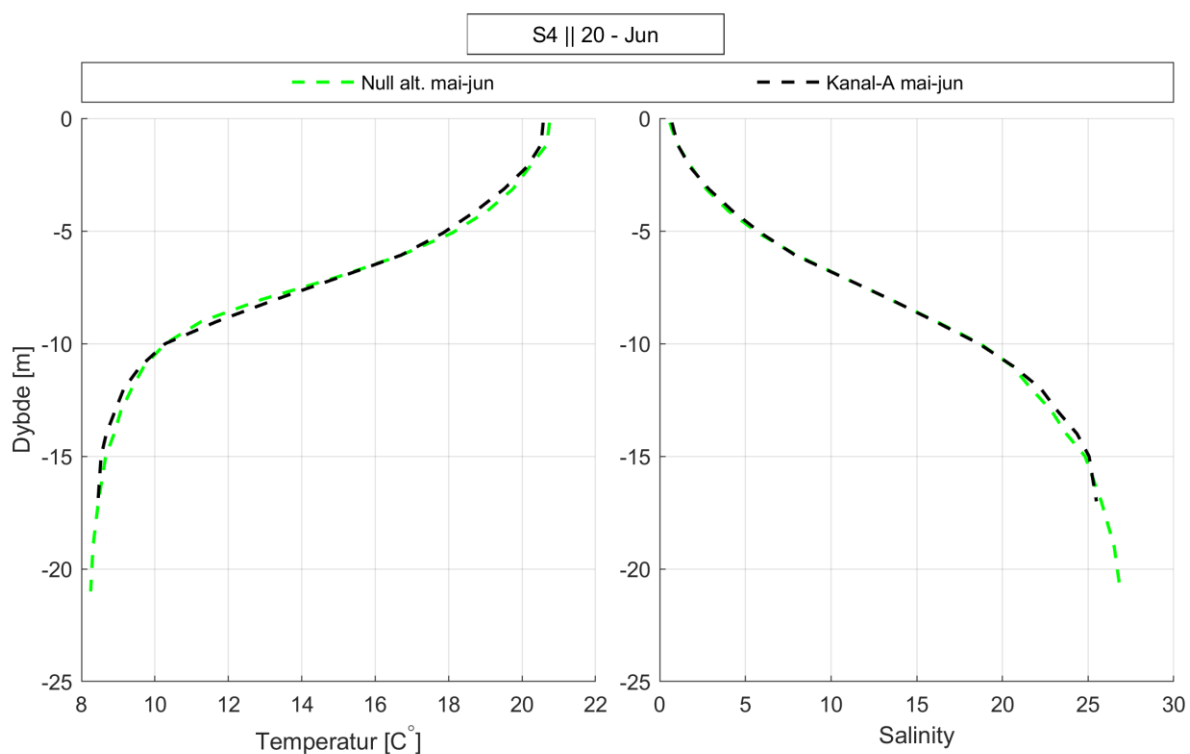
For å illustrere effekten kanalene har på hydrografien utenfor Gilhusbukta, er det valgt å presentere temperatur- og saltholdighets data fra utvalgte tidspunkt i interesseområdet. Figur 27 til Figur 29 viser en sammenligning av hydrografiprofiler fra Nullalternativet og Kanal-A i S4. Fra figurene ser man at i disse utvalgte punktene er det generelt liten variasjon/påvirkning av kanalene. Profilene fra kanalalternativet samsvarer i stor grad med profilene fra nullalternativet. Videre er det i Figur 30 vist temperatur og saltholdighet i S4 gjennom hele måleperioden. Figuren viser det som allerede er beskrevet; et overflatelag med ferskt vann som blir gradvis varmere og ferskere og noe tykkere utover i simuleringsperioden. Figur 31 viser differansen i temperatur og saltholdighet mellom nullalternativet og Kanal-A i S4. Figuren viser at det jevnt over er liten forskjell mellom de to simuleringene, med maksimal temperaturforskjell på bortimot 1°C og maksimal forskjell i salinitet på i overkant av 1.5 psu. Det er ikke perioder eller dyp som tydelig utmerker seg.



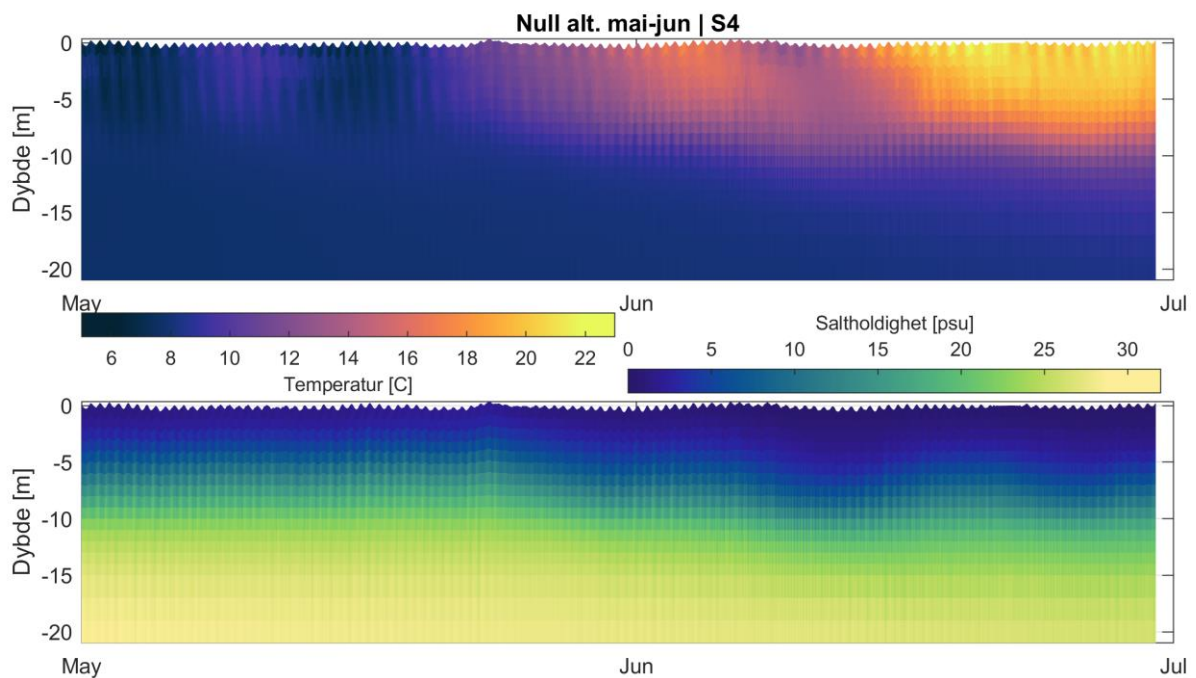
Figur 27 Sammenligning temperatur og saltholdighet for nullalternativet og Kanal A i S4, 20. april



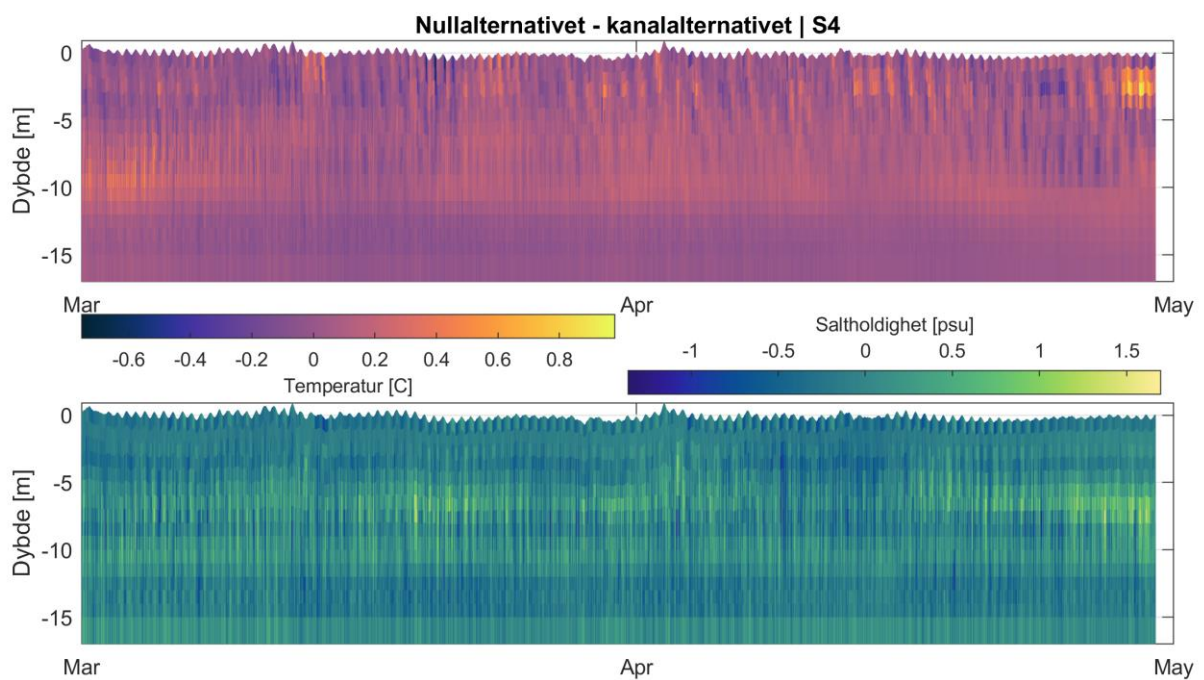
Figur 28 Sammenligning temperatur og saltholdighet for nullalternativet og Kanal A i S4 31. mai



Figur 29 Sammenligning temperatur og saltholdighet for nullalternativet og Kanal A i S4 20. juni



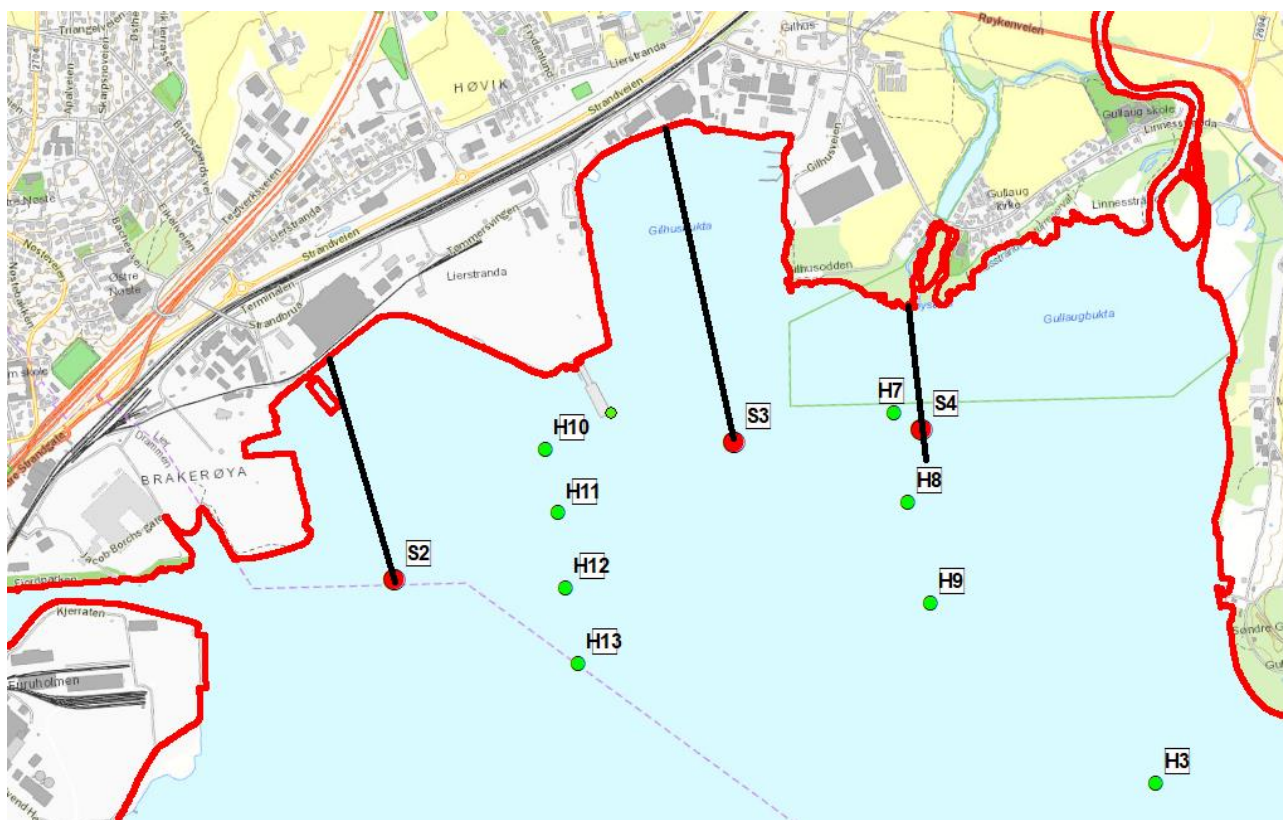
Figur 30 Temperatur (topp) og saltholdighet (bunn) ved S4 for nullalternativet gjennom måleperioden



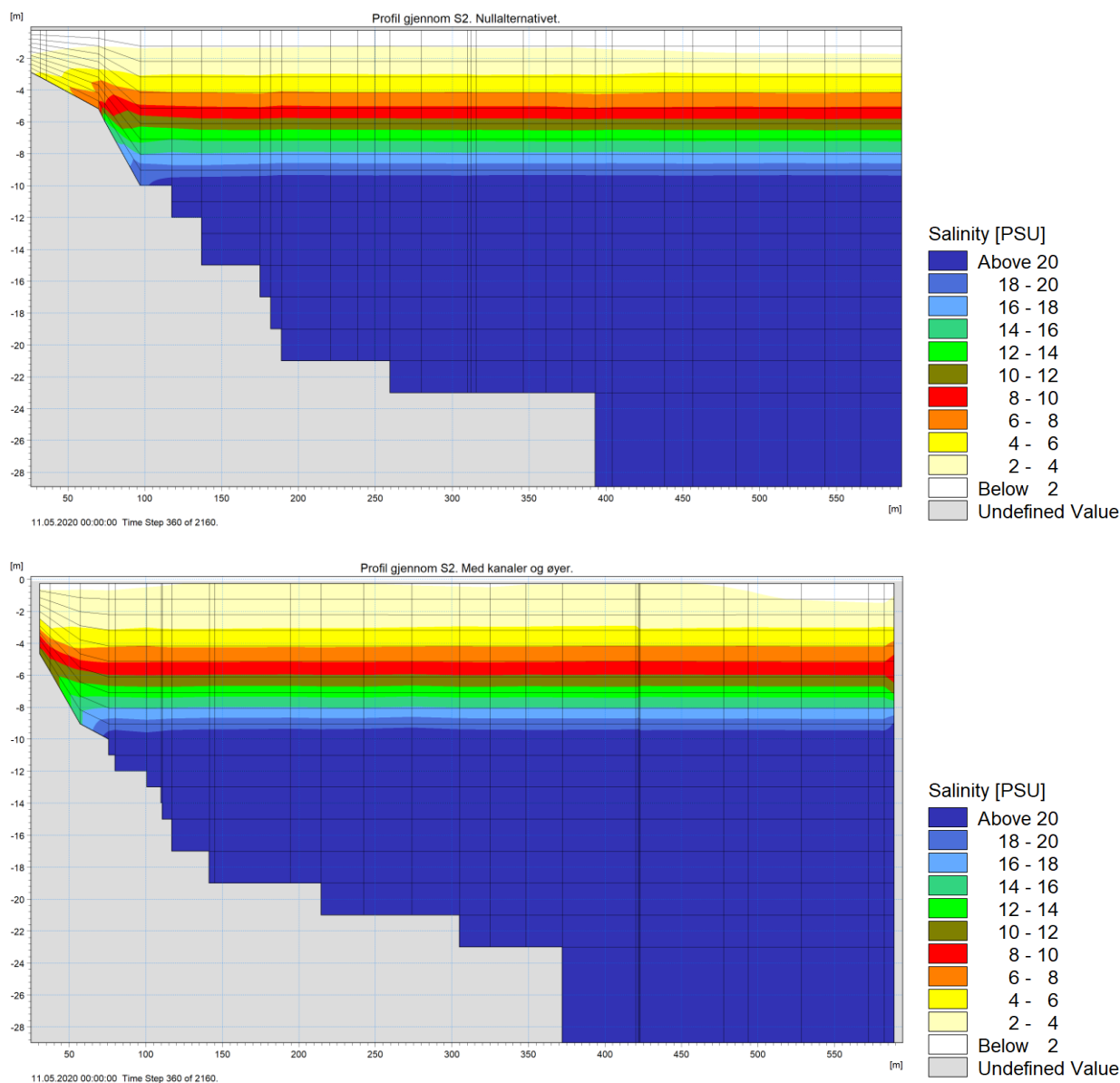
Figur 31 Differanse i Temperatur (topp) og saltholdighet (bunn) mellom nullalternativet og Kanal-A gjennom måleperioden

For å illustrere mulig påvirkning av den omtalte ferskvannskorridoren, er det plottet 3 snitt ut fra land som viser hvordan saltholdigheten varierer med dybde og avstand fra land (Se kart i Figur 31). To tidspunkt pr snitt er vist, og formålet er å sammenligne hydrografien i nullalternativet og kanalalternativet. Figur 33 - Figur 38 viser alle samme tendens; det er liten eller ingen endring i dybde på sprangsjiktet mellom nullalternativet og kanalalternativet. Isolinen på 10 psu ligger på om lag 6 m 11. mai og 8 m 20. juni. Det som avgjør saltholdigheten langs bunnen, er vanddybden. Dette betyr at man kan anta at områder med tilsvarende vanddyp før og etter tiltaket vil ha tilnærmet like forhold mhp temperatur og saltholdighet.

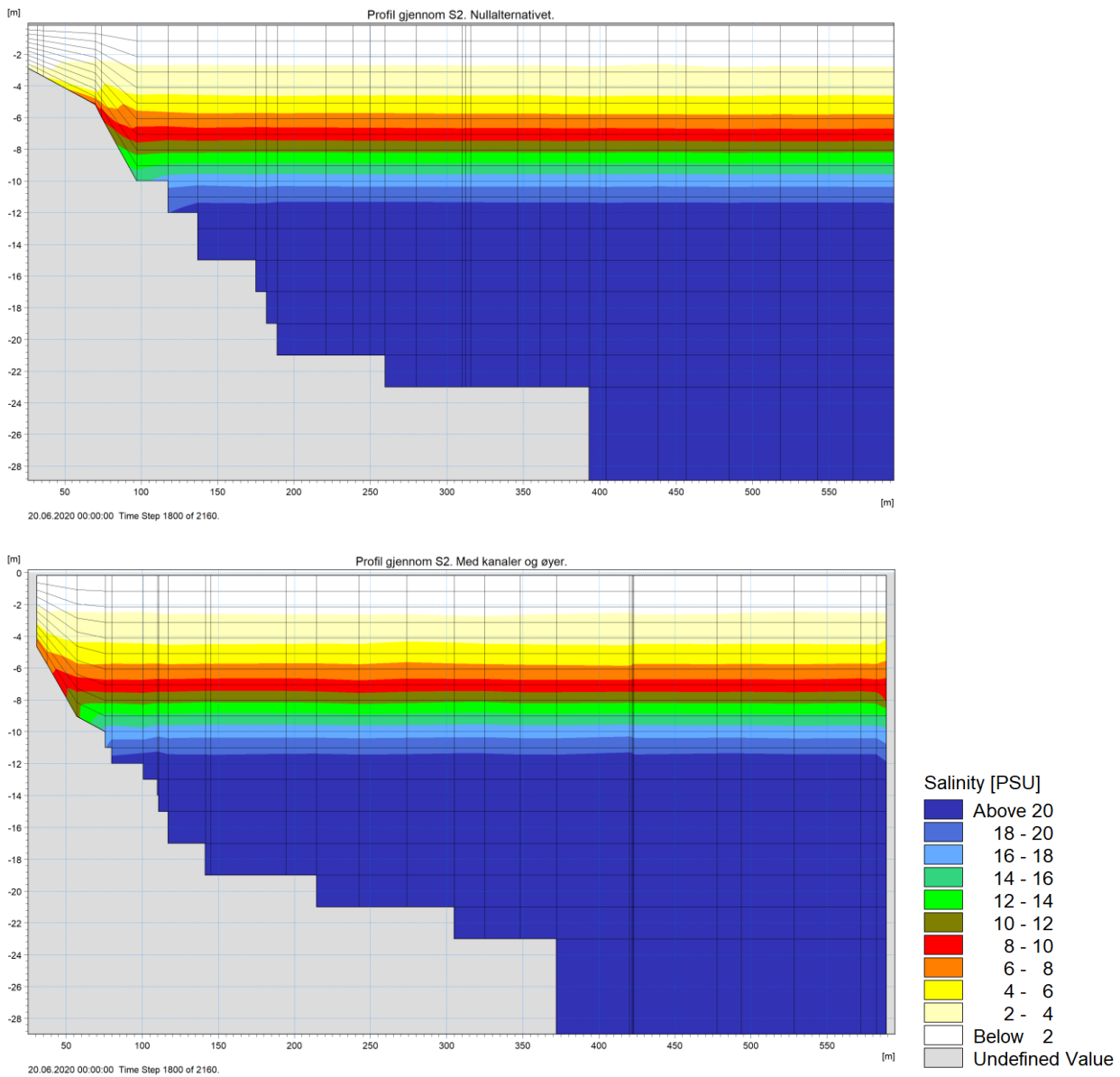
Figur 35 og Figur 36 som viser snitt gjennom S3 illustrerer at det planlagte gruntvannsområdet vil bli ganske ferskt. Figuren illustrer at prosjektet øker arealet der bunnen står i kontakt med (relativt) ferskt vann.



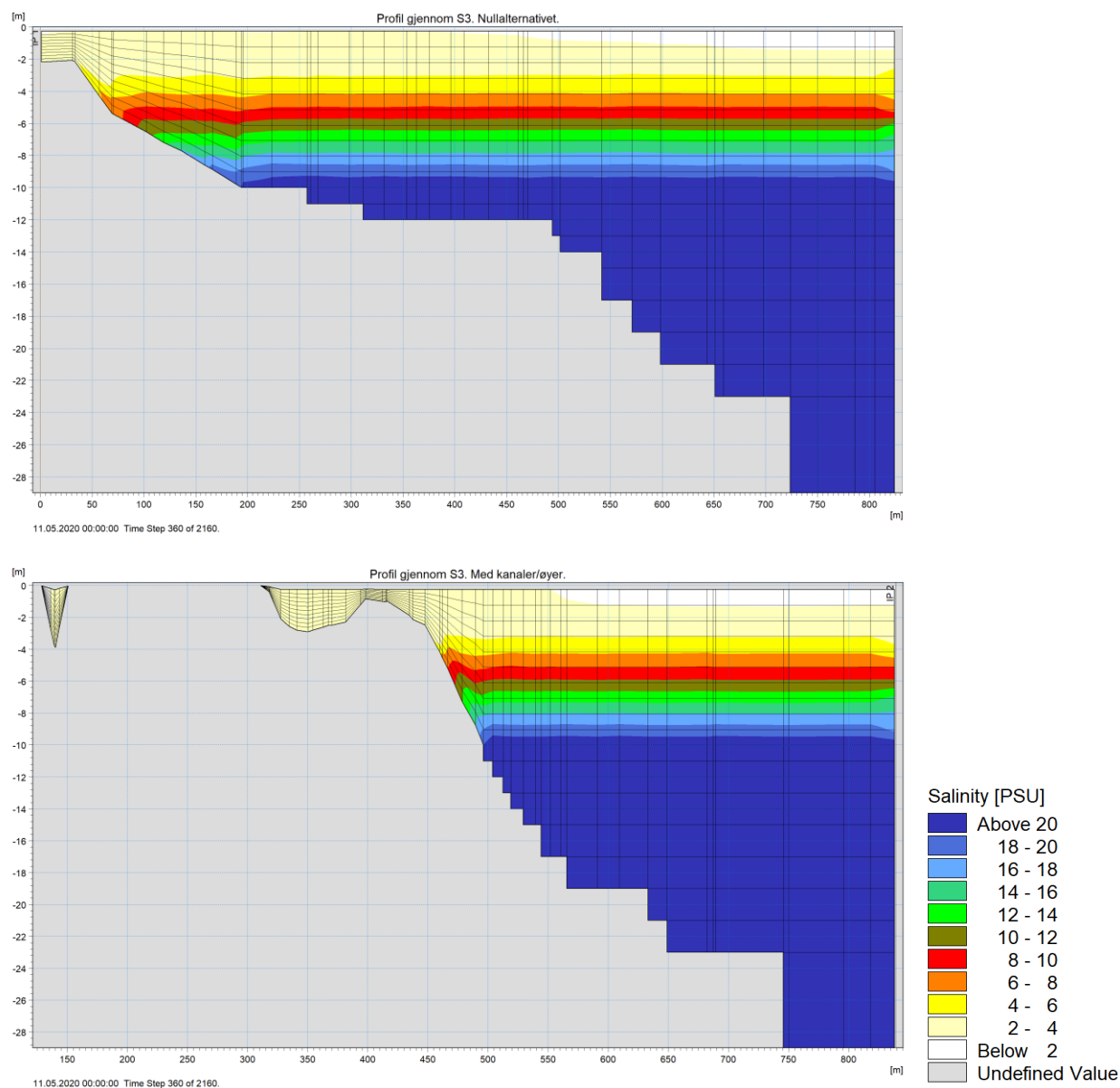
Figur 32 Kartet viser de tre snittene som det refereres til i Figur 33 til Figur 38



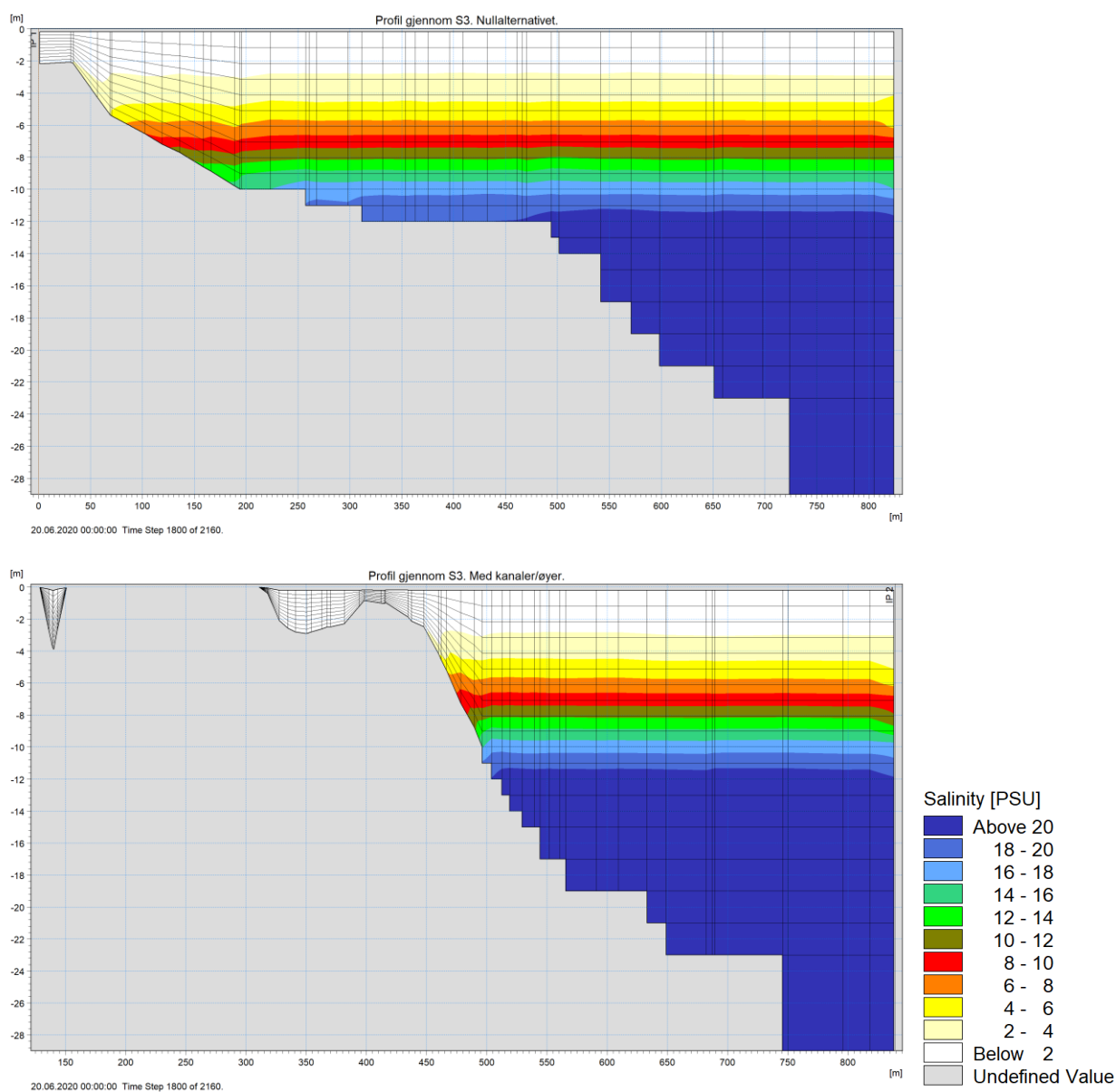
Figur 33 Snitt gjennom S2, 11. mai, som viser salinitet i vannsøyla for nullalternativet (øvre figur) og kanalalternativet (nedre figur). Dybde på y-aksen og avstand fra land på x-aksen



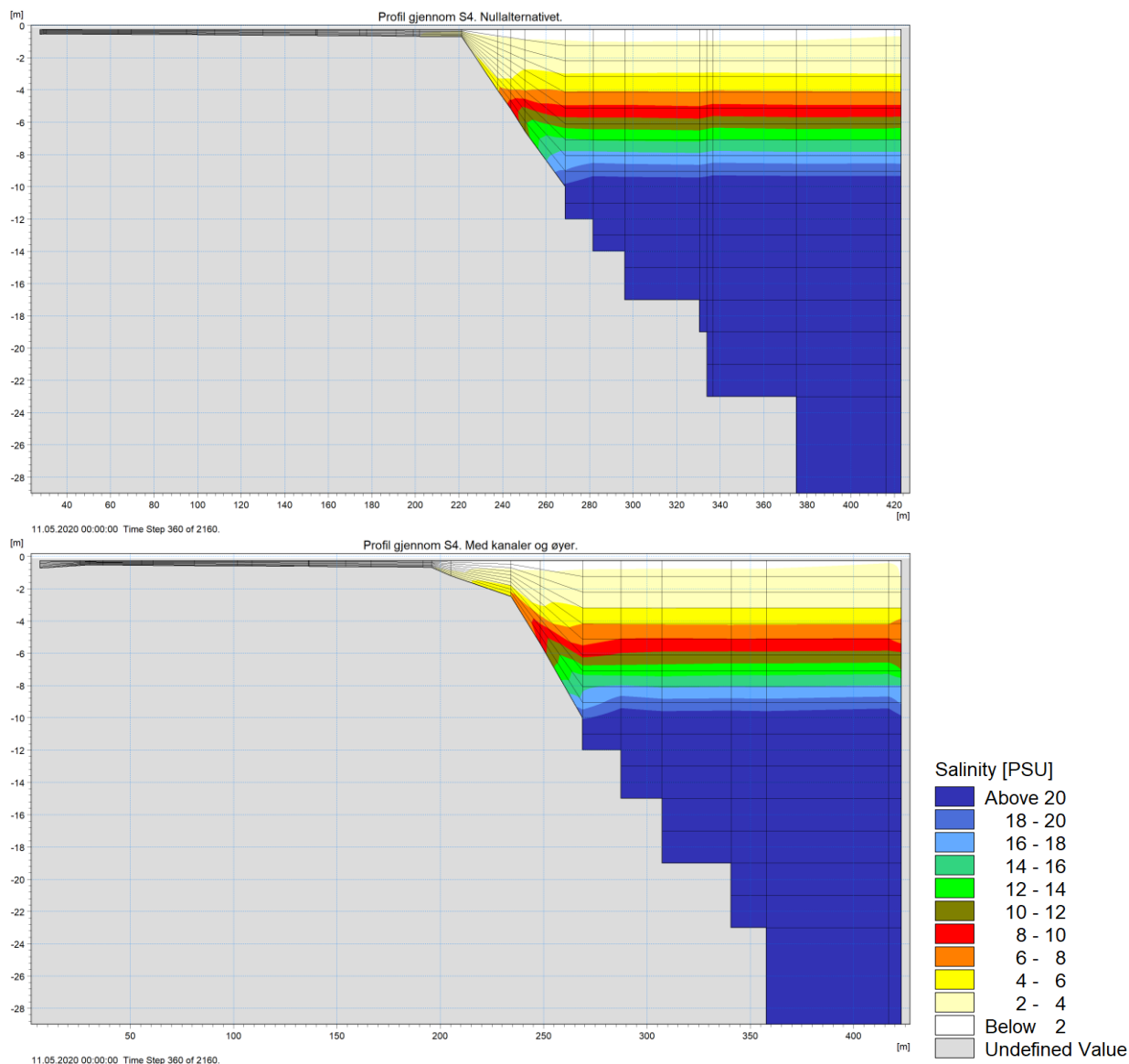
Figur 34 Snitt gjennom S2, 20. juni, som viser salinitet i vannsøyla for nullalternativet (øvre figur) og kanalalternativet (nedre figur). Dybde på y-aksen og avstand fra land på x-aksen



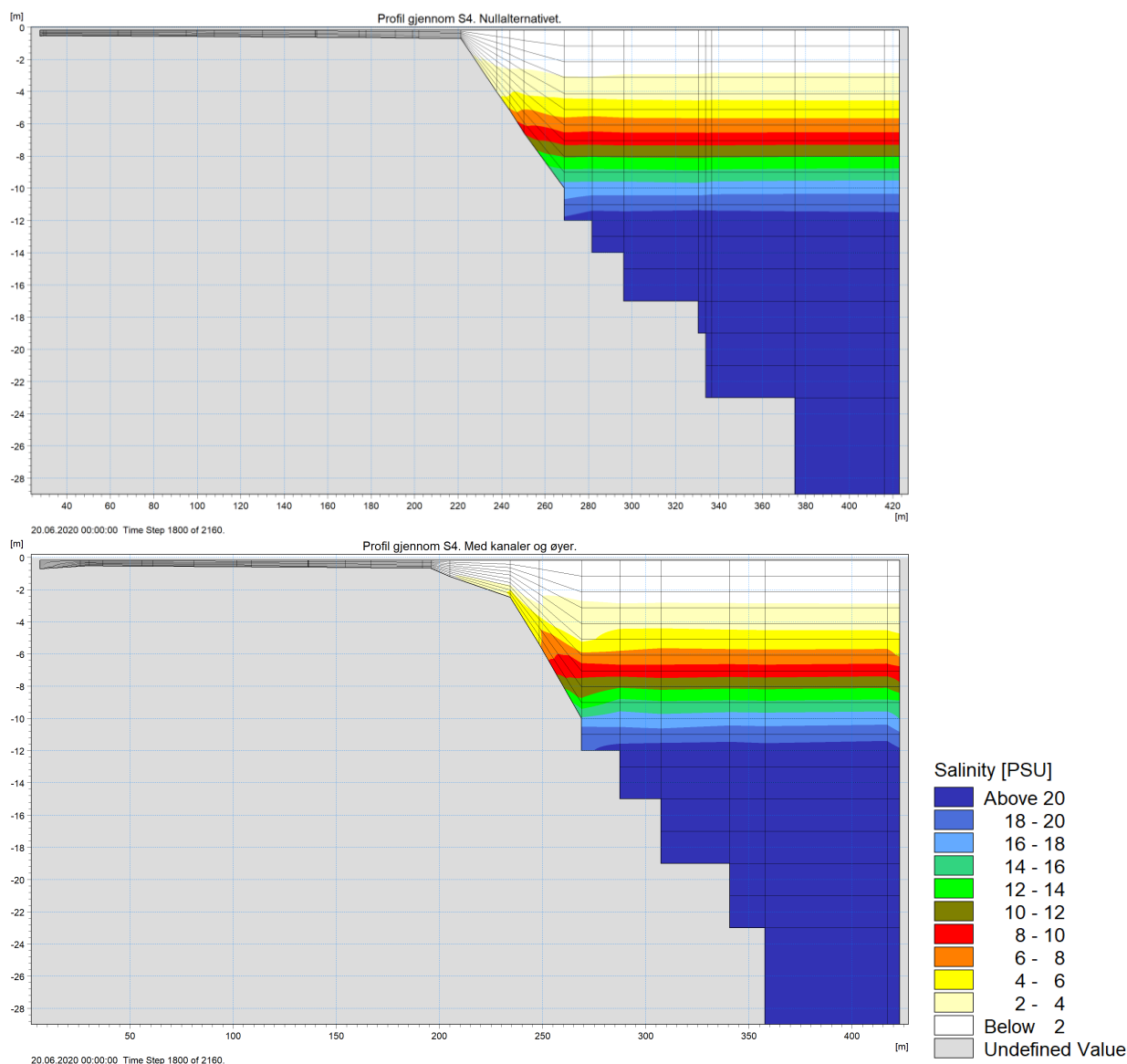
Figur 35 Snitt gjennom S3, 11. mai, som viser salinitet i vannsøyla for nullalternativet (øvre figur) og kanalalternativet (nedre figur). Dybde på y-aksen og avstand fra land på x-aksen



Figur 36 Snitt gjennom S3, 20. juni, som viser salinitet i vannsøyla for nullalternativet (øvre figur) og kanalalternativet (nedre figur). Dybde på y-aksen og avstand fra land på x-aksen



Figur 37 Snitt gjennom S4, 11. mai, som viser salinitet i vannsøyla for nullalternativet (øvre figur) og kanalalternativet (nedre figur). Dybde på y-aksen og avstand fra land på x-aksen



Figur 38 Snitt gjennom S4, 20. juni, som viser salinitet i vannsøyla for nullalternativet (øvre figur) og kanalalternativet (nedre figur). Dybde på y-aksen og avstand fra land på x-aksen

5.1.3 Opprinnelse av ferskvannet i Gilhusbukta.

For å kartlegge opprinnelsen av vannet i området rundt Gilhusbukta er det simulert et sporstofforsøk med tilsetning av stoff til alle tre ferskvannstilførsler (Lierelva, Bragernesløpet og Strømsløpet). Sporstoffene er tilsatt i en konsentrasjon på 1000 mg/l over en varighet av 24 timer. Det skilles altså også mellom «nytt» elvevann som er tilsatt sporstoff, og ferskvann som allerede var i fjorden før tilsetningen begynte. For «gammelt ferskvann» skilles altså ikke mellom ulike herkomst.

Figur 39 viser konsentrasjonen av sporstoff som et gjennomsnitt for hele Gilhusbukta. Simuleringen gjelder for Nullalternativet, start 11.mars. Sporstoffet fra Bragernesløpet er klart dominerende, med en maks-konsentrasjon på litt over 200 mg/l. Når den mest konsentrerte stofffronten treffer Gilhusbukta, har den altså blitt fortynnet i forholdet 1:5 (NB: «rent vann» kan godt stamme fra Bragernesløpet, men ikke fra de siste 24 timer). Sporstoffet fra Strømsløpet er tilstede med mindre enn 40 mg/l; Strømsløp-vannet blir altså fortynnet med mer enn 25 ganger før det havner i Gilhusbukta. Dette er påfallende med tanke på at vannføringen ut Strømsløpet er ti ganger så stor

som den ut Bragernesløpet. Videre ser man svært lite tilstedeværelse av sporstoff fra Lierelva. Nærheten til Lierelvas utløp oppveies åpenbart av den beskjedne vannføringen. Ferskvannet i og nær Gilhusbukta er altså klart dominert av vann fra Bragernesløpet.

Som supplement viser Figur 40 konsentrasjonen i et enkelt punkt og i tre ulike dybder: 1m, 3m og 10m. Fremstillingen gjelder kun stoff fra Bragernesløpet. Figuren viser at konsentrasjonen avtar med økende dybde, hvilket samsvarer med at sporstoffet er sluppet ut i ferskvann og derfor «fanget» i de øvre lagene.

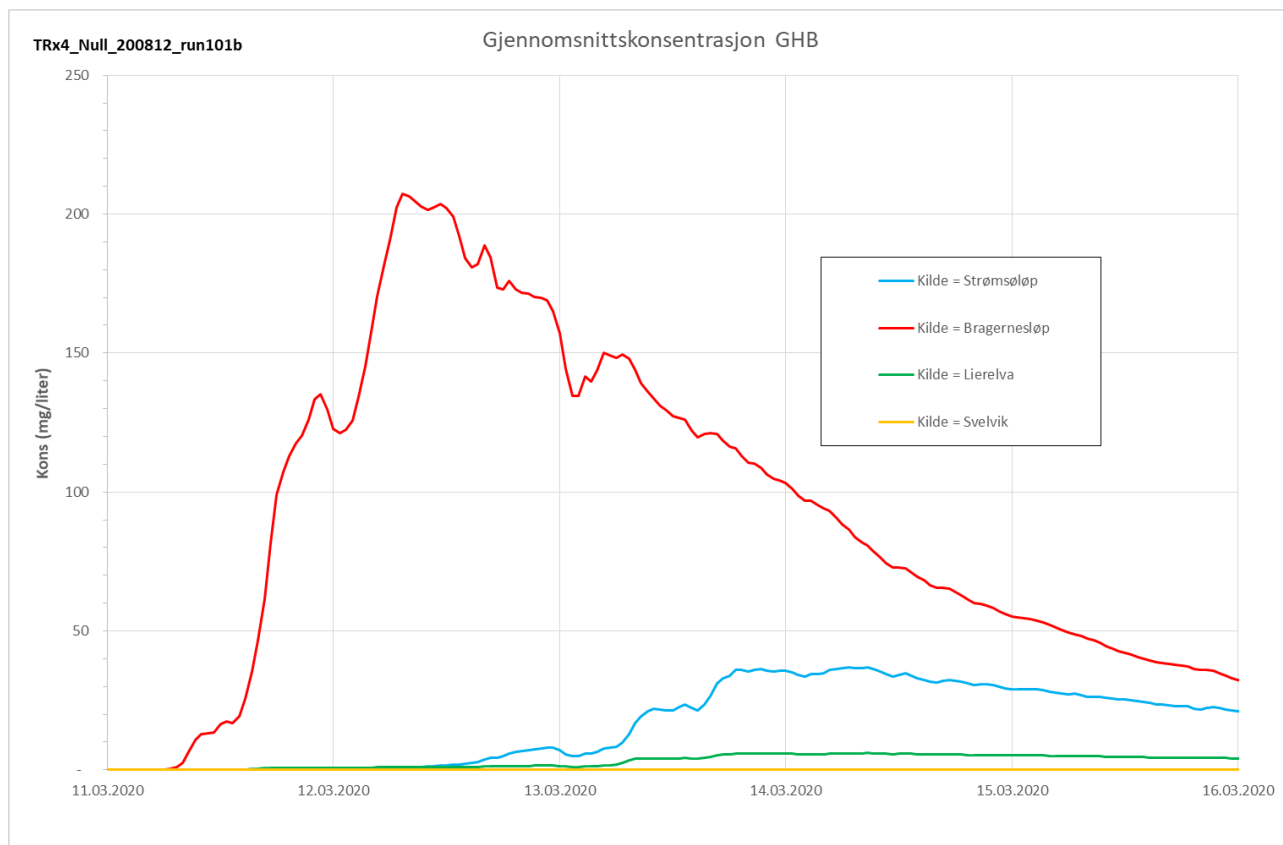
Figur 41 viser det tilsvarende bilde, men for Kanal-A simuleringen. Bildet viser et konsentrasjonsforløp som er noe mer utjevnet over tid, og konsentrasjonene i de to dybdene (1 og 3 m) er tilnærmet like; dette avspeiler at det er god vertikal miksing i kanalene. Med hensyn til konsentrasjonens størrelse, ligger nivået på en «mellomstørrelse» mellom verdiene i de to respektive dybdene, i Nullalternativet, hvilket også avspeiler økt miksing.

Figur 42 viser øyeblikksbilder av sporstoffkonsentrasjon og illustrerer hvordan vannet fra Bragernesløpet beveger seg over tid. Fortynning større enn 10 x, tilsvarende konsentrasjon < 100 mg/l, er vist som fargeløs.

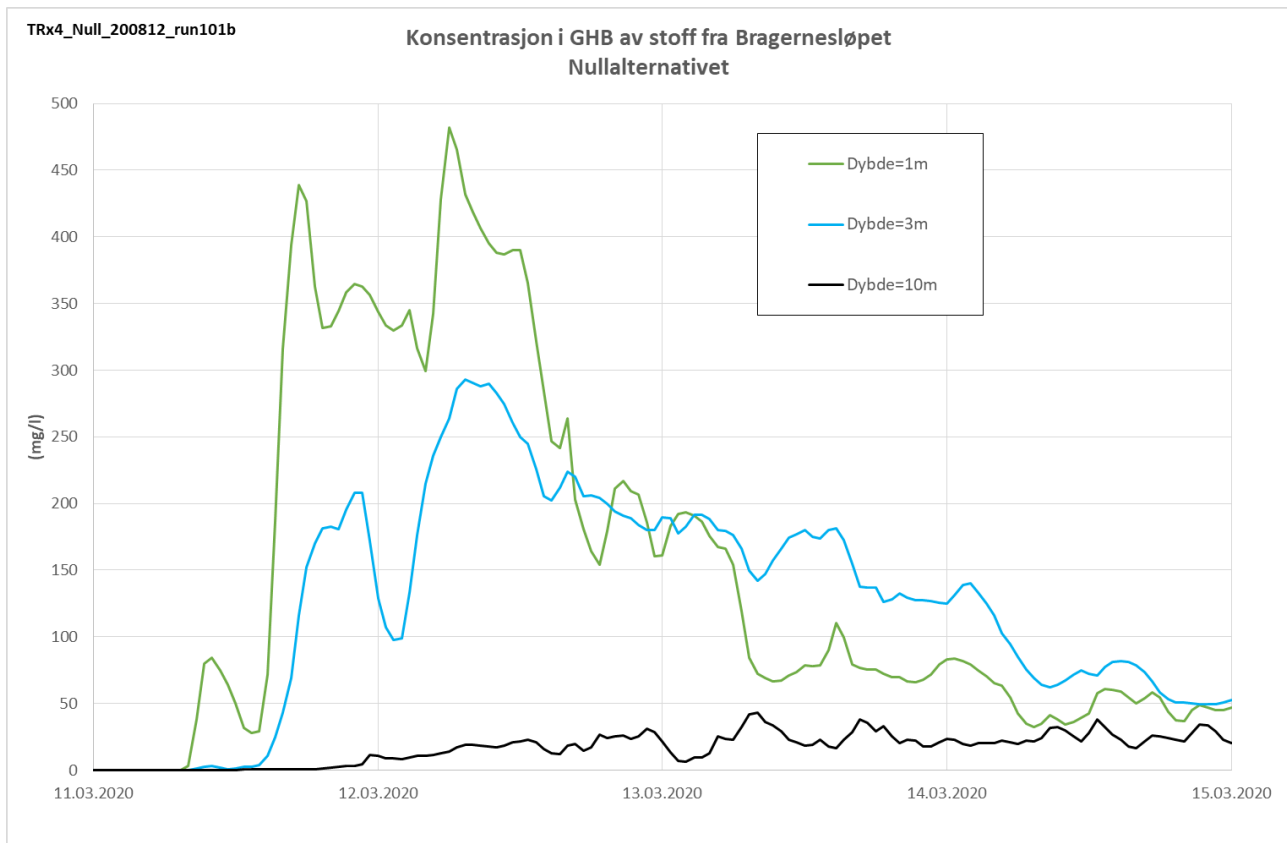
Figur 43 viser de tilsvarende bildene for sporstoff fra Lierelva. Til sammen illustrerer de to figurene hvordan Bragernesløp-vann presser vannet fra Lierelva inn mot fjordens østbredde og så å si blokkerer det fra å strømme mot Gilhusbukta.

Figur 43 viser sporstoff fra Strømsløpet. På tross av at vannføringen utgjør rundt 90% av ferskvannstilførselen, er det i bemerkelsesverdig grad fraværende i den nordligste del av fjorden, som helt domineres av Bragernes-vannet.

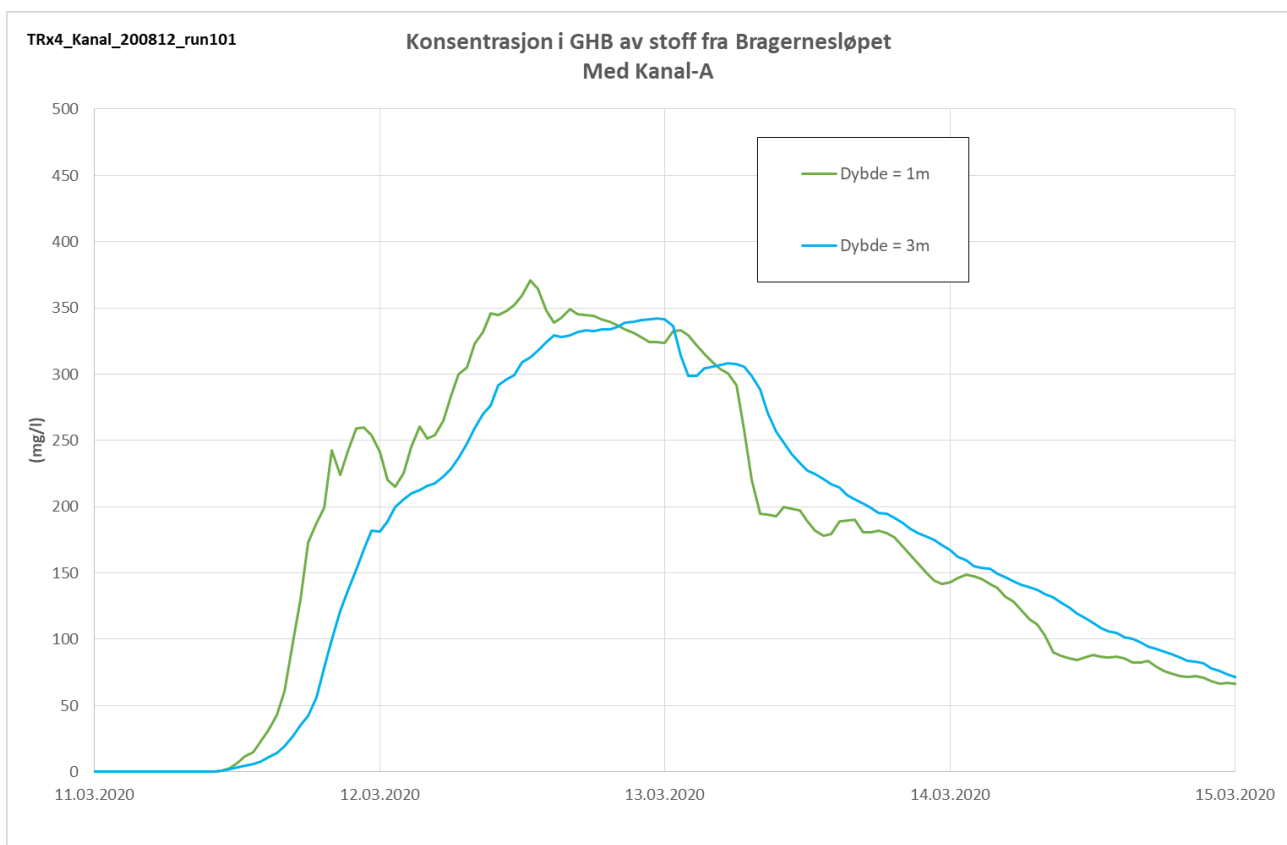
Det tas forbehold for at det beskrevne strømningsmønsteret kun er beregnet for én periode og det kan ikke utelukkes at strømningsmønsteret i en annen periode vil avvike noe fra det beskrevne.



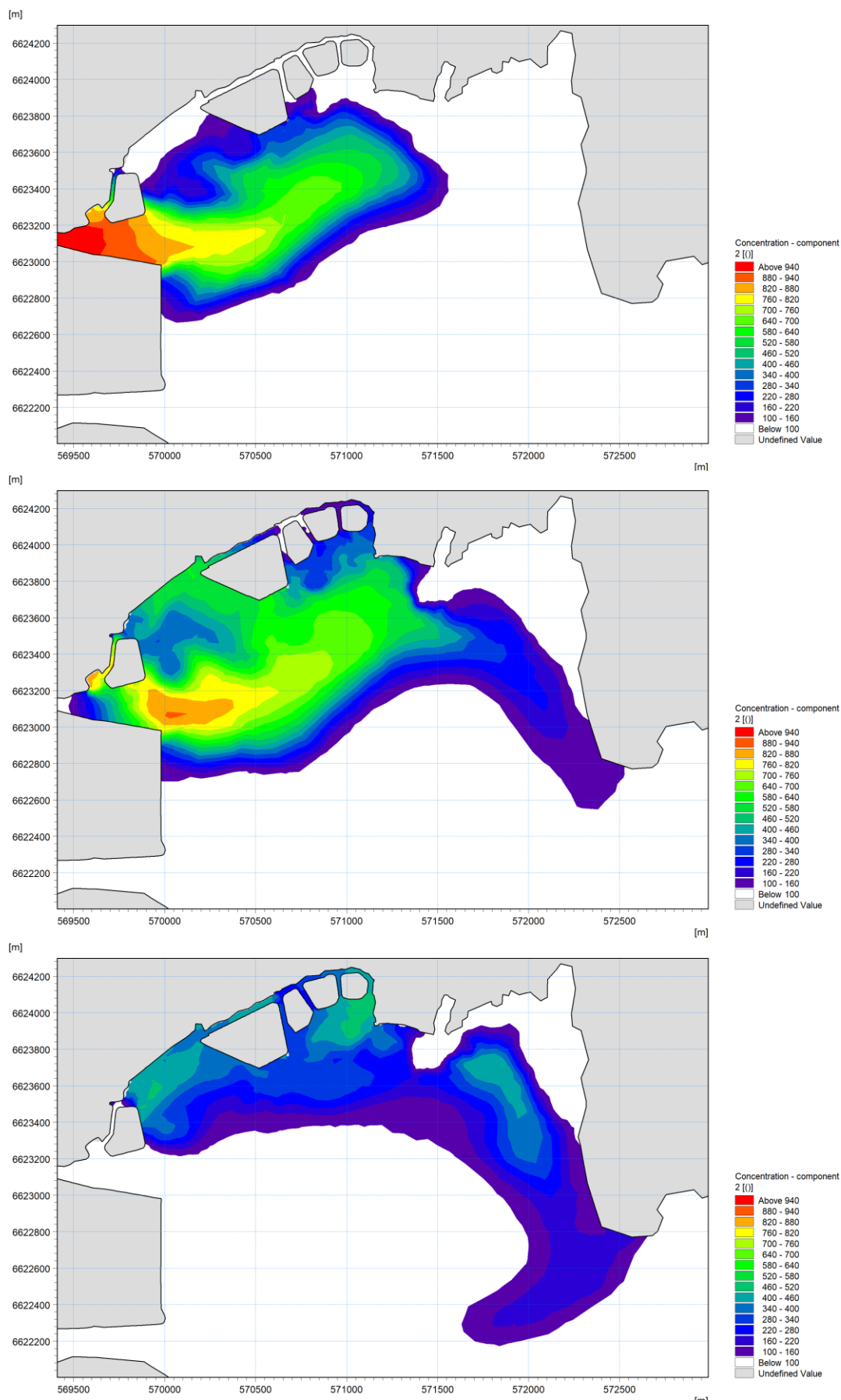
Figur 39 Stofftransport fra tre ferskvannstilførseler. Gjennomsnitt for hele Gilhusbukta.



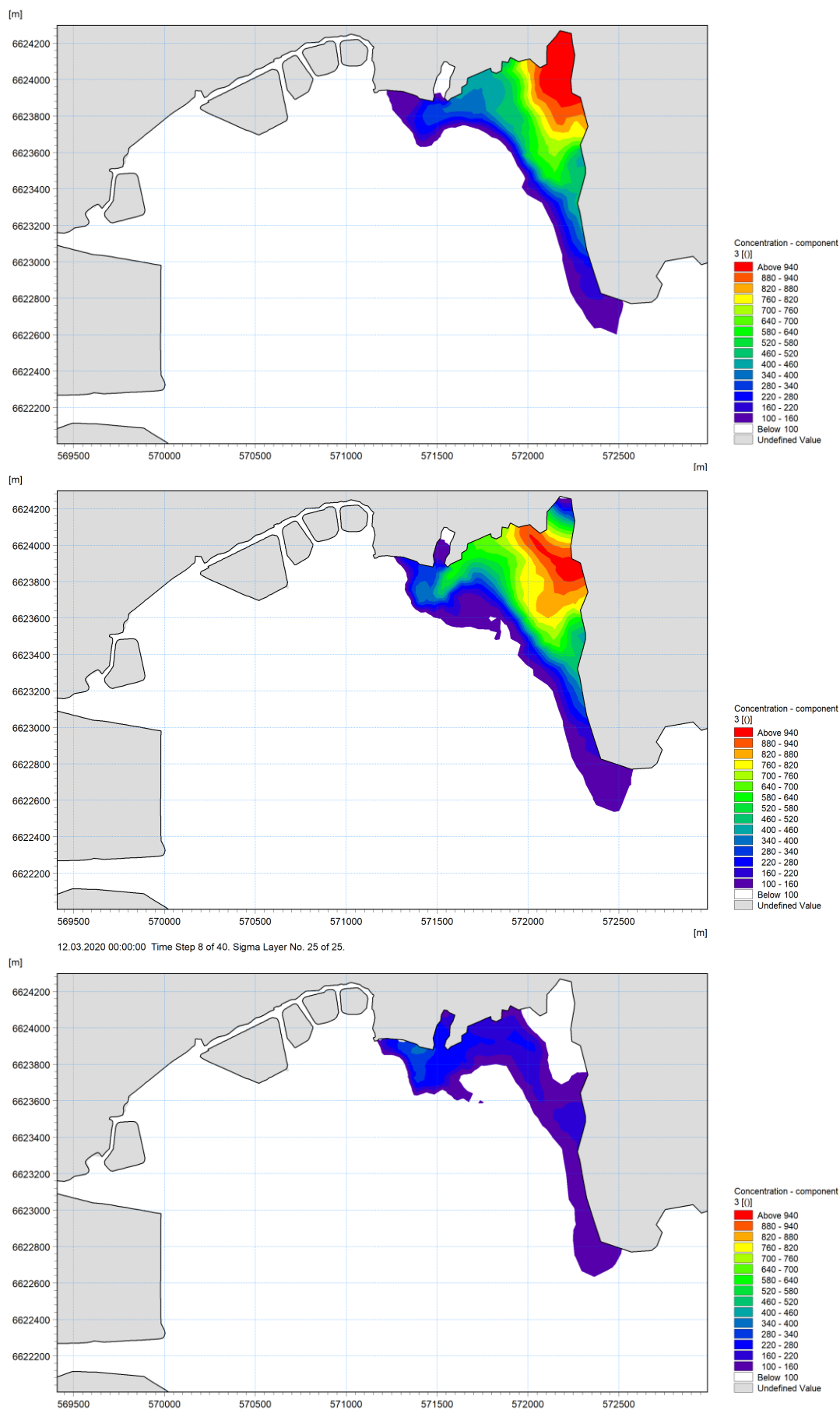
Figur 40 Stofftransport fra Bragernesløpet, målt i Gilhusbukta. Nullalternativet.



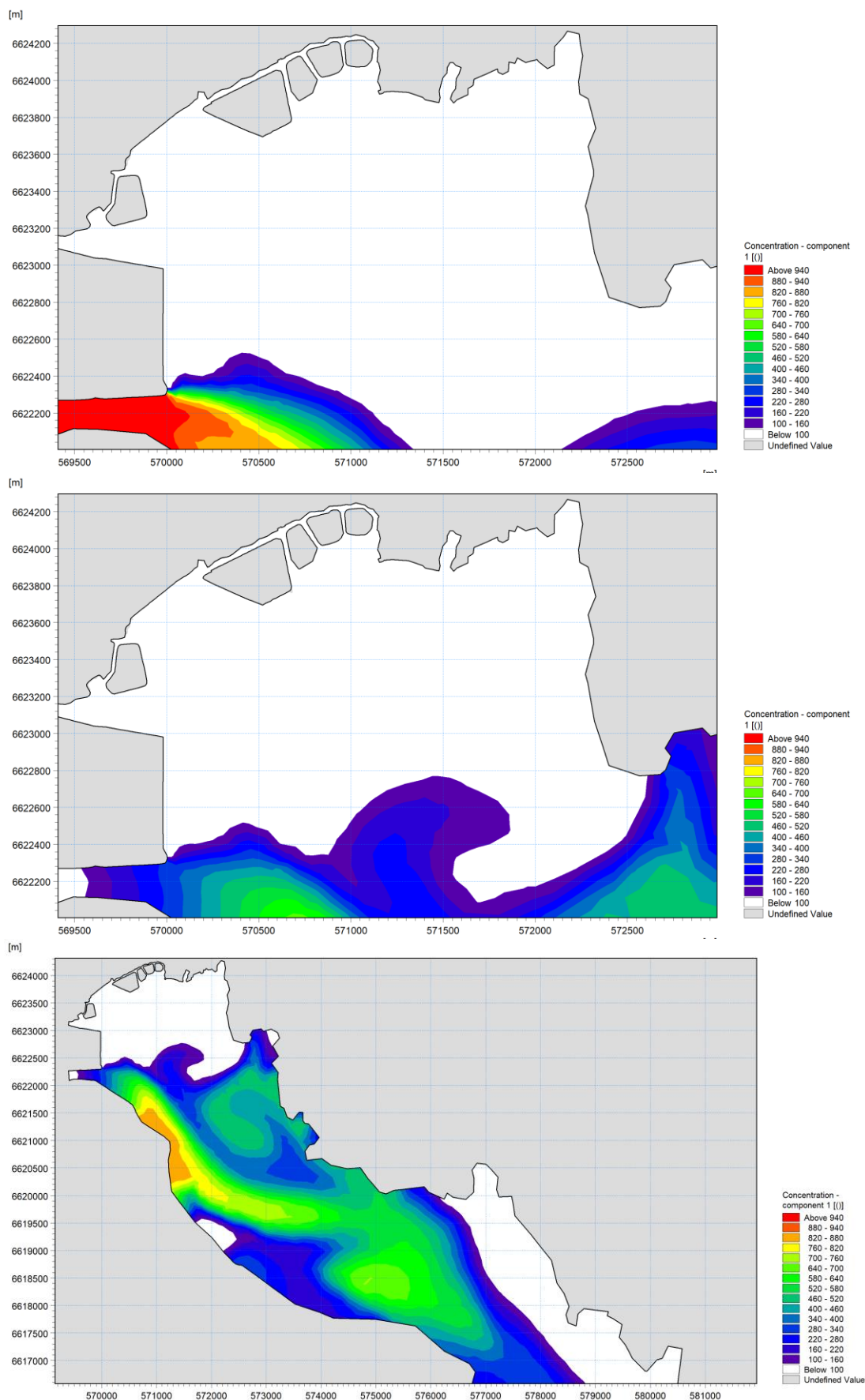
Figur 41 Stofftransport fra Bragernesløpet, målt i Gilhusbukta. Kanal A.



Figur 42 Sporstoffkonsentrasjon fra Bragernesløpet etter 12, 24 og 36 timer. Utslipp varer 24h.



Figur 43 Sporstoffkonsentrasjon fra Lierelva etter 12, 24 og 36 timer. Utslipp varer 24h.



Figur 44 Sporstoffkonsentrasjon fra Strømsøsløpet etter 12 og 24 timer (de to øverste bildene). Nederste bildet er også etter 24t, men noe utzoomet.

5.2 Vannutskiftingning i kanalene i Gilhusbukta

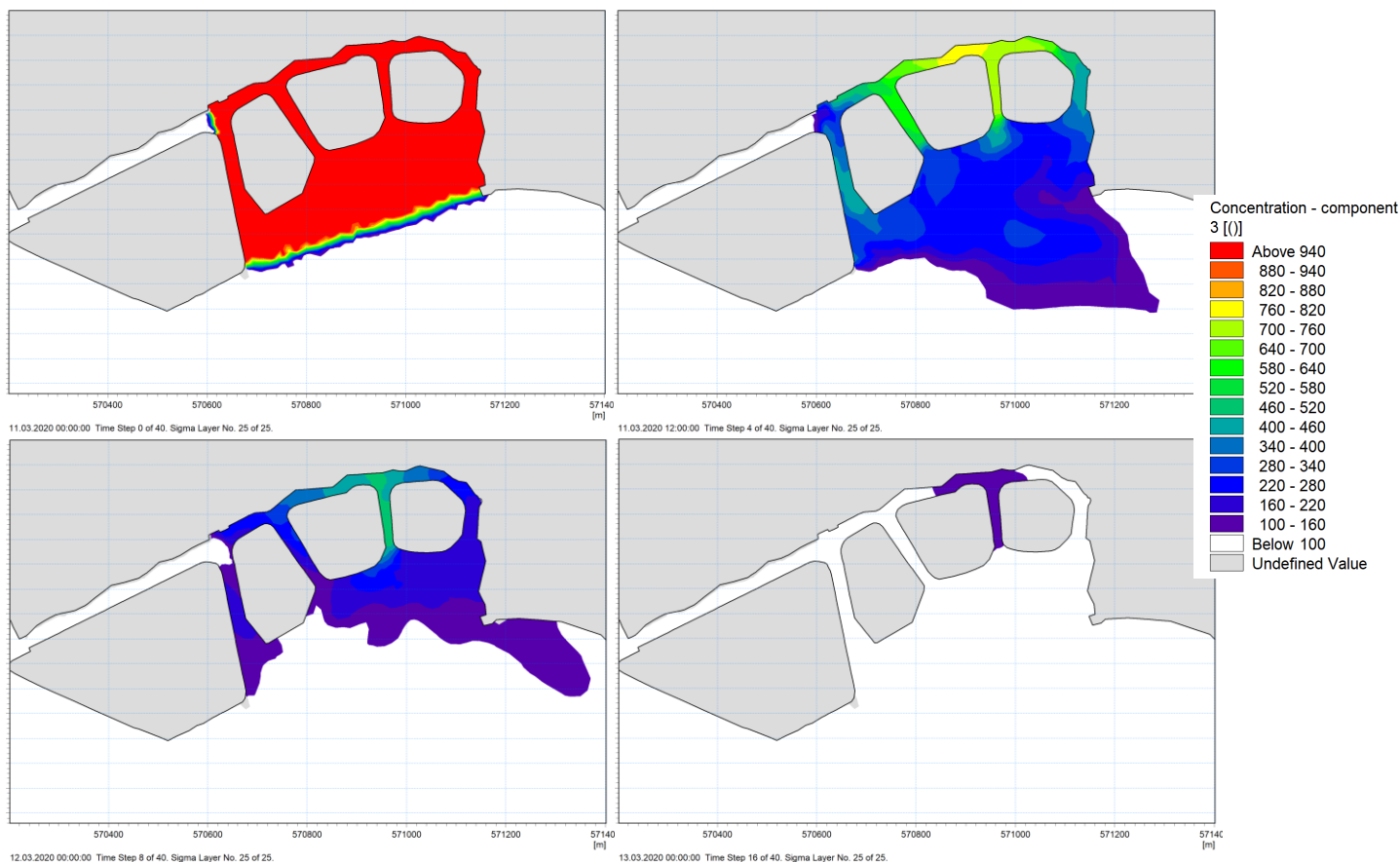
5.2.1 Gjennomsnittlig utskiftingstid

Utvaskingssimuleringene er alle kjørt med en initialkonsentrasjon på 1000 mg/l i Gilhusbukta (inkl. gruntvannsområdet). Vannutskiftingen i Gilhusbukta er kvantifisert ved å måle tidsrommet frem til at 90% av stoffet er vasket ut av Gilhusbukta, altså til at gjennomsnittlig konsentrasjonen er redusert til 100 mg/l. Hver simulering er kjørt i fem døgn; det er simulert for seks ulike startdatoer i tidsrommet mars-juni (datoene er vist i Tabell 5).

Figur 45 viser fire øyeblikksbilder av utvaskingen fra Gilhusbukta. Hvit farge symboliserer $C < 100$ mg/l. Kriteriet med 90% utvasking svarer dermed til grensen mellom lilla og hvit farge. Man ser at etter 48 timer er konsentrasjonen under 100 mg/l i det meste av Gilhusbukta, og bare i et lite område nordøst opptrer det fortsatt konsentrasjoner på rundt eller over 100 mg/l. I det etterfølgende vil man kun fokusere på *gjennomsnittskonsentrasjonen* for hele Gilhusbukta, for å forholde seg til tall som er mindre følsomme for tilfeldigheter.

Figur 46 viser hvordan konsentrasjon avtar over tid for Kanal-A (standardprosjektet). Figuren illustrerer hvordan utvaskingen varierer en del mellom de seks periodene. Tiden til utvasking av 90% varierer fra litt over ett døgn (start 11/5) til 39 timer (start 11/3). Figur 47 viser de samme kurvene men med logaritmisk vertikalakse, hvilket gjør det lettere å skille kurvene fra hverandre. Merk at kurvene tilnærme seg følger en rett linje i semi-log plotting, hvilket avspeiler tilnærmet eksponentiell reduksjon.

Figur 48 viser utvaskingen for én og samme periode (start 11/3), men for alle fem kanal-alternativer. Tiden til 90% utvasking varierer fra 32 timer (Kanal C) til 51 timer (Kanal D).



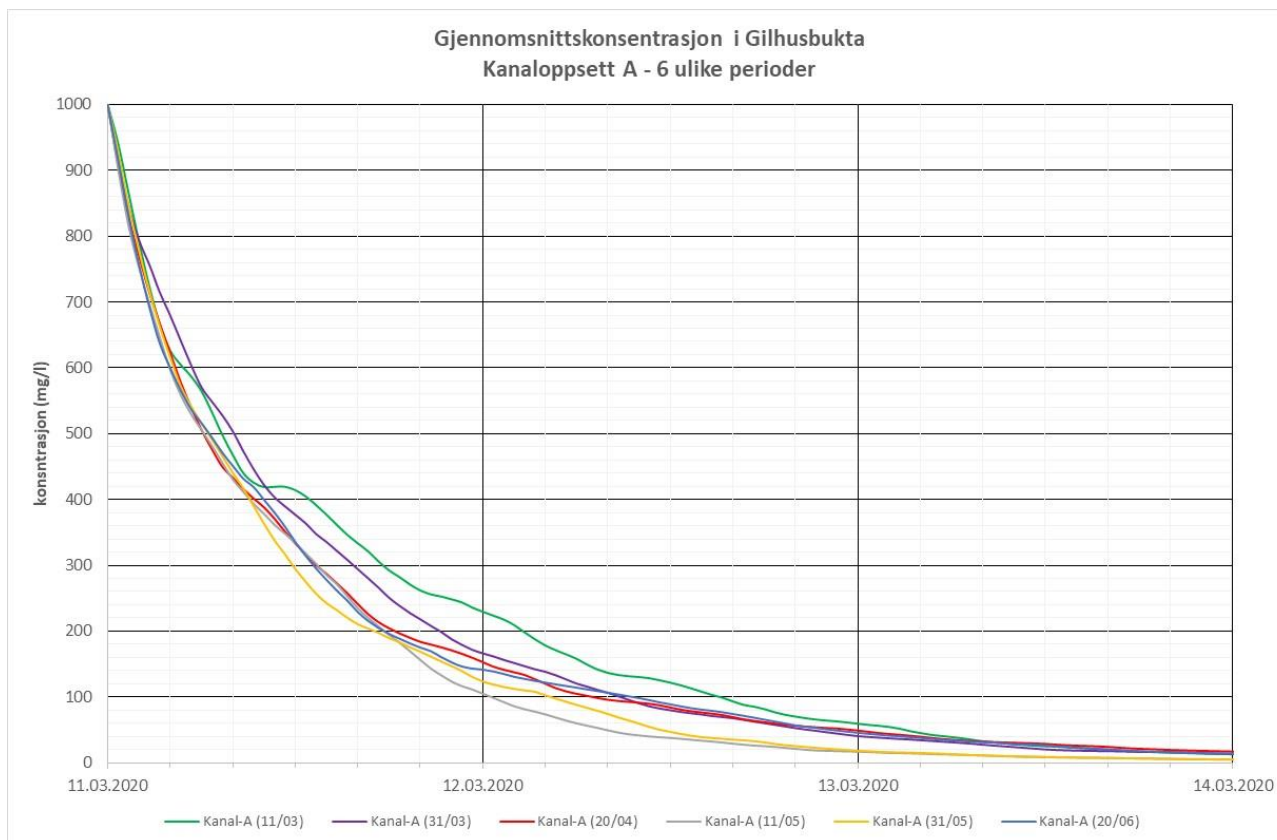
Figur 45 Utvasking av stoff fra Gilhusbukta. Stoffkonsentrasjon etter 0, 12, 24 og 48 timer (fra venstre mot høyre og oppefra ned). Simulering av Kanal-A, startdato 11. mars.

Resultatene mht 90% utvasking er oppsummert i Tabell 11 for alle fem kanalalternativer og seks startdatoer. Tallene i tabellen er også illustrert grafisk i Figur 50 og Figur 51. Følgende trekk kan observeres:

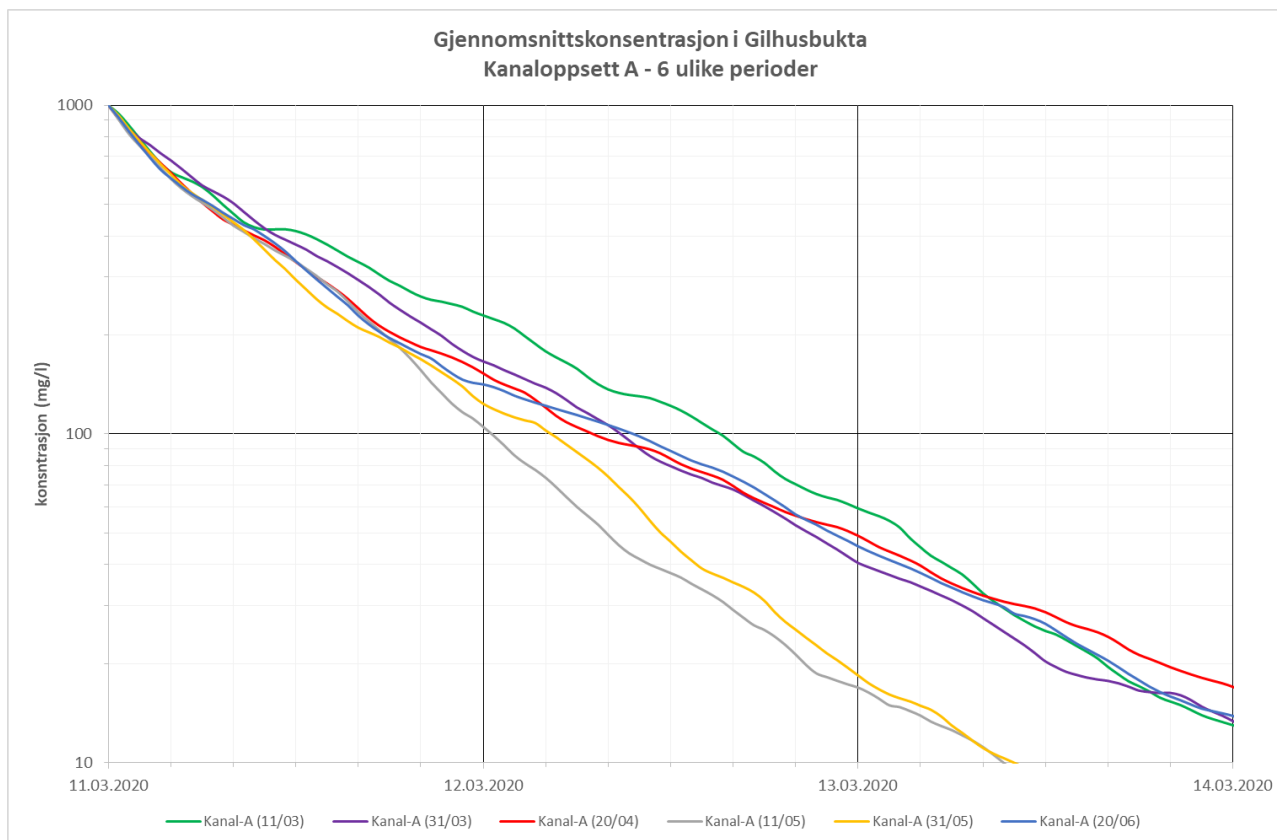
- For A-alternativet er utvaskingstiden 32 timer, som gjennomsnitt av de seks periodene. I Nullalternativet er utvaskingstiden 82 timer, altså 2,5 ganger lengre.
- Kanal-B: Sammenlignet med A-alternativet, gir stengning av Odden-kanalen (Alternativ B) en liten økning av utvaskingstiden, 7%. Dette stemmer med forventningene.
- Kanal-C: Kanalisering gjennom gruntvannsområdet (Alternativ C) gir en liten reduksjon av utvaskingstiden, 11%. Dette stemmer med forventningene.
- Kanal-D: Øking av kanaldybden til flat bunn = 4m (Alternativ D) gir også en liten reduksjon i utvaskingstiden, 9%. Man hadde ikke her forventninger til hvilken vei tiltaket ville slå ut.
- Kanal-E: En kombinasjon av alternativene C og D gir en økning av utvaskingstiden, 13%. Gitt at både C og D medfører en redusert utvaskingstid, er det overraskende at kombinasjonen av dem slår ut med langsommere utvasking.
- Innenfor hvert enkelt alternativ kan utvaskingstiden variere betydelig mellom de seks periodene. Eksempelvis: stengning av Odden-kanalen øker utvaskingstiden med 7% som gjennomsnitt for de seks periodene. Men dette gjennomsnittstallet dekker over en variasjon fra en øking på 17% til en reduksjon på 2%.

Tabell 11 Utvaskingstid for 90% av stoff fra Gilhusbukta (timer). Fargetonene illustrerer tallverdiens numeriske plassering innenfor samme kanalalternativ (altså samme tabellrad): grønn=minst, rød= størst. Nederste rad viser gjennomsnitt av 5 kanalalternativer, altså uten Nullalternativ.

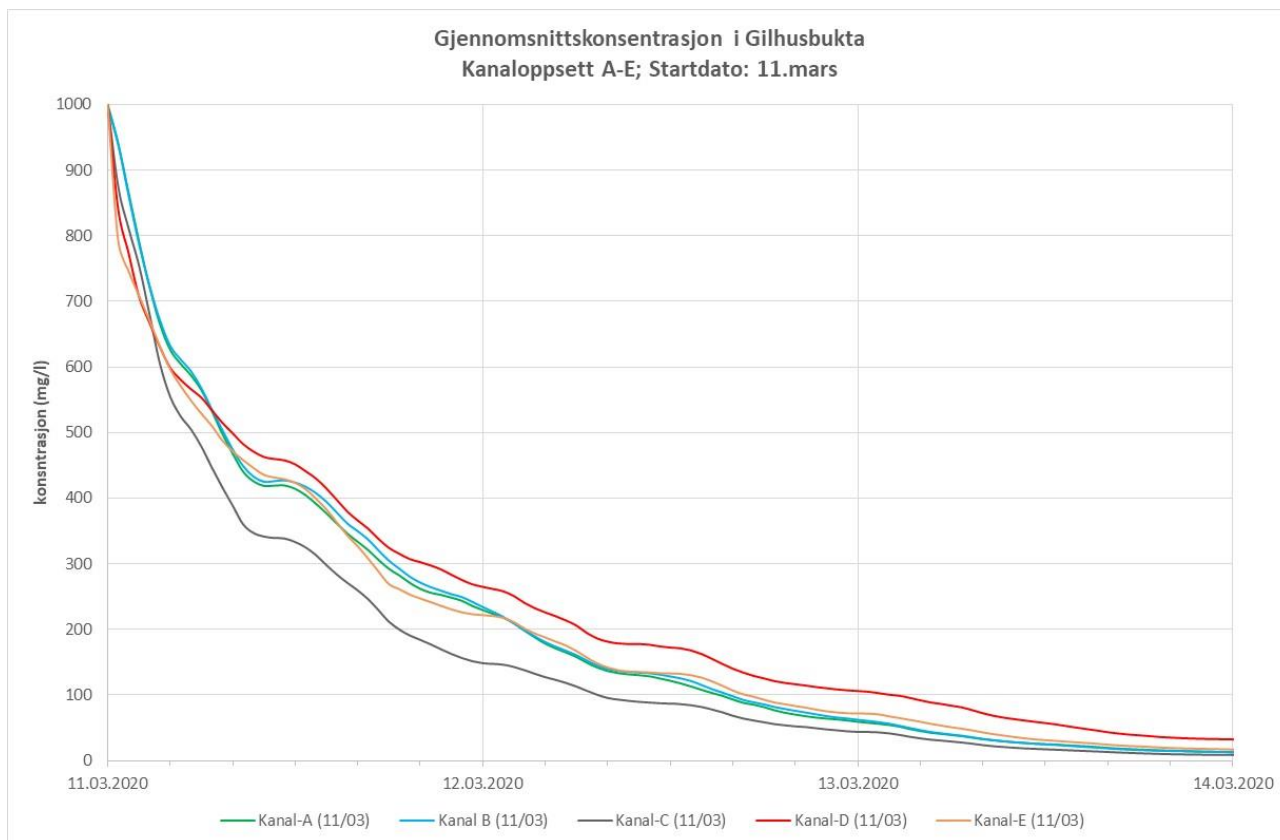
Scenario		Utvaskingstid for 90% av stoff fra Gilhusbukta [timer]						Gjsn.
		Starttidspunkt						
		11.mar	31.mar	20.apr	11.mai	31.mai	20.jun	
Nullalternativ		73	75	75	79	87	105	82.3
Kanal-A		39	33	31	25	29	34	31.9
Kanal-B	Odden-kanal	40	35	37	27	31	33	33.9
Kanal-C	Kanalisering	32	29	24	27	27	31	28.4
Kanal-D	Flat bunn (4m)	51	25	25	23	29	21	29.1
Kanal-E	C+D	41	35	34	39	25	39	35.4
Gj.snitt		40.7	31.6	30.3	28.1	28.3	31.6	31.8



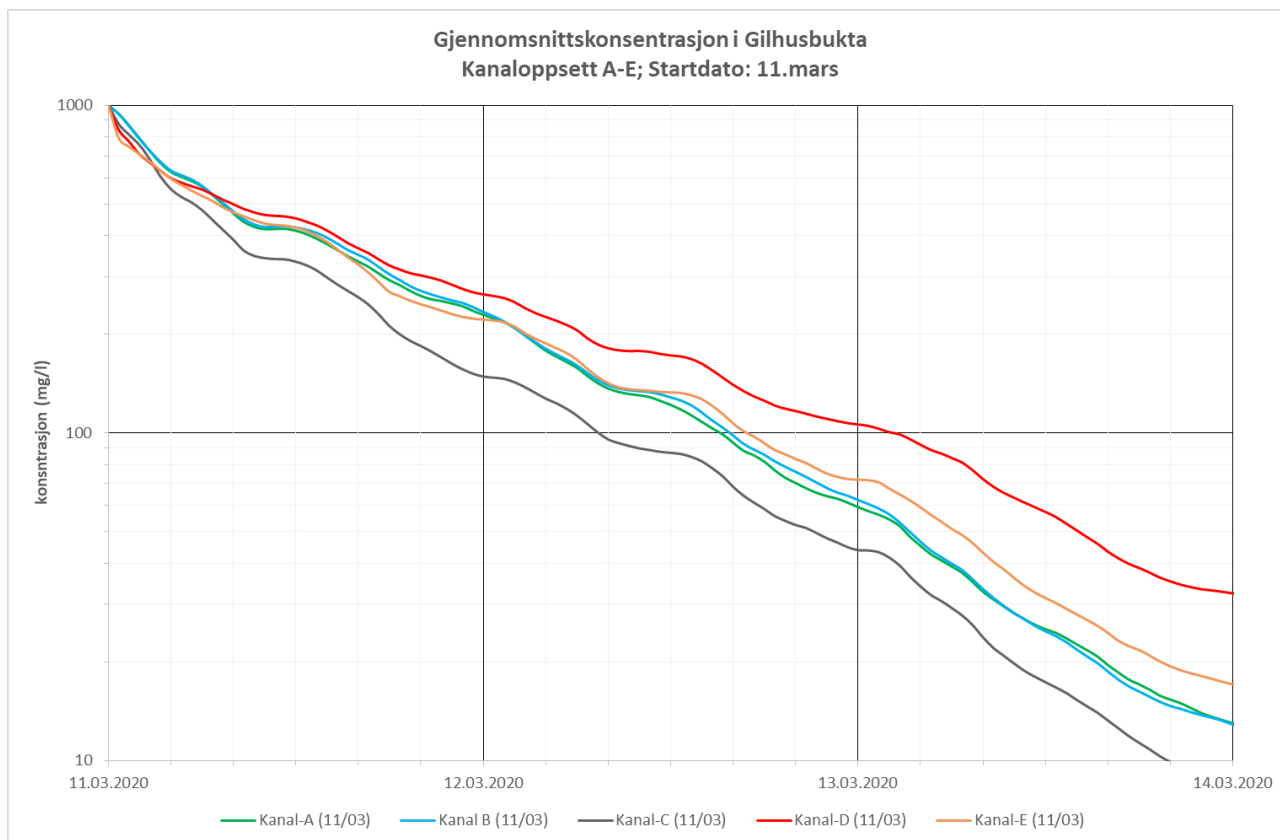
Figur 46 Stoffkonsentrasjon i Gilhusbukta under utvasking. Kanaloppsett A. Ulike startdatoer.



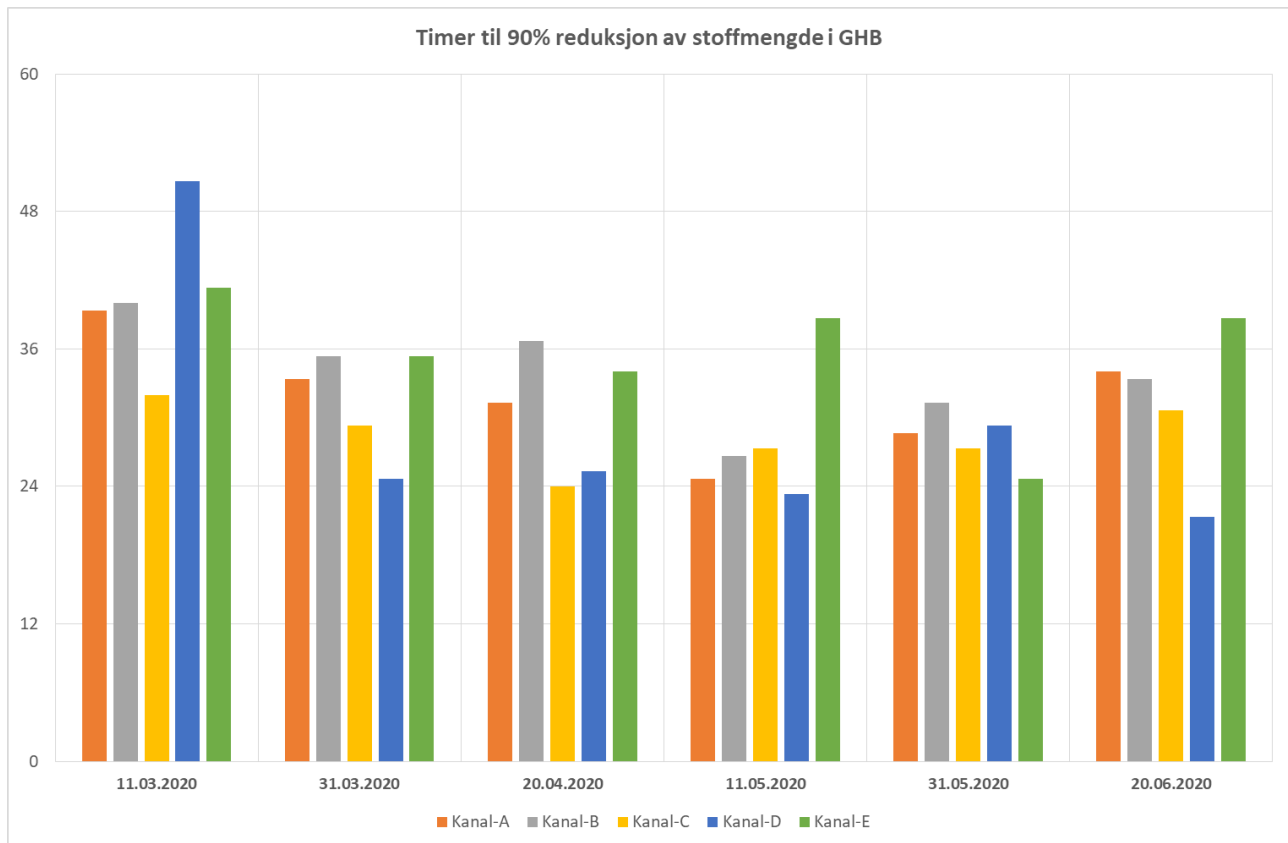
Figur 47 Samme data som over (logaritmisk vertikalakse).



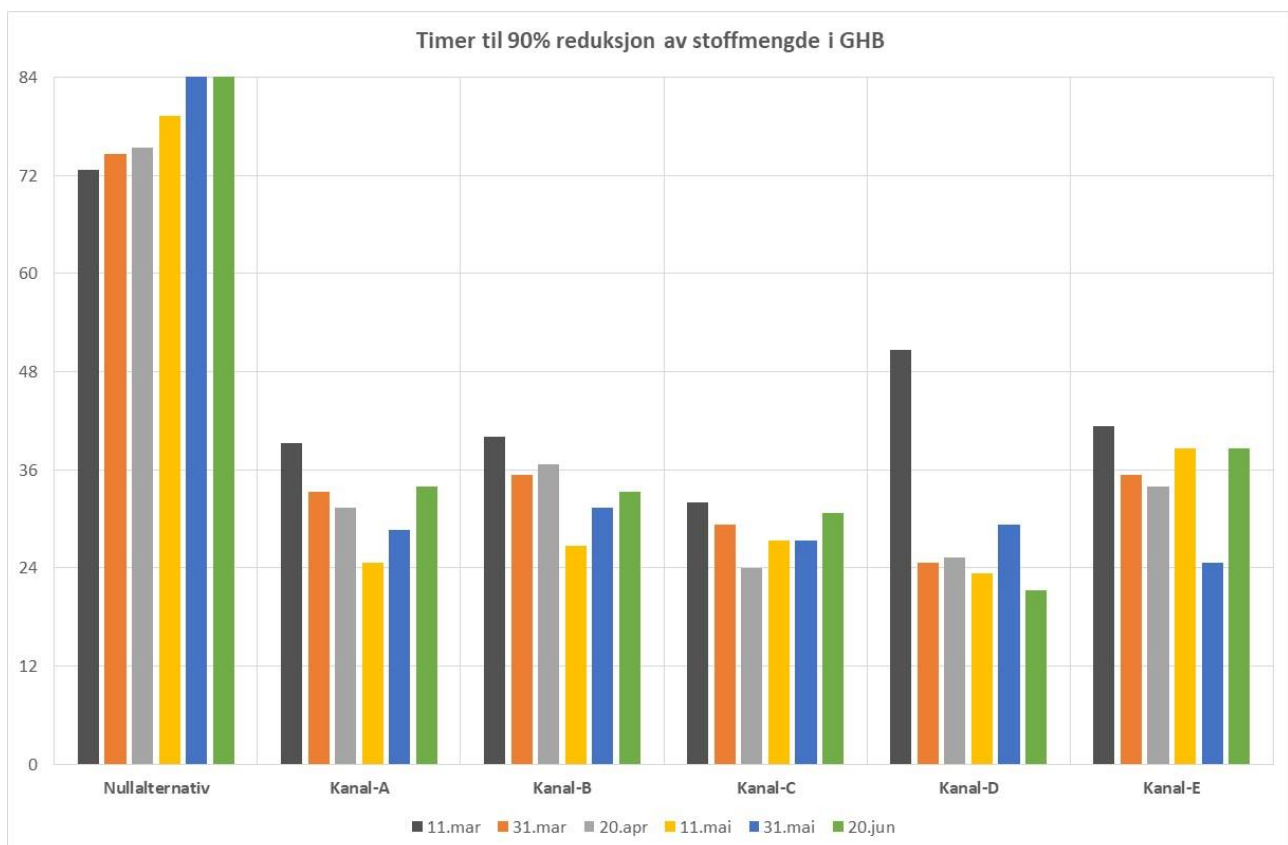
Figur 48 Stoffkonsentrasjon i Gilhusbukta under utvasking. Ulike kanaloppsett. Start = 11. mars.



Figur 49 Samme data som over (logaritmisk vertikalakse).



Figur 50 Utvaskingstid fra Gilhusbukta. Resultater gruppert etter startdato.



Figur 51 Utvaskingstid fra Gilhusbukta. Resultater gruppert etter kanalalternativ.

5.2.2 Eventuelle områder med dårligere vannutskiftning

Undersøkelsen i det foregående hadde fokus på stoffkonsentrasjonen som gjennomsnitt for hele Gilhusbukta-vannvolumet, fordi hovedformålet var å sammenligne ulike perioder og ulike alternativer. Metoden gir imidlertid ikke svar på om det er punkter i kanalene der vannskiftningen er svakere, altså en slags bakevjer, eller områder med mer stagnant vann. Det er derfor satt fokus på konsentrasjonen i et antall punkter (4 posisjoner og 2 dybder = 8 tidsserier). Lokalitetene er vist på figuren under. Dybdene er 1 og 3 m.

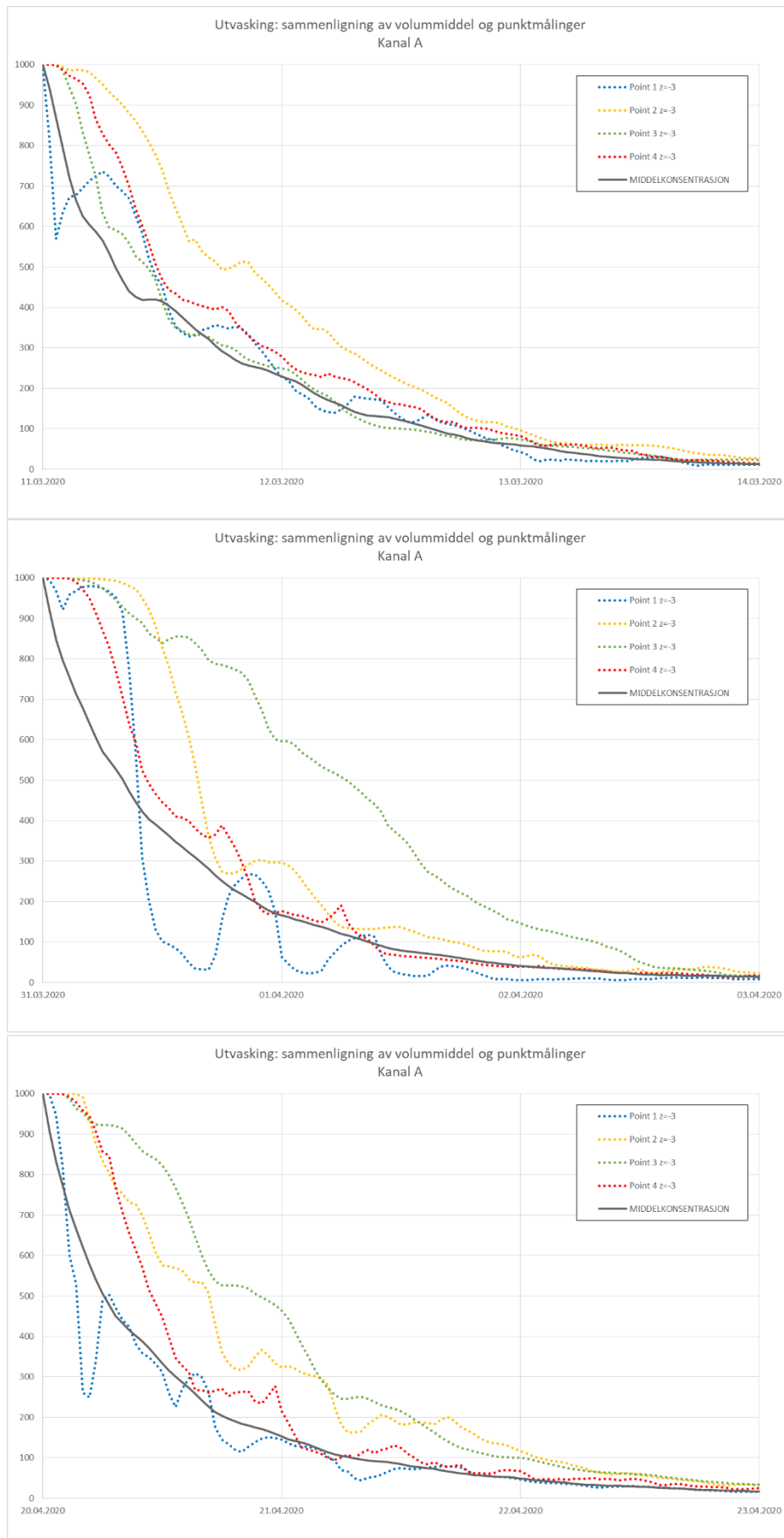


Figur 52 Punkter for evaluering av lokal vannutskiftning.

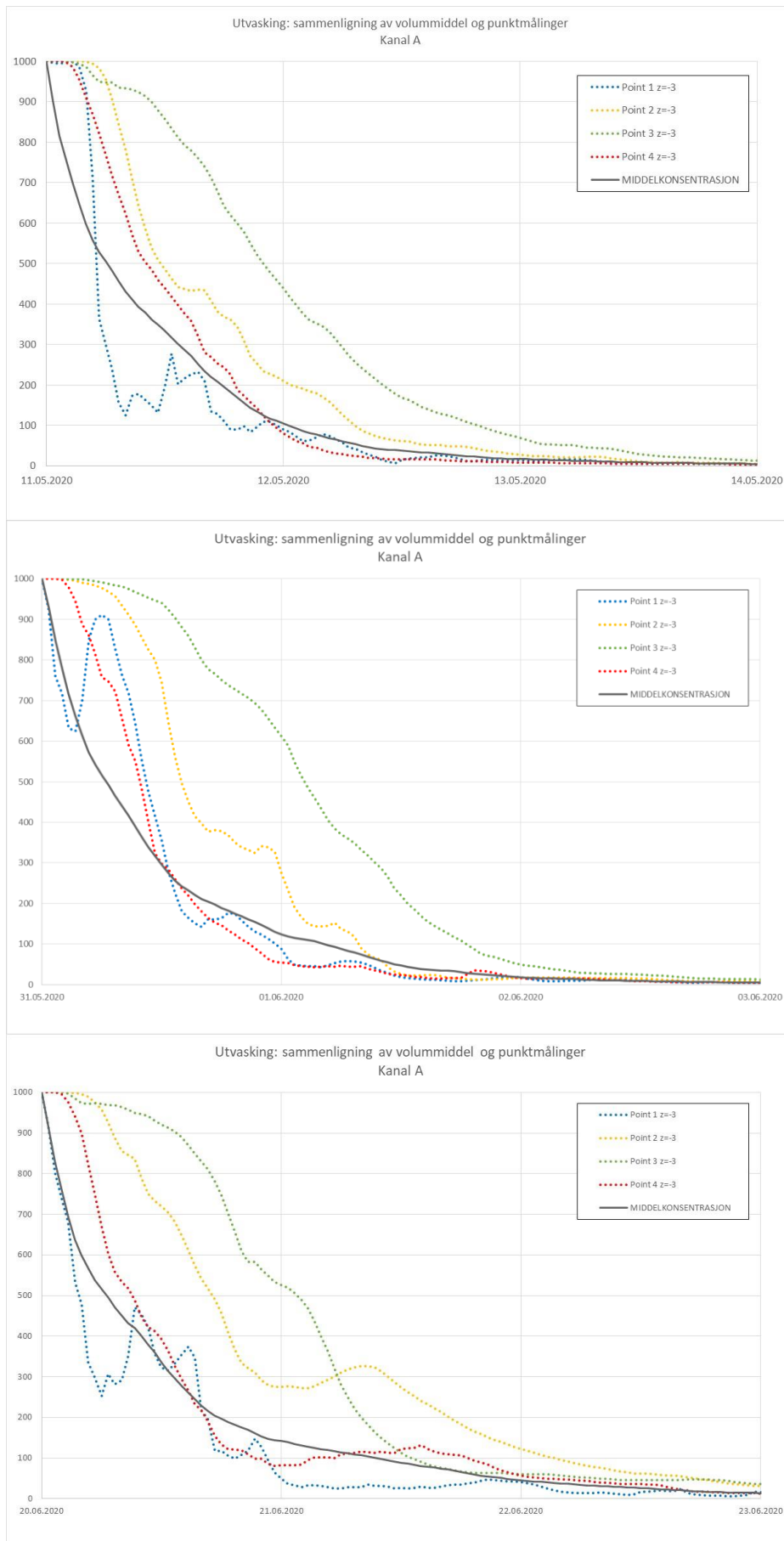
Figur 53 og Figur 54 viser tidsserier av stoffkonsentrasjon. De tre diagrammene på Figur 53 tilsvarende startdato henholdsvis 11/3, 31/3 og 20/4 og på Figur 54 tilsvarende de startdato 11/5, 31/5 og 20/6. I hvert diagram sammenlignes volum-middelkonsentrasjon (tykk svart) med punktkonsentrasjoner (fargede, stiplete). Figurene viser kun punktkonsentrasjonen i 3m dybde, fordi forskjellen mellom 1m og 3 m var marginal.

Resultatene kan oppsummeres slik: den lokale konsentrasjonen i punktene 1 og 4 representeres ganske godt av middelkonsentrasjon, mens utvaskingen i punktene 2 og 3 er en del langsommere. Grovt tatt er utvaskingstiden rundt halvannen ganger så stor i Punkt 2 eller 3, eller begge, sammenlignet med volum-gjennomsnittet. Ut fra en skjønsmessig vurdering betraktes det ikke som et alarmerende forhold.

Punktene 2 og 3 ligger lengst inne i kanalene, altså mest skjermet fra utskiftning med «nytt» vann. Punkt 1 forsynes tilsynelatende med «nytt» vann fra Tømmerterminalbukta, gjennom kanalen dit. Resultatet er derfor i tråd med som kunne forventes.



Figur 53 Sammenligning av utvasking i enkeltpunkter med middelkonsentrasjon i Gilhusbukta. Tre ulike startdatoer. Øverst: 11/03; Midten: 31/03; nederst 20/04.



Figur 54 Sammenligning av utvasking i enkeltpunkter med middelkonsentrasjon i Gilhusbukta. Tre ulike startdatoer. Øverst: 11/05; Midten: 31/05; nederst 20/06.

6 Diskusjon og konklusjon

6.1 Diskusjon

Beregningene viser at sammenhengen mellom utvaskingstid og kanalalternativ et godt stykke på vei svarer til forventningene når man for hvert kanalalternativ betrakter et gjennomsnitt av alle simuleringsperioder. For ulike kanalutforminger ligger variasjonen i utvaskingstid stort sett innenfor 10%. I hvert konkrete tilfelle avhenger utvaskingstiden imidlertid ikke bare av kanal-alternativ, men også av tidspunktet man betrakter. Beregningene indikerer at valgt tidspunkt betyr like mye eller mer for utvaskingstiden, enn hvilket kanalalternativ man ser på.

Når man ser på hver enkelt av de seks tidsperiodene for seg, er resultatet høyst sprikende med hensyn til hvilke alternativer som gir raskere og hvilke som gir en langsommere utvasking. Dessuten er det vanskelig å forstå at Alternativ E, som er en kombinasjon av C og D – gir en langsommere utvasking, mens både C og D gir en raskere utvasking. Selv om man skal være varsom med å avferdige et resultat fordi det ikke stemmer med forventningene, tas det likevel som en indikasjon av at tilfeldighetene som avspeiler seg i de ulike periodene, spiller en uforholdsmessig stor rolle.

Det konkluderes følgelig med at forskjellene mellom kanalalternativene er ubetydelige, sammenlignet med «støyen» som ligger i valg av periode.

Som nevnt tar det mellom 24 og 40 timer å skifte ut 90% av vannet i Gilhusbukta, med kanaler. Man kan spørre om dette er *tilstrekkelig* rask fornyelse for å sikre en god vannkvalitet. Det finnes ikke noe entydig svar på spørsmålet, siden vannutskiftingsbehovet vil avhenge av oksygenforbruk og dermed av belastning med næringsstoffer mm. Dersom man sammenligner med Nullalternativet, gir kanalprosjektet en utvaskingstid som er 2-3 ganger kortere enn i dagens situasjon (fra 70-100 timer).

6.2 Konklusjon

- Det er i hovedsak målt lave strømhastigheter i alle tre målepunkter. Høyest strømhastighet ble observert ved S4, altså i nærheten av naturreservatet, og var her rettet parallelt med kystlinjen (øst/vest).
- Hydrografimålingene bekrefter det som er observert i tidligere studier; et veldefinert sprangsjikt, med et nær ferskt (<5 psu) overflatelag over en saltere og tilnærmet homogen vannsøyle. Sprangsjiktets dybde øker i løpet av måleperioden, fra om lag 5 m til om lag 10 m.
- Alt i alt produserer modellen et realistisk strømbilde og hydrografisituasjon. De grove trekkene ser ut til å være i overenstemmelse med målingene. Man ser imidlertid at raske svingninger og skarpe vertikale gradienter i temperatur og saltholdighet ikke kommer frem i modellresultatet. Videre ser man at modellen gir lavere strømhastigheter enn målingene. Dette kan i noe grad tilskrives begrensninger i målemetodikken ved lave hastigheter og forenklinger med tanke på inputverdier. Selv om modellen ikke gjengir observasjonene eksakt i alle henseender, antas det at modellen er godt egnet for formålet hva angår det å kunne beskrive forskjeller mellom ulike topografialternativer.
- Det er noe endring i strømmretning utenfor Gilhusbukta som følge av kanalene. Endringene vil avhenge av hvor i domenet man befinner deg, og hvilke tidspunkter man studerer. Siden området er dominert av svært lave strømhastigheter, blir tendenser i sirkulasjonsmønsteret krevende å beskrive. Det er vist at strømhastighetene i overflaten i grundtvannsområdet like utenfor kanalene vil avta som følge av kanalene. Ved 3m dyp i S4 er det en svak reduksjon i gjennomsnittshastighet, mens det i S2 er en økning.

- Det er liten eller ingen endring i dybde på sprangsjiktet mellom nullalternativet og kanalalternativet. Det som avgjør saltholdigheten langs bunnen og inn mot land, er vanddybden. Dette betyr at man kan anta at områder med tilsvarende vanddyp før og etter tiltaket vil ha tilnærmet like forhold mht. temperatur og saltholdighet.
- Vannutskifting i kanalene ligger mellom ett og to døgn, som gjennomsnitt for hele kanalvolumet. For enkeltpunkter lengst inne i kanalene kan utvaskingstiden være i størrelsesorden 50% større. Det vurderes på generelt grunnlag at dette er akseptabelt for å sikre god vannkvalitet, men vil i praksis avhenge av forurensningsbelastning.
- Vannutskifting i kanalene varierer kraftig i henhold til betraktet tidsperiode: fra 24 til 40 timer. Systematiske forskjeller mellom de fem kanalalternativer er ubetydelige. Basert på hensyn til vannutskifting er det altså ikke tungtveiende grunner til å anbefale ett alternativ frem for et annet.

7 Referanser

Aanderaa, 2007: "TD 262b Operating Manual - Seaguard RCM"

Nortek, 2013: Comprehensive manual, dec. 2013

SAIV, 2009: Operating Manual for STD/CTD model SD204, SAIV01APR2009

https://manuals.mikepoweredbydhi.help/2017/Coast_and_Sea/MIKE_321_FM_Scientific_Doc.pdf

Appendiks A Strøm- og hydrografimålinger

Det er målt strøm, hydrografi og vannstand ved flere punkter i forbindelse med dette arbeidet. Dette kapittelet presenterer resultatene fra de gjennomførte målingene. Dette vedlegget beskriver resultatene samt kvalitetssikring av måledata og instrumentspesifikasjoner.

A.1 Sammendrag Resultater Målinger

A.1.1 Strøm

Det er generelt målt lave strømhastigheter ved alle målepunktene S2, S3 og S4. Dette medfører at det er knyttet noe usikkerhet til absolutt hastighet og spesielt til målt retning. For strømhastigheter lavere enn 10 cm/s er strømrretningen ansett som upålitelig for målingene ved 10 m og 14 m dyp ved S2 og ved 8 m, 10 m og 14 m dyp ved S3. Se Appendiks A.5.1 for mer informasjon og kvalitetssikring av strømdata.

Tabell 12 viser statistikk fra utvalgte måledyp ved S2, S3 og S4. Sterkest strøm er målt ved S4 ved 3 m dyp. Her er gjennomsnittet målt til 7 cm/s og maksimalstrømmen målt til 31 cm/s mot vest. Ved S2 og S3 er gjennomsnittsstrømmen målt til mellom 2–4 cm/s ved alle dyp.

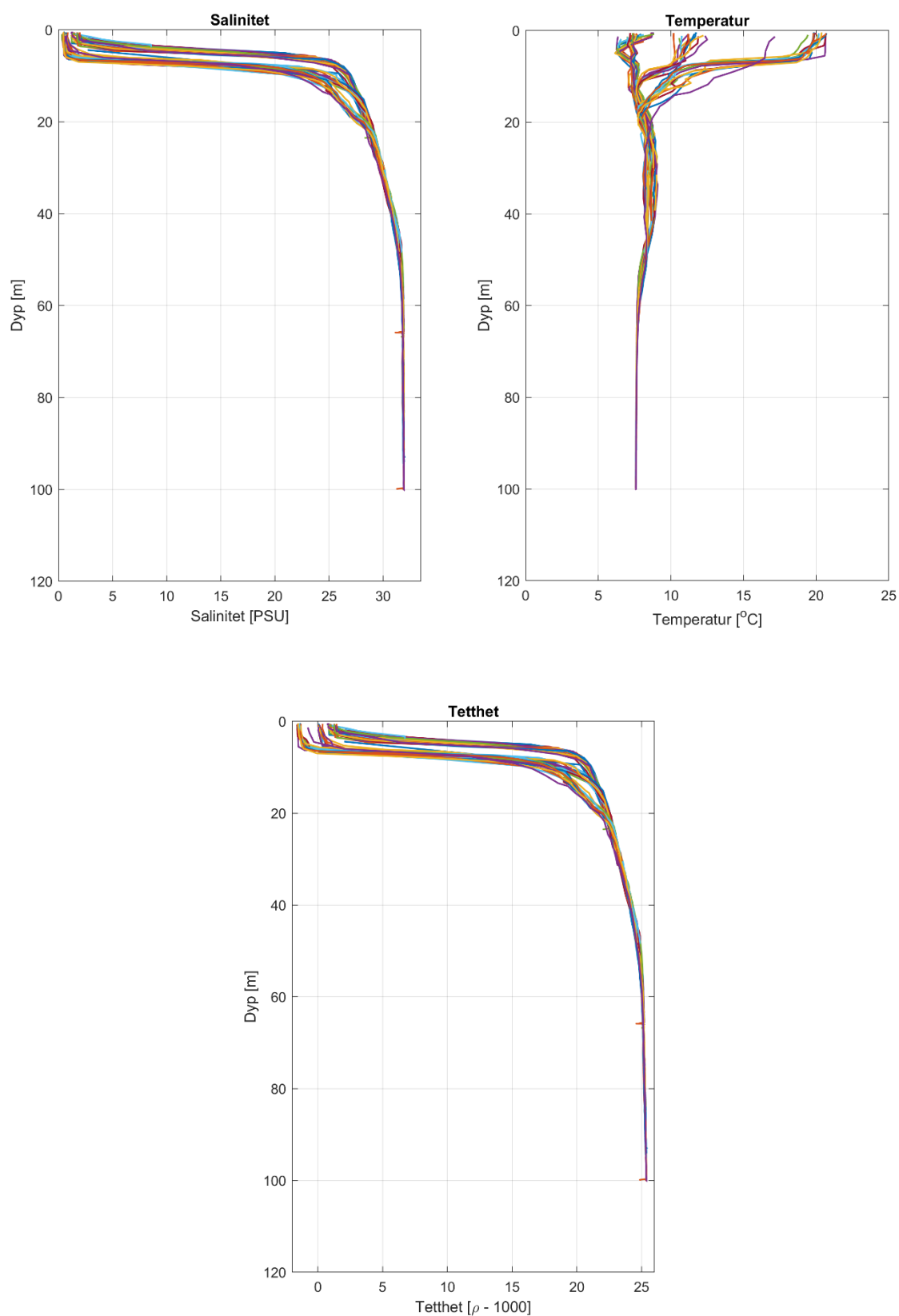
Målingene ved S4, 3 m dyp måler stort sett i det ferske overflatelaget i Drammensfjorden som rekker fra overflaten til omtrent 4–6 m dyp. Strømbildet i området omkring S4 er antatt å være direkte påvirket av elveavrenning fra Lierelva. Dette underbygges av blant annet nærhet til elvemunningen og at strømmen i stor grad er vestlig rettet.

Tabell 12: Statistikk fra strømmålingene, utvalgte dyp fra alle målepunkter. Vannutskiftning og strømrretning er fjernet ved de dypene hvor estimatene ansees som usikre, Se A.5.4.

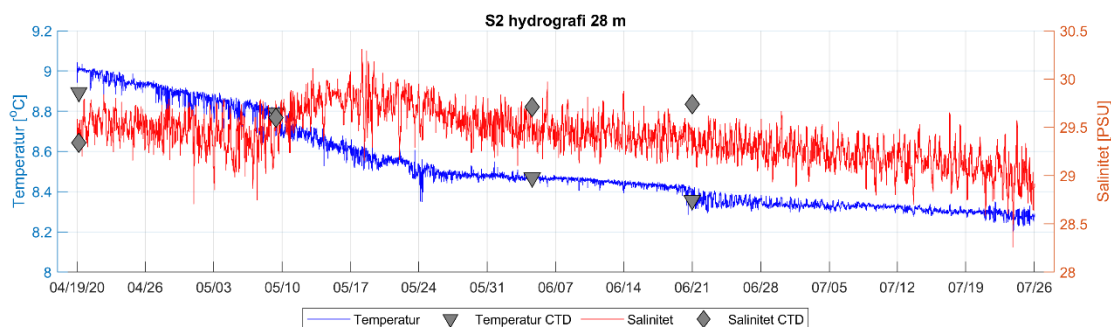
	S2			S3			S4
Dybde	10 m	14 m	28 m	8 m	10 m	14 m	3 m
Gjennomsnittsstrøm [cm/s]	4	4	2	3	3	3	7
Median [cm/s]	3	3	2	3	3	3	6
Standardavvik [cm/s]	2	2	1	2	2	2	4
Maksimumstrøm [cm/s]	20	11	9	20	18	12	31
Retning maksimumstrøm [°]	320	322	168	353	183	323	261
95 prosentil [cm/s]	7	7	3	7	7	6	15
Andel målinger >10 cm/s [%]	0.5	0.1	0.0	0.7	0.3	0.1	18.9
Vektormidlet strøm [cm/s]	-	-	0	-	-	-	2
Vektormidlet strømrretning [°]	-	-	243	-	-	-	286
Andel målinger < 1cm/s [%]	7.1	6.5	21.2	8.7	9.1	8.9	2.7
Lengste periode < 1cm/s [min]	40	40	80	40	40	50	70

A.1.2 Hydrografi

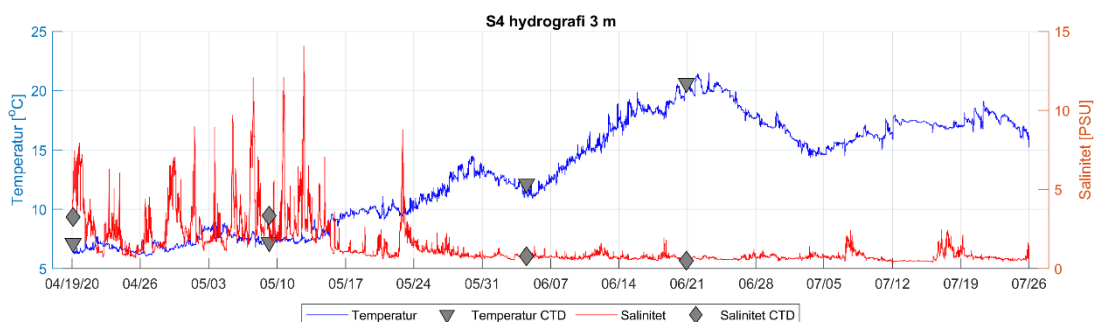
Det er målt profiler av hydrografi ved 13 forskjellige punkter i løpet av måleprogrammet. For oversikt over når målingene er gjennomført, se Tabell 3 i Kapittel 2.1. Alle målte profiler på samme dag viser sammenfallende resultater, og det er lite romlig variasjon i hydrografien i det undersøkte området. For eksempelprofiler fra måleprogrammet, se Figur 13 (H5) og Figur 55 (for alle målte profiler).



Figur 55: Alle målte hydrografiske profiler av temperatur, salinitet og tetthet gjennom hele måleperioden



Figur 56: Hydrografiske tidsserier og målinger fra de hydrografiske profilene ved målepunkt S2 og H13 ved 28 m dyp. For mer informasjon, se figurtekst til Figur 14

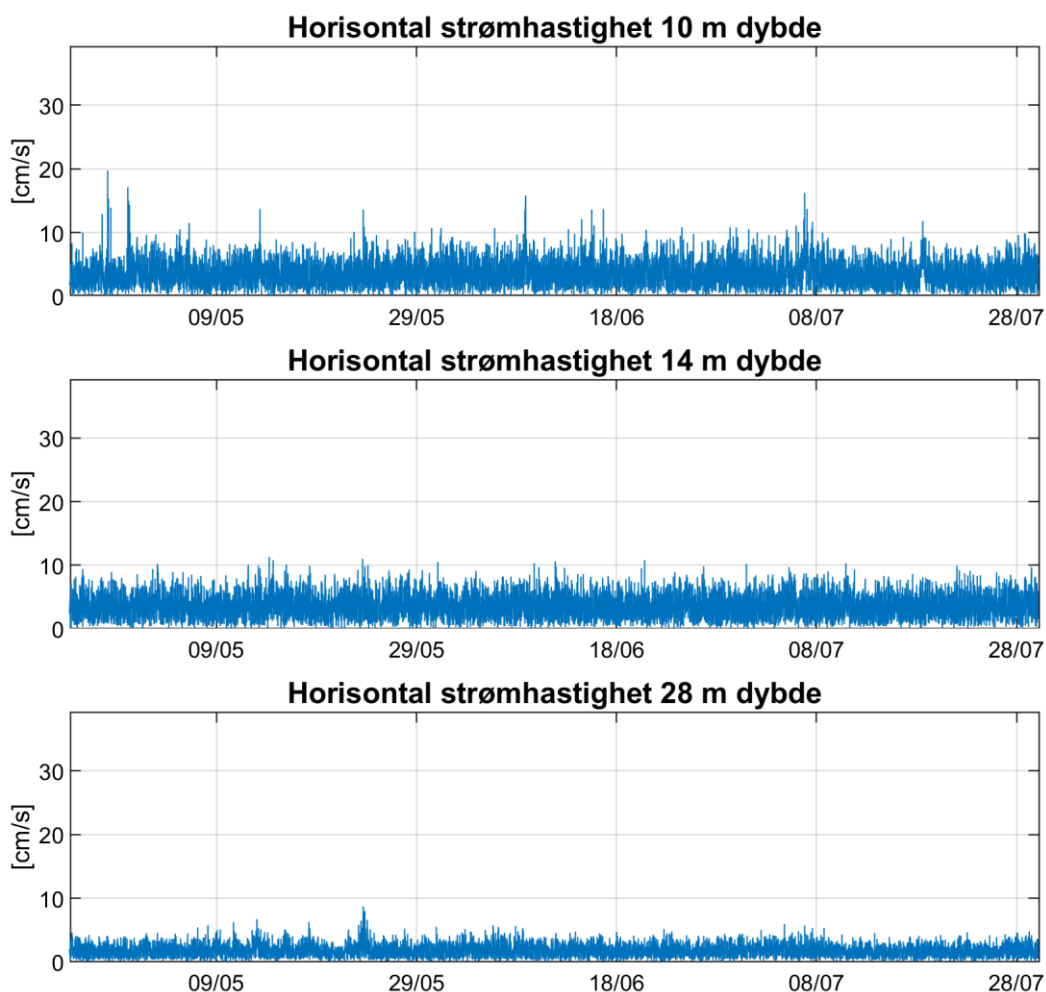


Figur 57: Hydrografiske tidsserier og målinger fra de hydrografiske profilene ved målepunkt S4 og H7 ved 3 m dyp. For mer informasjon, se figurtekst til Figur 14

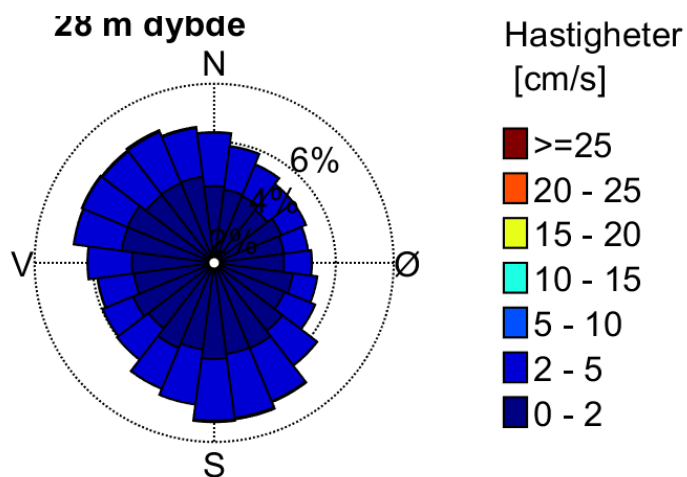
A.2 Resultater strøm S2

Hovedresultater fra strømmålingene er oppsummert i Error! Reference source not found.. Tidsserien av målt strøm er vist i Figur 58. Strømroser for valgte dybder er og Figur 59, for 28 m dyp er alle data inkludert, men for andre dyp er det kun vist retning for hastigheter over 10 cm/s. Figur 60 viser maksimal- og gjennomsnittsstrøm i 15 graders sektorer ved 28 m dyp. Operasjonell og sektorvis strømstatistikk, strømhastighet-retnings matrise og fordelinger er gitt i Tabell 13 for 28 m dyp.

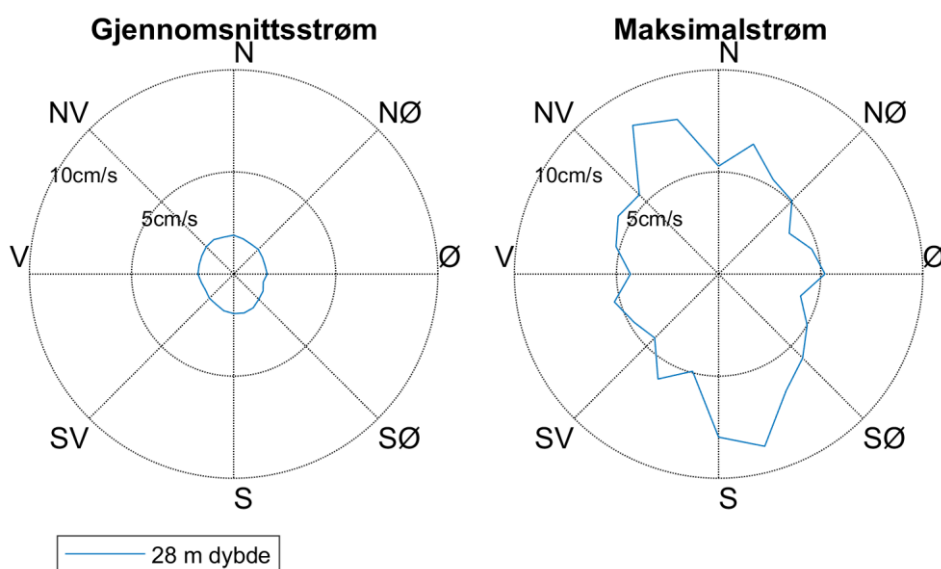
Relativ vannutskiftning, samt antall målinger per retningssektor (15 graders sektorer) er gitt i Figur 61 og Tabell 13. Figur 62 viser progressiv vektor av målingene ved 28 m dyp.



Figur 58: Tidsserier av horisontal strømhastighet



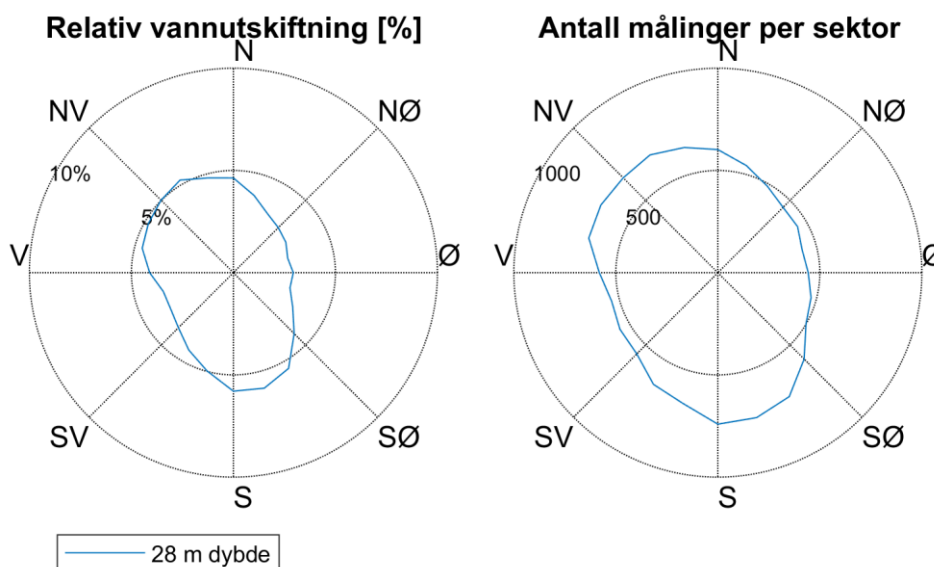
Figur 59: Rosediagram som viser fordelingen av retninger i kompasset og hastigheter i farge ved 28 m dyp



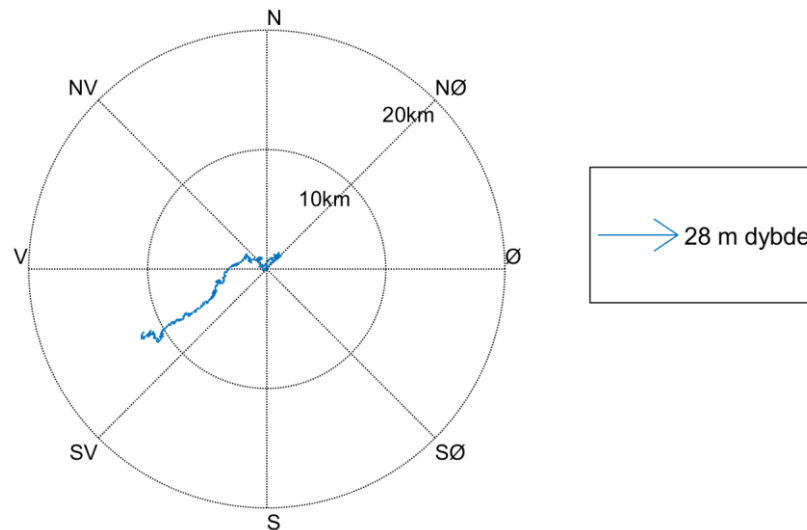
Figur 60: Gjennomsnitts- og maksimalstrøm for forskjellige retninger (15 graders sektorer) og dybder ved 28 m

Tabell 13: Sektorvis strømstatistikk, S2, 28 m dyp

	Retning (mot)								Alle retninger
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	
Dybde	Gjennomsnitt horisontal strøm [cm/s]								
28 m	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Dybde	95 prosentil [cm/s]								
28 m	4	3	3	4	4	3	3	4	3
Dybde	Horisontal maksimalstrøm [cm/s]								
28 m	8	5	5	7	9	6	5	8	9
Dybde	Relativ vannutskiftning [%]								
28 m	13	9	9	13	17	12	12	15	100
Dybde	Antall målinger [%]								
28 m	13	10	10	13	15	13	13	14	100



Figur 61: Relativ vannutskiftning og antall målinger per 15 graders sektor ved 28 m dyp



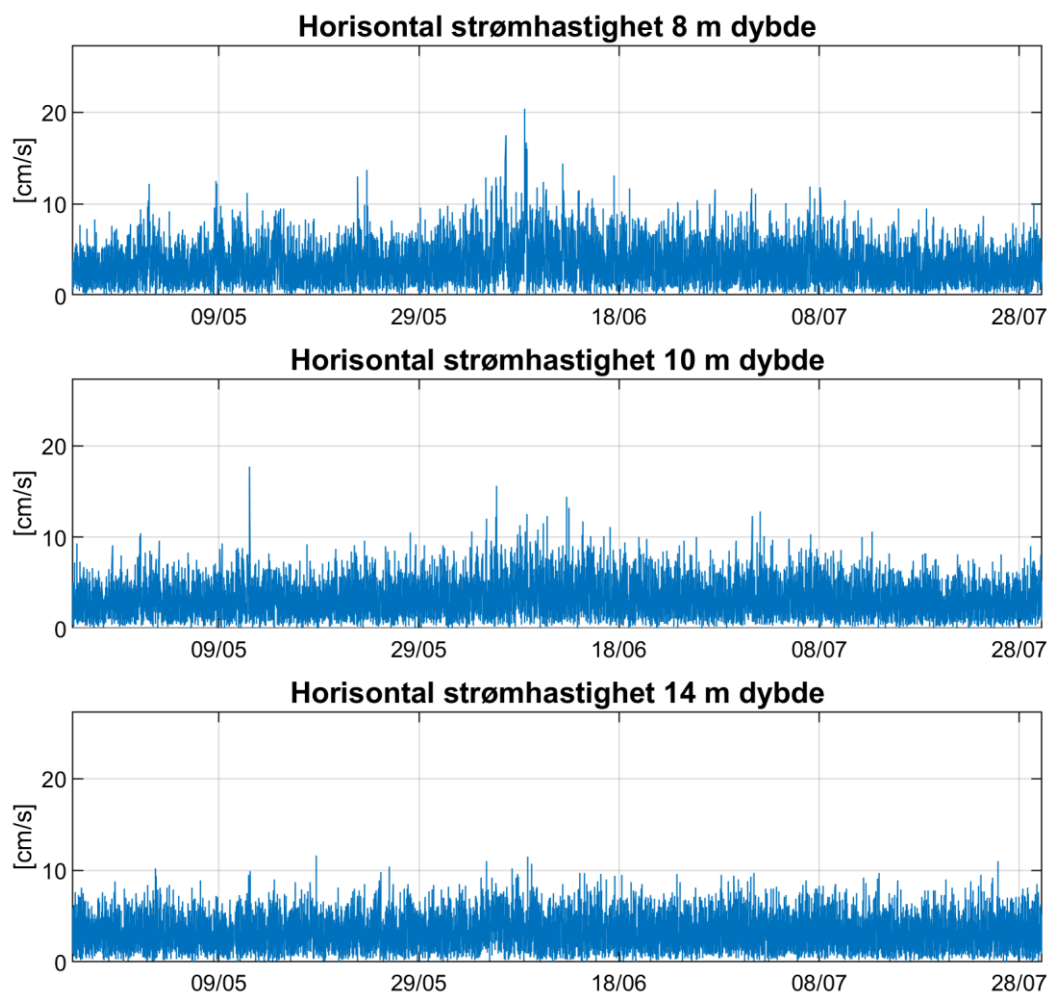
Figur 62: Progressiv vektor-diagram, viser forflytningen av en tenkt vannpartikkel i løpet av måleperioden ved 28 m dyp

A.3 Resultater strøm S3

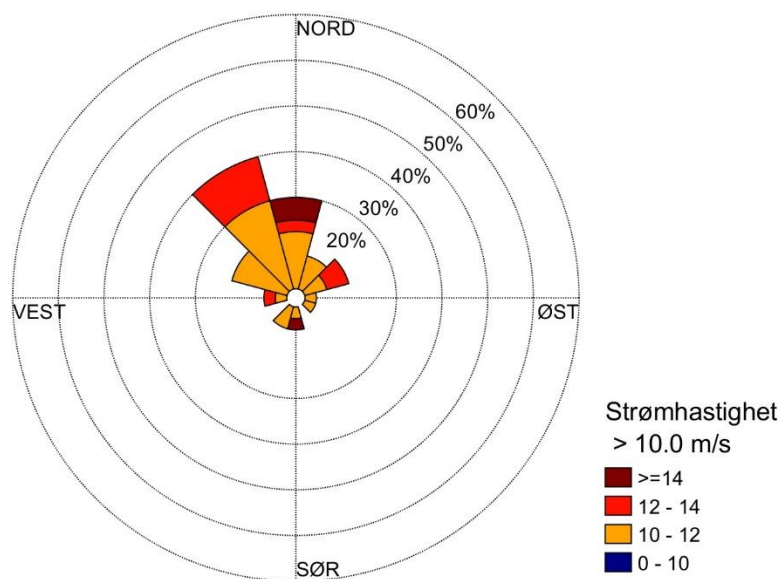
Nøkkeltall fra strømmålingene ved S3 er vidt i **Error! Reference source not found..** Tidsserien av målt strøm, samt strømmrosen for valgte dybder er gitt i Figur 63. Gjennomsnittshastigheten er målt til 3 cm/s ved både 8 m, 10 m og 14 m dyp. Maksimalstrømmen er målt til 20 cm/s ved 8 m dyp.

Det er stort sett målt strøm med hastighet på under 10 cm/s ved S3, 95-prosentilen er 6–7 cm/s ved alle dyp. Det medfører at strømretningen er usikker og estimatet på vanntransport blir med det upålitelig og er ikke beregnet.

Målinger med hastighet over 10 cm/s er vist i strømmrose i Figur 64 (10 m dyp). Figuren viser at ved hastigheter over 10 cm/s er strømretningen i stor grad mot nordvest og nord.



Figur 63: Tidsserier av horisontal strømshastighet



Figur 64: Strømrose som viser strømstyrke og -retning på alle målinger med hastighet over 10 cm/s ved 10 m dyp ved S3

A.4 Resultater strøm S4

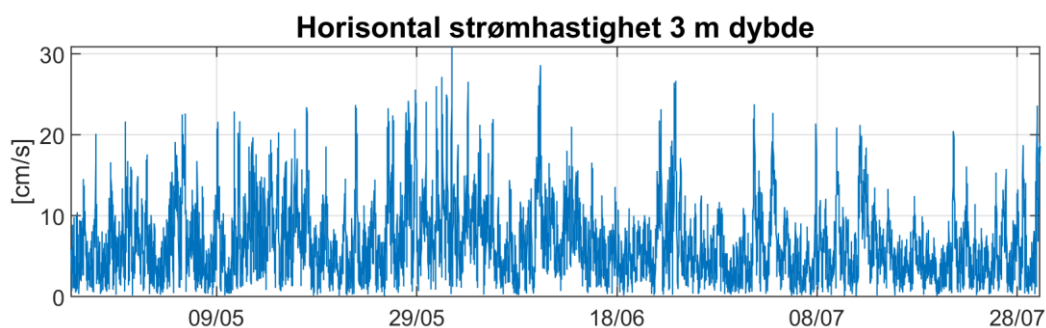
Nøkkeltall fra strømmålingene er oppsummert i **Error! Reference source not found..** Tidsserien av målt strøm, samt strømmosen for valgte dybder er gitt i Figur 65 og Figur 66. Figur 67 viser maksimal- og gjennomsnittsstrøm i 15 graders sektorer for forskjellige dybder.

Operasjonell og sektorvis strømstatistikk, strømhastighet-retnings matrise og fordelinger er gitt i Tabell 14.

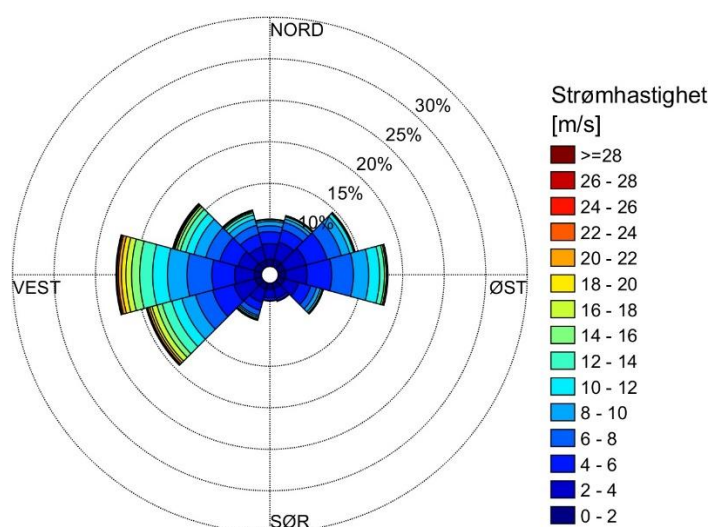
Relativ vannutskiftning, samt antall målinger per retningssektor (15 graders sektorer) er gitt i Figur 68. En progressiv vektor er vist i Figur 69.

Gjennomsnittsstrømmen ved S4, 3 m dyp er målt til 7 cm/s. Hovedstrømretningen er mot vestlig sektor og maksimalstrømmen på 31 cm/S er målt mot vestlig retning.

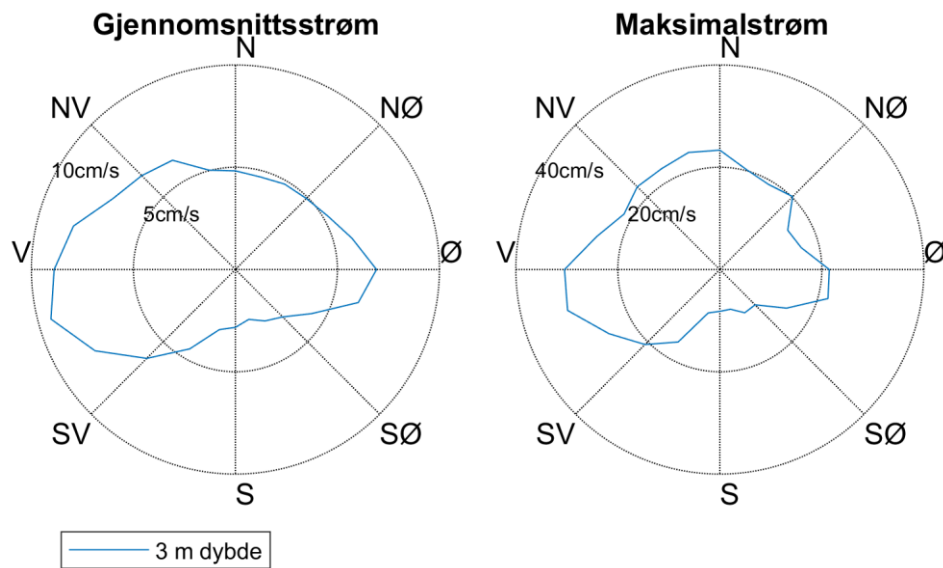
Figurene viser også at vannutskiftningen stort sett er mot vest ved 3 m dyp ved S4.



Figur 65: Tidsserier av horisontal strømhastighet



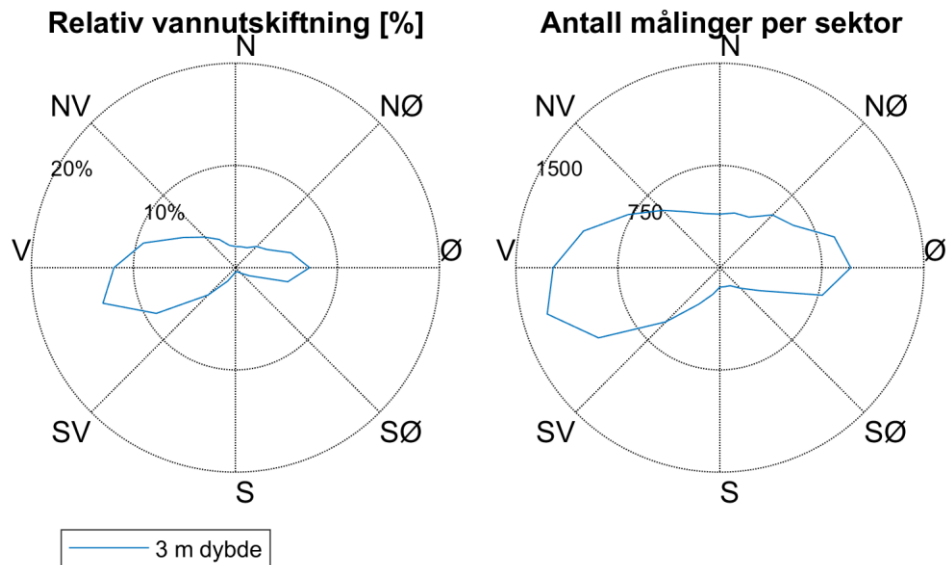
Figur 66: Rosediagram som viser fordelingen av retninger i kompasset og hastigheter i farge



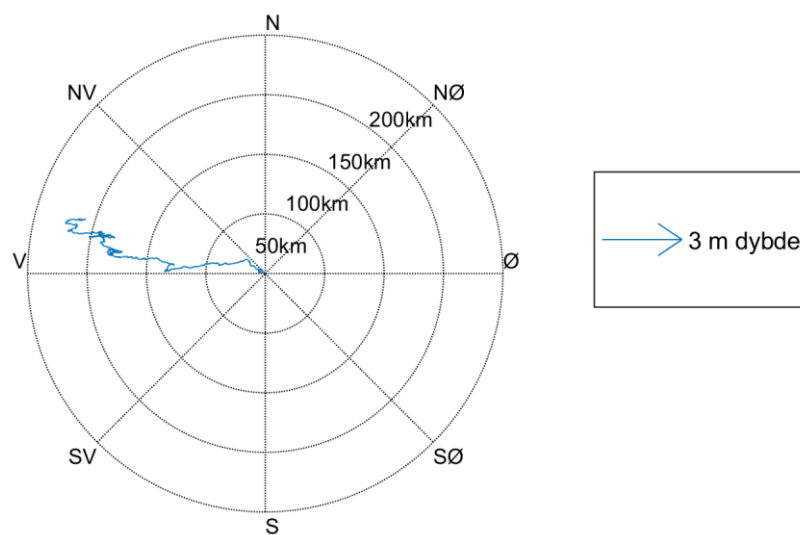
Figur 67: Gjennomsnitts- og maksimalstrøm for forskjellige retninger (15 graders sektorer) og dybder

Tabell 14: Sektorvis strømstatistikk for S4, 3 m dyp

	Retning (mot)								Alle retninger
	0°	45°	90°	135°	180°	225°	270°	315°	
	N	NØ	Ø	SØ	S	SV	V	NV	
Dybde	Gjennomsnitt horisontal strøm [cm/s]								
3 m	5	5	6	4	3	7	9	7	7
Dybde	95 prosentil [cm/s]								
3 m	10	10	13	8	6	16	19	15	15
Dybde	Horisontal maksimalstrøm [cm/s]								
3 m	24	20	22	15	9	25	31	23	31
Dybde	Relativ vannutskiftning [%]								
3 m	6	9	18	3	2	14	35	13	100
Dybde	Antall målinger [%]								
3 m	9	11	19	5	4	14	26	13	100



Figur 68: Relativ vannutskifting og antall målinger per 15 graders sektor



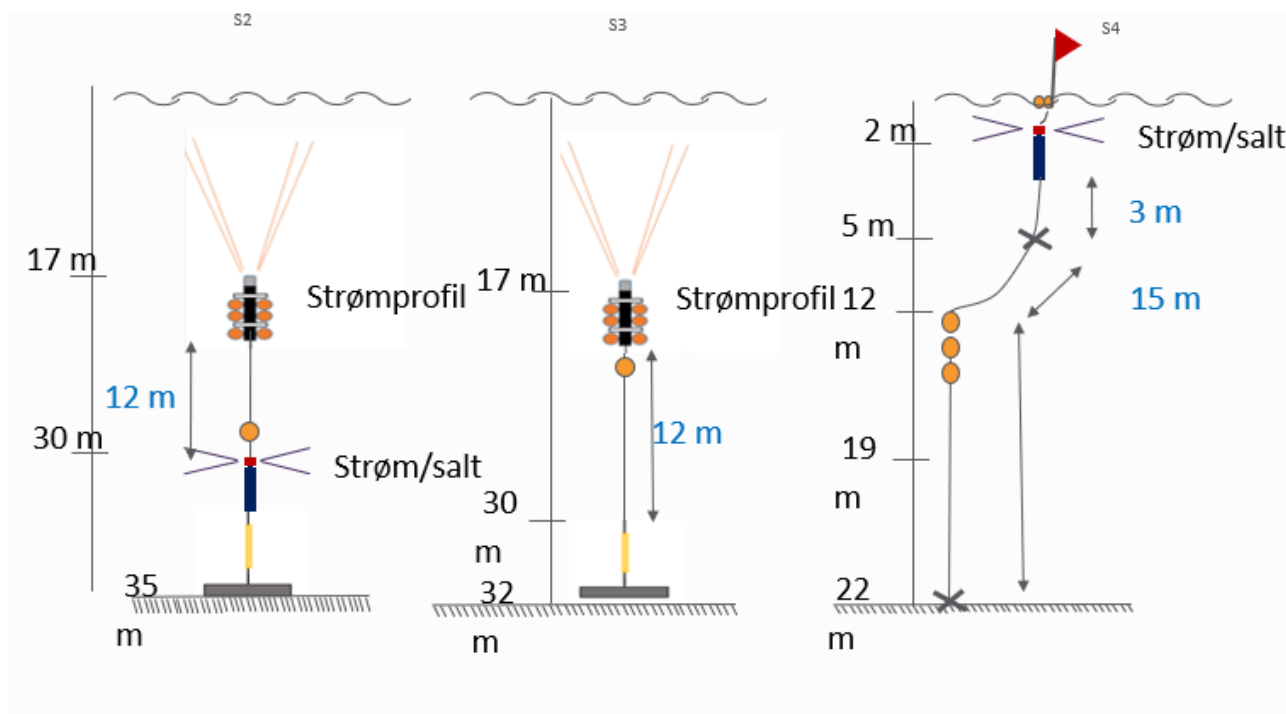
Figur 69: Progressiv vektor-diagram, viser forflytningen av en tenkt vannpartikkel i løpet av måleperioden

A.5 Kvalitetssikring av måledata

A.5.1 Strøm

Strømmen ble målt med akustiske doppler profilålere Nortek Aquadopp Profiler (Nortek, 2013) og akustiske doppler punktmålere Aanderaa Seaguard (Seaguard, se Aanderaa (2007)).

Målingene er basert på dopplereffekten. Instrumentet sender ut en akustisk puls (et kort lydsignal) med en bestemt frekvens og måler frekvensen av innkommende refleksjoner. Refleksjonen er forårsaket av små partikler eller bobler i vannet. Ut fra frekvensskiftet kan man beregne hastigheten av partiklene i vannet, som er antatt å være lik strømhastigheten. Aquadopp Profiler sender ut pulser i tre stråler i forskjellige retninger for å kunne rekonstruere den horisontale og vertikale strømhastigheten i mange dyp. Seaguard har strålene orientert horisontalt og måler i instrumentdyp. Målerne ble forankret som vist i Figur 70.



Figur 70: Skisse av riggene. S2 til venstre, S3 i midten og S4 til høyre

Det er gjennomført kvalitetssikring etter anbefalingene av instrumentenes produsent. Generelt er anbefalingene som følger:

- Aanderaa Seaguard: stamp og rull mindre enn 35° og standardavvik av enkeltmålingen ca. 4 cm/s
- Nortek Aquadopp Profiler: stamp og rull mindre enn 30°, signalstyrke mer enn 7 counts over støygulvet

Tilfeller hvor disse kriteriene ikke blir møtt, må vurderes nøye. I tillegg til anbefalingene over ble målingene sjekket for uteliggere som også ble fjernet. Strømretningen er ikke korrigert for misvisning og alle retninger er referert mot magnetisk nord. Der instrumentprodusenten anbefaler det, er deviasjon tatt hensyn til gjennom kalibrering av kompasset før utsett.

Strømmåleren ved S3 har i måleperioden hatt tilt på opp mot 29°. Dette betyr at kvaliteten på resultatene ved S3 kan være redusert. Målingene sammenfaller imidlertid godt med målinger fra tilsvarende profilmåler ved S2 og resultatene er derfor inkludert i datasettet.

Det er målt lave strømhastigheter i løpet av måleperioden, dette gjelder spesielt ved S2 og S3. Ved lave hastigheter (under 10–20 cm/s) vil instrumentets egenstøy kunne forstyrre målingene og dette medfører til at resultatet fra målingene i stor grad er å anse som støy. Denne effekten er størst på profilerende målere som er brukt ved S2 og S3.

Spesielt bestemmelse av strømrretning er utfordrende når hastigheten er lav. Det er derfor i denne rapporten ikke vist strømrretning dersom målt strømhastighet er under 10 cm/s ved de profilerende målerne ved S2 (10 m og 14 m dyp) og S3 (8 m, 10 m og 14 m dyp). Punktmålerne plassert ved 28 m dyp ved S2 og 3 m dyp ved S4 gir gode estimat på strømrretning, også ved lave hastigheter. For disse målerne er retninger presentert også ved hastigheter under 10 cm/s.

A.5.2 Hydrografi

De hydrografiske profilene er målt med CTD-en SAIV SD204 med salinitet-, temperatur- og trykksensor (SAIV, 2009). Målingene gjennomføres ved å først senke CTD-en ned til bunnen med hastighet på omtrent 1 m/s før den deretter heves med samme hastighet. Målingene inspiseres så visuelt og uteliggere og målefeil fjernes. Visuell inspeksjon bestemmer om det er profilen målt ved låring eller heving som brukes.

A.5.3 Vannstand og overflateheving

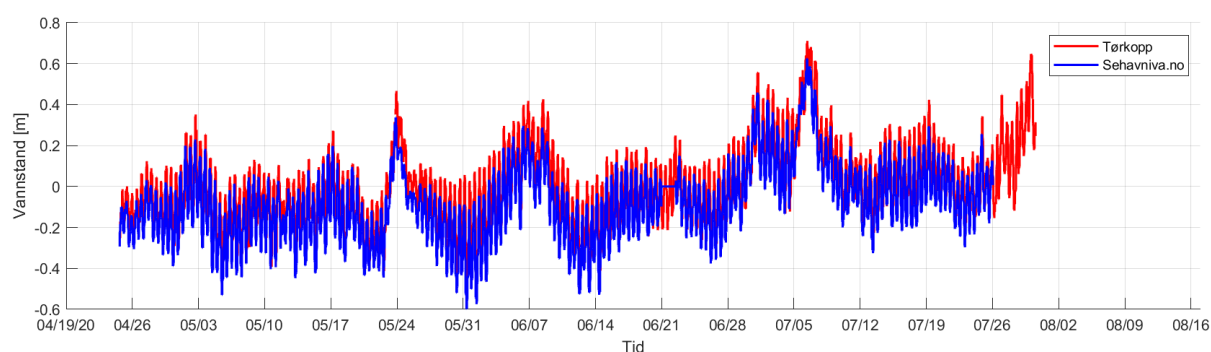
I tillegg til målinger ved Tørkopp er det innhentet vannstandsdata fra Drammensfjorden for perioden 1.1.2020 til og med 24.07.2020. For å måle overflateheving ved Tørkopp er det målt absolutt trykk i vannet og atmosfærisk trykk på samme sted. Trykket målt av sensor i sjøen er fratrasket atmosfærisk trykk og resultatet er lokal overflateheving.

Et utsnitt som sammenlikner målingene ved Tørkopp (rød linje) og data fra Sehavniva.no (blå linje) er vist i Figur 71. Data fra sehavniva.no er basert på måler på Viken, Hvaler kommune.

Data fra sehavniva.no for Drammensfjorden er relative til NN2000 og målingene ved Tørkopp er relative gjennomsnittlig vannstand i måleperioden. Dette kan være en del av forklaringen på hvorfor målingene ved Tørkopp er noe høyere sammenliknet med vannstandsdata fra Kartverket.

Ellers er det tydelig at nivåene følger hverandre godt og man finner igjen de samme karakteristiske vannstandsvariasjonene i begge datasett.

Det er vannstandsdata fra sehavniva.no som er brukt som inndata i den hydrodynamiske modellen.



Figur 71: Sammenlikning mellom målt vannstand ved Tørkopp og vannstandsdata fra Drammensfjorden (sehavniva.no). For sammenlikning er begge kurvene fratrasket gjennomsnittlig vannstand.

A.5.4 Instrumentspesifikasjoner og kalibrering

Tabell 15: Oversikt måleinstrumentene brukt i måleprogrammet

Instrument	Serienummer	Plassering	Dyp [m]
Nortek Aquadopp 600 kHz	AQD13696	S2	15
Nortek Aquadopp 600 kHz	AQD12923	S3	15
Aanderaa Seagaurd DCS	729	S2	28
Aanderaa Seagaurd DCS	504	S4	3
SAIV SD204 CTD	304	-	-

Tabell 16: Informasjon om vannstandsmåler og nøyaktighet

	Serienummer	Modell	Treffsikkerhet	Oppløsning	Rekkevidde
Vanntrykk	357155	In-situ Rugged TROLL 100	+/- 0.3% av full skala maksverdi	+/- 0.01% av full skala	30 m
Barometer	357155	In-situ Rugged BaroTroll 100	+/- 0.3% av full skala maksverdi	+/- 0.01% av full skala	0.5–2.0 bar

Tabell 17: Instrumentspesifikasjoner, strømmålere og CTD

	Aanderaa Seaguard	Aquadopp Profiler 400 kHz	SAIV SD204 CTD
Horisontal nøyaktighet (hastighet)	± 0.15 cm/s, $\pm 1\%$	± 0.5 cm/s, $\pm 1\%$	-
Enkeltping statistisk støy	± 0.3 cm/s	-	-
Nøyaktighet retning	$\pm 5^\circ$ - 7.5°	$\pm 2^\circ$	-
Temperatur nøyaktighet	$\pm 0.03^\circ\text{C}$	$\pm 0.1^\circ$	+/- 0.01°C
Konduktivitet nøyaktighet	$\pm 0.005\text{S/m}$	-	+/- 0.02mS/m
Horisontal presisjon	-	2.1 cm/s	-

Tabell 18: Test og spesifikasjoner, RCM 504 og RCM 729

	Produkt	Dato
RCM 504	Seaguard RCM SW	25.02.2019
	Main Assembly Seaguard 9340	25.02.2019
	DCS 4420	25.02.2019
	Conductivity Sensor 4319A	25.02.2019
RCM 729	Seaguard RCM SW	20.02.2018
	Main Assembly Seaguard 9340	20.02.2018
	DCS 4420	20.02.2018
	Conductivity Sensor 4319A SN571	15.05.2013
	Oxygen Optode 4835 SN220	04.10.2011

Tabell 19: Kalibrering, RCM 504 og RCM 729

	Produkt	Dato
RCM 504	Conductivity Sensor 4319A	25.02.2019
RCM 729	Conductivity Sensor 4319A SN571	15.05.2013
	Oxygen Optode 4835 SN220	03.05.2013
	O2 Sensing Foil PSt3	03.05.2013
	DCS 4420	20.02.2018

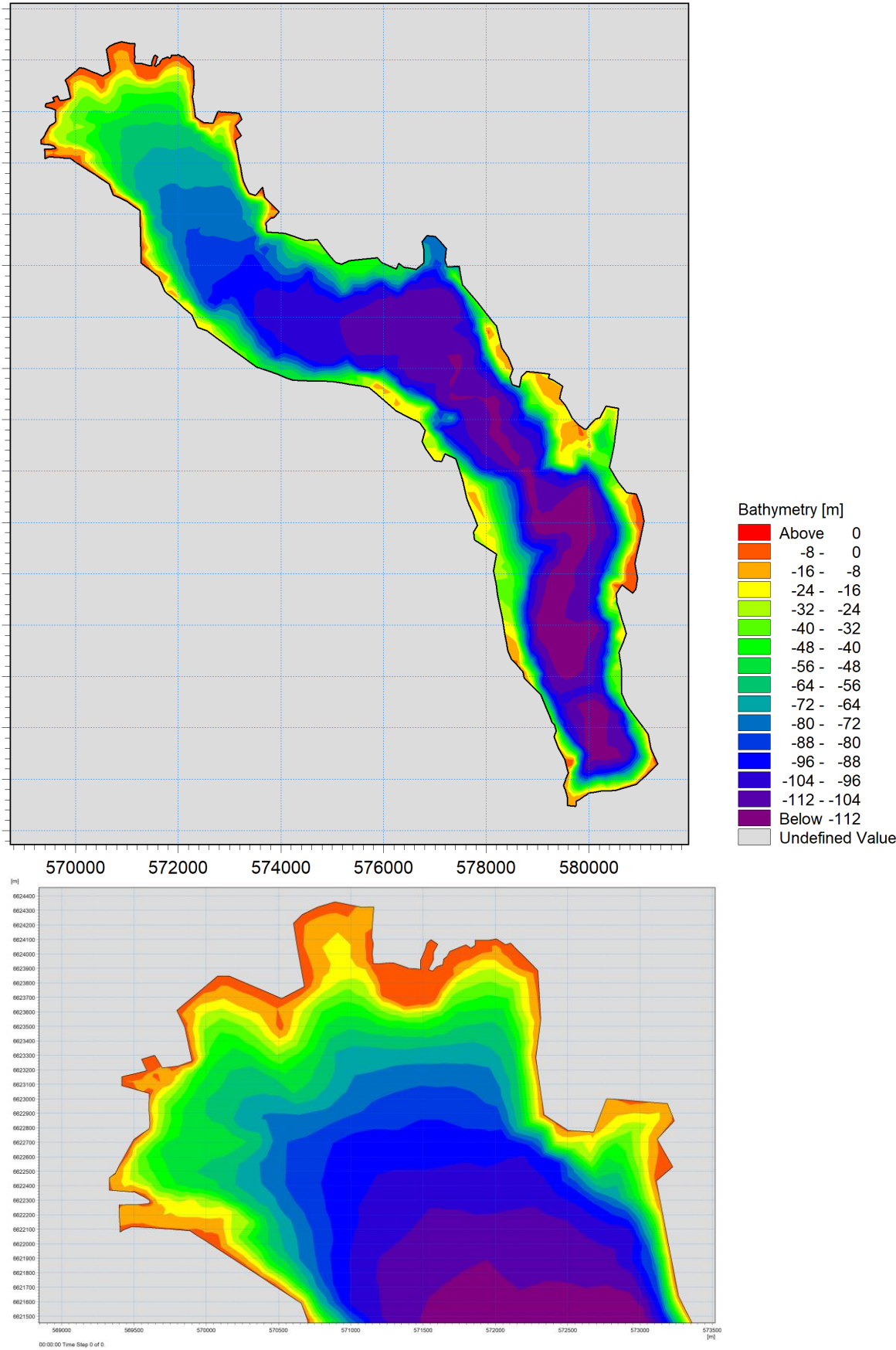
Tabell 20: Test og spesifikasjoner, AQD13696 og AQD12923

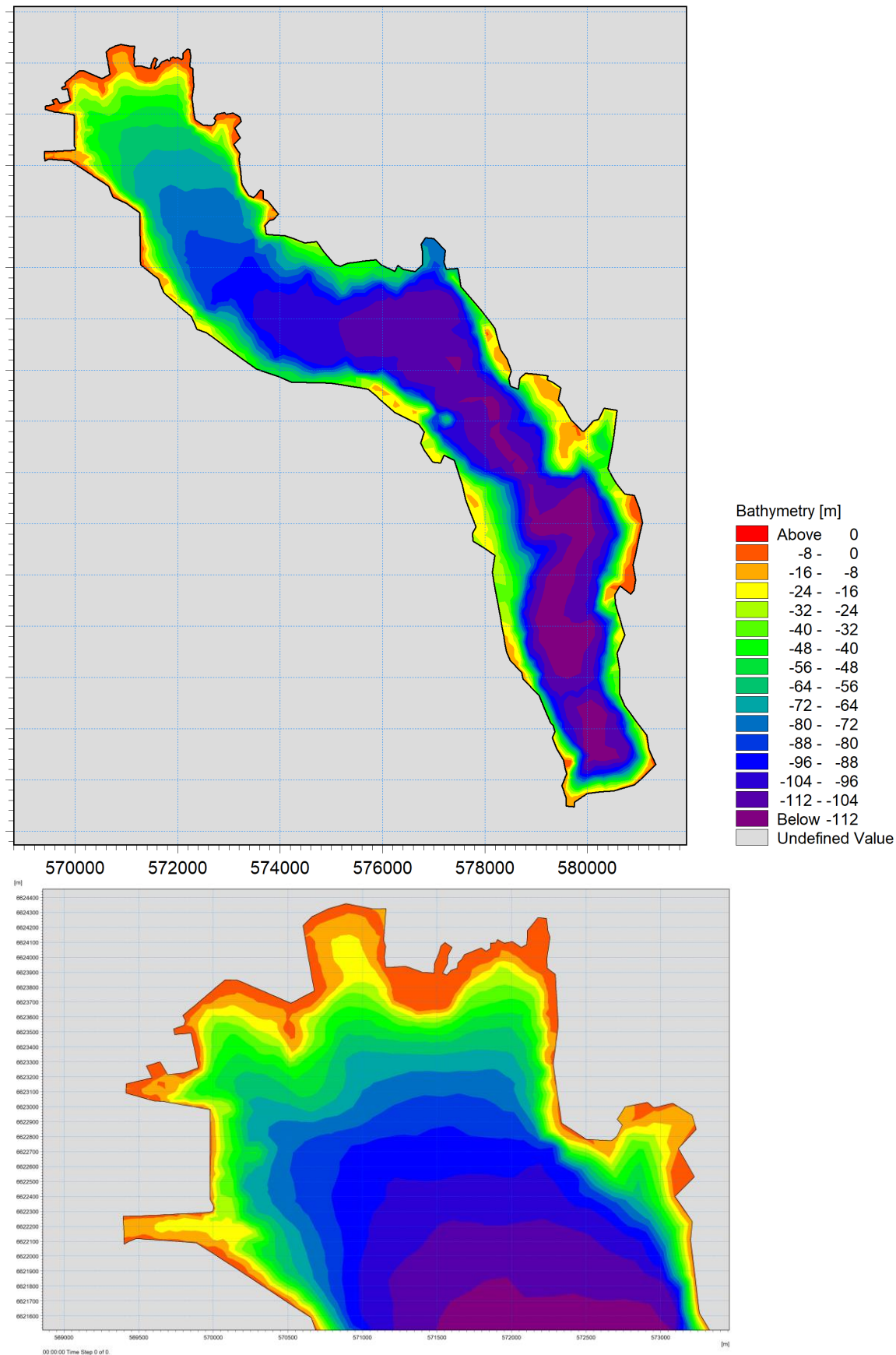
	AQD13696	AQD12923	Utført av
Service/test	16.11.2017	08.04.2016	Nortek
Funksjonstest	24.04.2020	24.04.2020	Multiconsult
Tilt	24.04.2020	24.04.2020	Multiconsult
Temperatur	24.04.2020	24.04.2020	Multiconsult
Kompass	24.04.2020	24.04.2020	Multiconsult
Ping sjekk	24.04.2020	24.04.2020	Multiconsult

Tabell 21: Kalibrering, AQD13696 og AQD12923

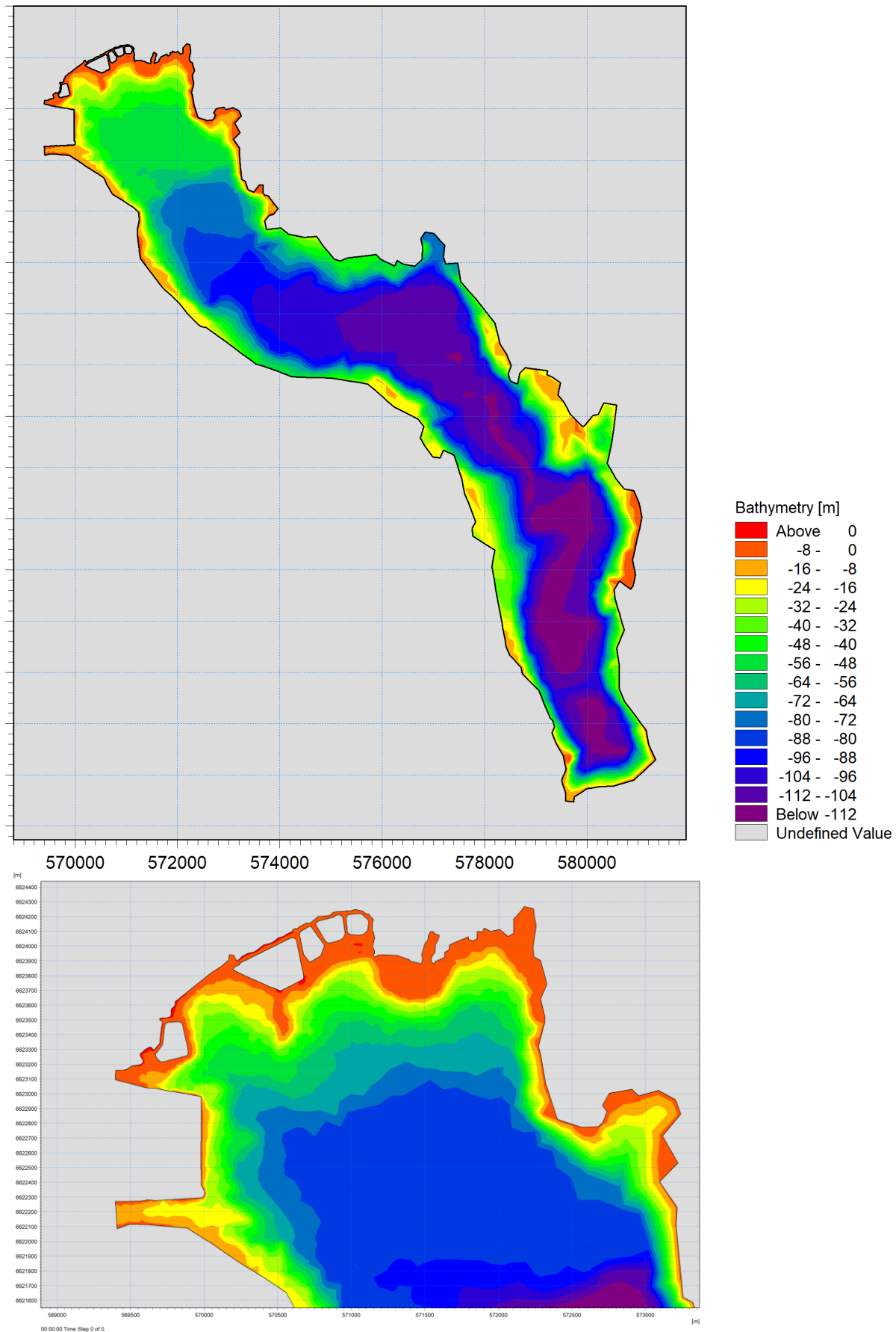
	AQD13696	AQD12923	Utført av
Kompasskalibrering	24.04.2020	24.04.2020	Multiconsult
Støygulv (måling i luft)	30.07.2020	30.07.2020	Multiconsult

Appendiks B Modellmesh
Baseline (brukt for kalibrering/validering)



Nullalternativet (inkluderer Holmenutfyllingen, men ikke Gilhusbuktfylling)

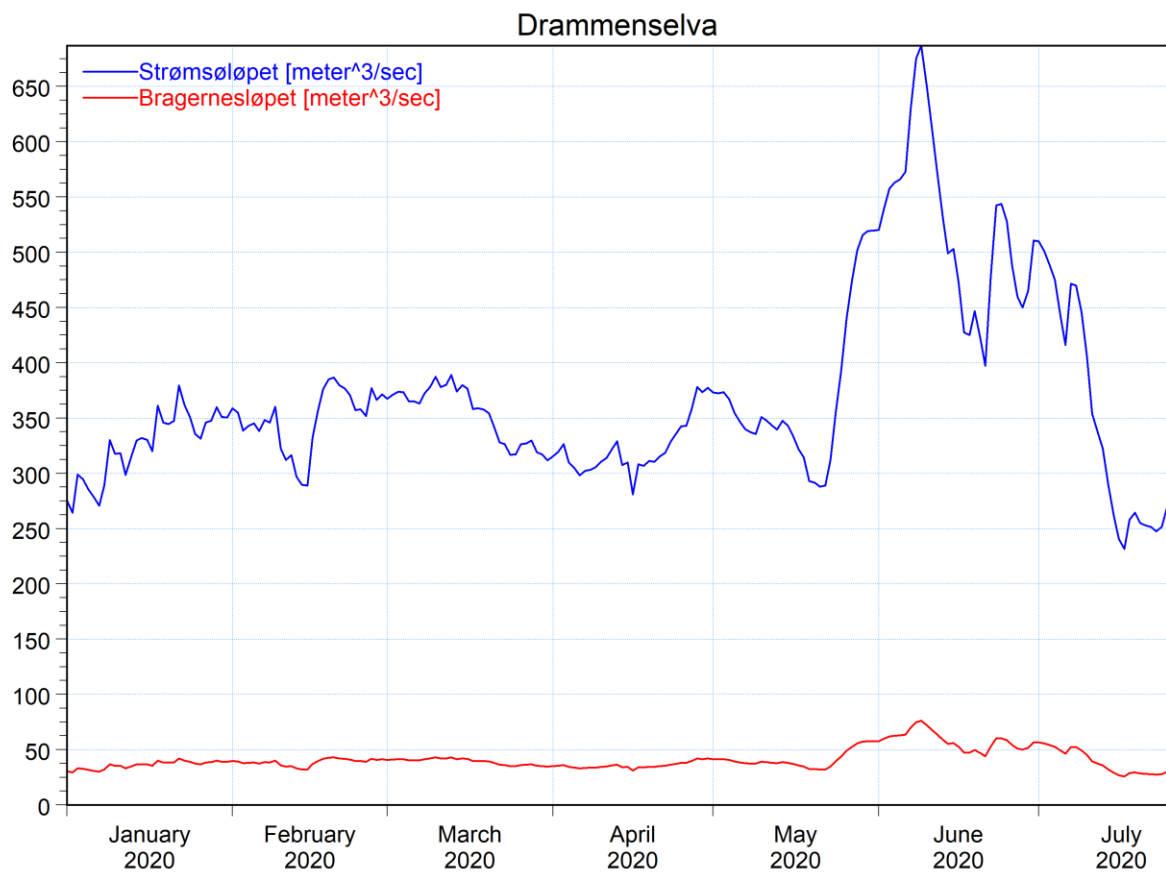
Kanalalternativ



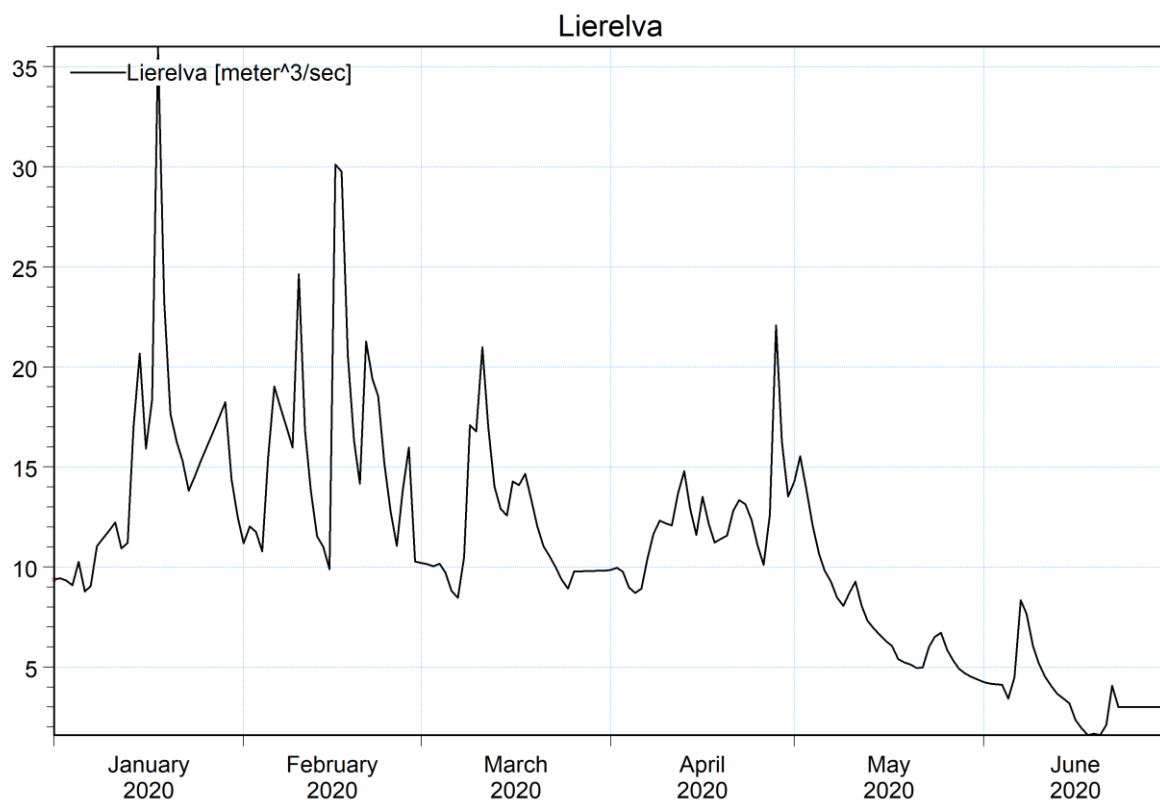
Appendiks C Simuleringsscenarier

Navn	Mesh	Formål	Varighet	Sim -periode fra:
BL_200724_run211.m3fm	helfjord_200724.mesh	Validering	2 mnd	01/05/20
Null_200812_warmup_run1	Nullalt-200811.mesh	Innkjøring	1 mnd	01/02/20
Null_200812_run100	-do-	Konsekvens	2 mnd	01/03/20
Null_200812_run200a	-do-	-do-	-do-	01/05/20
Kanal-A_200816_warmup_run1	Prosjekt_20200816 (grovere).mesh	Innkjøring	1 mnd	01/02/20
Kanal-A_200816_run100	-do-	Konsekvens	2 mnd	01/03/20
Kanal-A_200816_run200b	-do-	-do-	-do-	01/05/20
TR_Kanal-A_200816_run101c	Prosjekt_20200816 (grovere).mesh	Stoff-transport	5 døgn	11/03/20
TR_Kanal-A_200816_run102a	-do-	-do-	-do-	31/03/20
TR_Kanal-A_200816_run103b	-do-	-do-	-do-	20/04/20
TR_Kanal-A_200816_run201	-do-	-do-	-do-	11/05/20
TR_Kanal-A_200816_run202	-do-	-do-	-do-	31/05/20
TR_Kanal-A_200816_run203	-do-	-do-	-do-	20/06/20
TR_Kanal-B_200816_run101c	-do-	-do-	-do-	11/03/20
TR_Kanal-B_200816_run102b	-do-	-do-	-do-	31/03/20
TR_Kanal-B_200816_run103	-do-	-do-	-do-	20/04/20
TR_Kanal-B_200816_run201	-do-	-do-	-do-	11/05/20
TR_Kanal-B_200816_run202	-do-	-do-	-do-	31/05/20
TR_Kanal-B_200816_run203	-do-	-do-	-do-	20/06/20
TR_Kanal-C_200825_run101	Prosjekt_20200816 (grovere)_grøft.mesh	-do-	-do	11/03/20
TR_Kanal-C_200825_run102	-do-	-do-	-do-	31/03/20
TR_Kanal-C_200825_run103	-do-	-do-	-do-	20/04/20
TR_Kanal-C_200816_run201	-do-	-do-	-do-	11/05/20
TR_Kanal-C_200816_run202	-do-	-do-	-do-	31/05/20
TR_Kanal-D_200825_run101	Prosjekt_20200816 (grovere)_flatbunn=-4.mesh	-do-	-do-	11/03/20
TR_Kanal-D_200825_run102	-do-	-do-	-do-	31/03/20
TR_Kanal-D_200825_run103	-do-	-do-	-do-	20/04/20
TR_Kanal-D_200816_run201	-do-	-do-	-do-	11/05/20
TR_Kanal-D_200825_run202	-do-	-do-	-do-	31/05/20

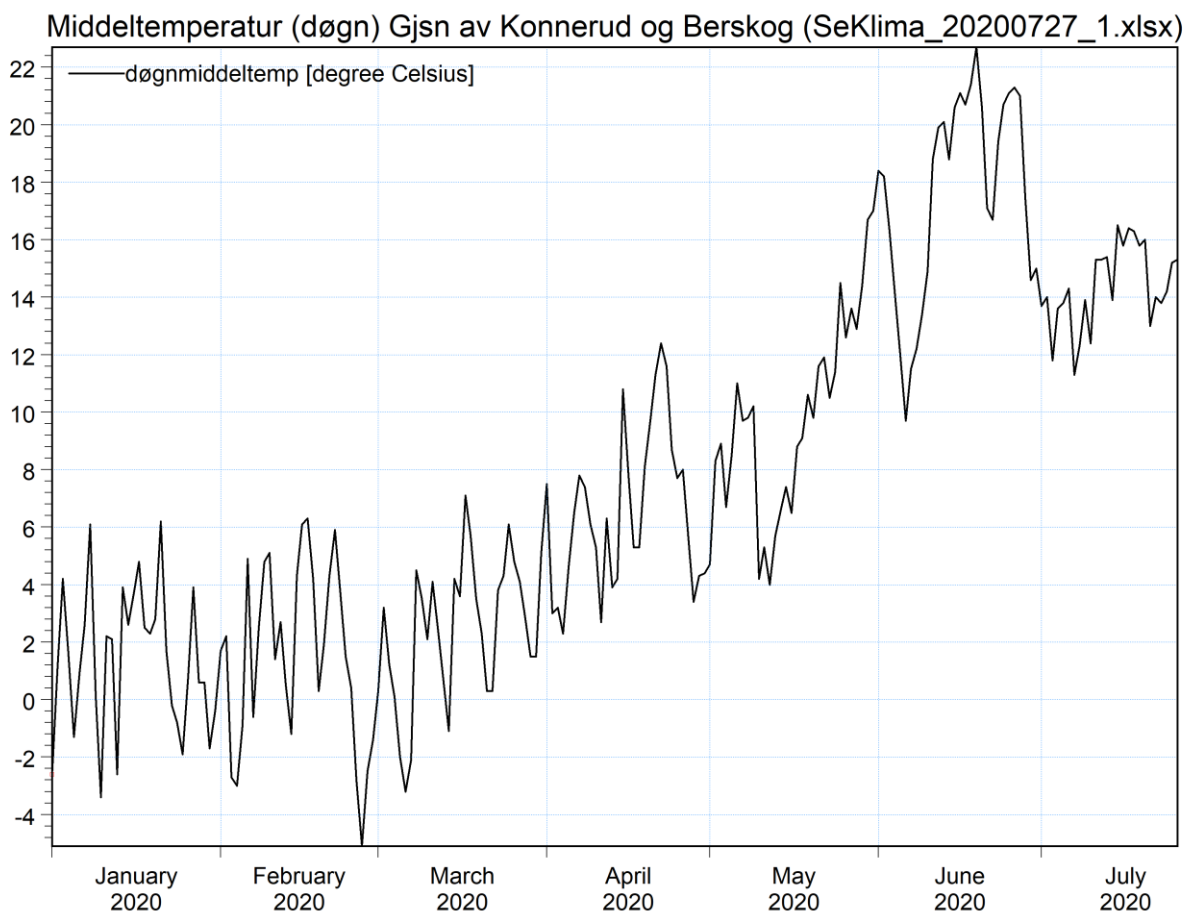
Appendiks D Grensebetingelser



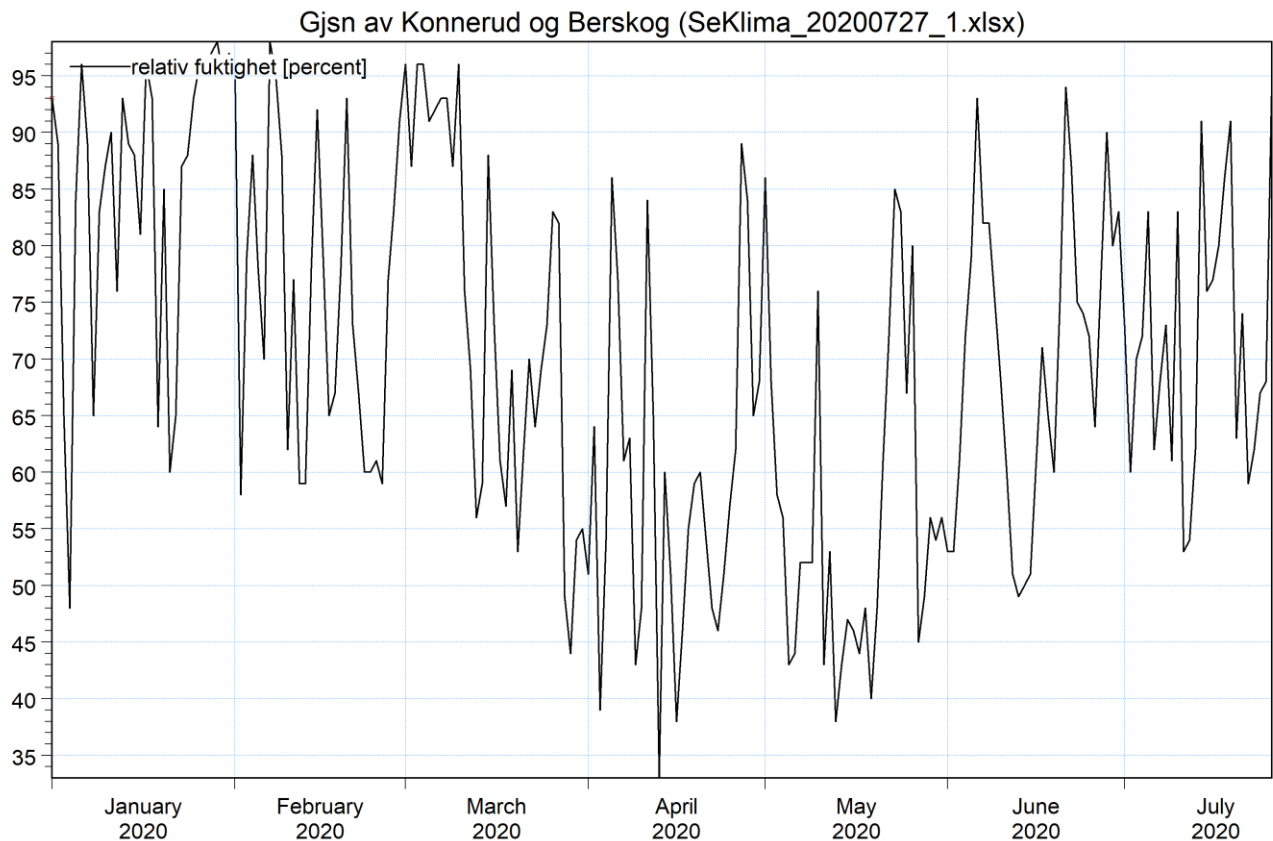
Figur 72 Vannføring i Drammenselva (Strømsløpet og Bragernesløpet).



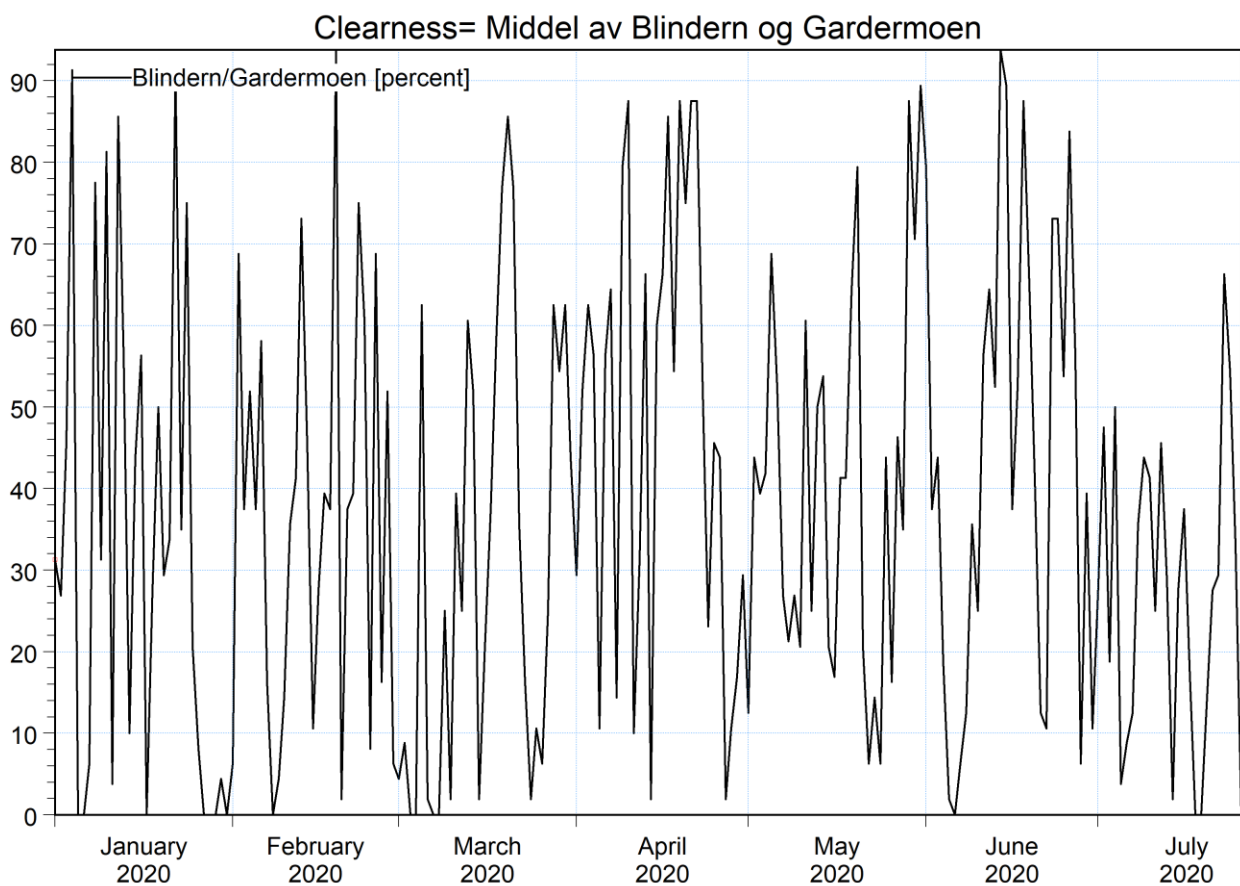
Figur 73 Vannføring i Lierelva.



Figur 74 Lufttemperatur (døgnmiddel) brukt for beregning av varmeutveksling (vann<>atmosfære.) Et 5-døgns glidende middel er brukt som temperatur på ferskvannstilførsel fra Drammenselva og Lierelva.



Figur 75 Relativ fuktighet (%) til bruk for varmeutveksling med atmosfæren.



Figur 76 «Klarhimselfprosent» til bruk for beregning av varmeutveksling med atmosfæren.