

KYSTVERKET BORG HAVN

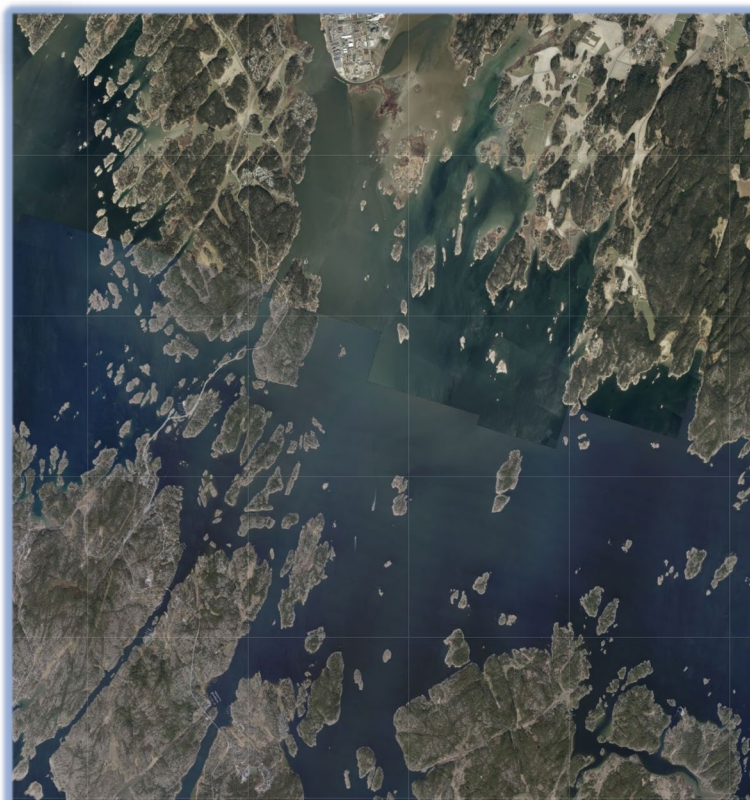
Borg havn utbedring av farled: Dokumentasjon på påvirkning i gyteperiode for kysttorsk samt utredning av vannutskiftning.

Kystverket

Rapportnr.: 2021-0774, Rev. 0

Dokumentnr.: 1044755

Dato: 2021-02-25



Prosjektnavn: Kystverket Borg Havn DNV GL AS Oil & Gas
Rapporttittel: Borg havn utbedring av farled: Dokumentasjon Environmental Risk Management
på påvirkning i gyteperiode for kysttorsk samt Veritasveien 1
utredning av vannutskiftning.
Oppdragsgiver: Kystverket, Sorenskriver Bulls G. 3
6002 Ålesund
Norway 1363 Høvik
Kontaktperson: Henrik Langseth Kristoffersen Norway
Dato: 2021-02-25 Tel: +47 67 57 99 00
Prosjektnr.: 10268173 NO945748931
Org. enhet: Environmental Risk Management
Rapportnr.: 2021-0774, Rev. 0
Dokumentnr.: 1044755

Levering av denne rapporten er underlagt bestemmelsene i relevant(e) kontrakt(er):
Bestillingsreferanse 32605046. DNV GL gir Kystverket tillatelse til å fritt distribuere rapporten.

Oppdragsbeskrivelse:

Utført av:	Verifisert av:	Godkjent av:
Øyvind Fjukmoen Principal Consultant	Thomas Møskeland Senior Principal Consultant	Tor Jensen Vice President - Head of Section
Eirik Sæbø Consultant		

Beskyttet etter lov om opphavsrett til åndsverk m.v. (åndsverkloven) © DNV GL 2021. Alle rettigheter forbeholdes DNV GL. Med mindre annet er skriftlig avtalt, gjelder følgende: (i) Det er ikke tillatt å kopiere, gjengi eller videreformidle hele eller deler av dokumentet på noen måte, hverken digitalt, elektronisk eller på annet vis; (ii) Innholdet av dokumentet er fortrolig og skal holdes konfidensielt av kunden, (iii) Dokumentet er ikke ment som en garanti overfor tredjeparter, og disse kan ikke bygge en rett basert på dokumentets innhold; og (iv) DNV GL påtar seg ingen aktsomhetsplikt overfor tredjeparter. Det er ikke tillatt å referere fra dokumentet på en slik måte at det kan føre til feiltolkning. DNV GL og Horizon Graphic er varemerker som eies av DNV GL AS.

- DNV GL distribusjon:
- ÅPEN. Fri distribusjon, intent og eksternt.
 - INTERN. Fri distribusjon internt i DNV GL.
 - KONFIDENSIELL. Distribusjon som angitt i distribusjonsliste. Distribution within DNV GL according to applicable contract.*
 - HEMMELIG. Kun autorisert tilgang.

Nøkkelord:
Mudring, deponering, partikkelspredning, modellering, sedimentering, torskelarver, Borg havn

*Distribusjonsliste:

Rev.nr.	Dato	Årsak for utgivelser	Utført av	Verifisert av	Godkjent av
A	2021-02-15	First draft	FJUKM	THM	
0	2021-02-23	First issue	FJUKM	THM	TJEN

Innholdsfortegnelse

1	SAMMENDRAG.....	1
2	INTRODUKSJON	3
3	BAKGRUNN.....	3
3.1	Gytefelt torsk	3
3.2	Tiltak og tiltaksområder	5
3.3	Relevante tidligere studier relatert til gytefelt torsk og mudring ved Borg	8
4	VURDERING AV TILTAK OG PÅVIRKNING PÅ GYTEFELT I GYTEPERIODE FOR TORSK.....	15
4.1	Bakgrunn/hensikt	15
4.2	Effekter på torsk, egg og larver fra suspenderte partikler	15
4.3	Metode	19
4.4	Risikovurdering tiltak og gyteperiode	24
4.5	Diskusjon	32
4.6	Konklusjon og anbefalinger	33
5	UTREDNING AV SPRENGNING GRUNNER OG VANNUTSKIFTNING.....	34
5.1	Bakgrunn/hensikt	34
5.2	Metode	34
5.3	Konklusjon	44
5.4	Vurdering larvedrift basert på DHIs modellering	45
6	REFERANSER	47

VEDLEGG A - DHI rapport. Strømningsmodell i Hvalerskjærgården

- Vannutvekslingen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene

1 SAMMENDRAG

DNV GL i samarbeid med DHI har på vegne av Kystverket utført en studie av mulige effekter på kjente gytefelt for torsk fra planlagte mudring og sprengningsoperasjoner i innseilingsleden til Borg havn.

Det er gjort vurderinger av om tiltak i noen deler av tiltaksområdet kan foregå i gyteperioden for kysttorsk (1. januar – 30. april) uten å belaste gytefeltene.

Det er også utredet om sprengning av grunner i ytre deler av tiltaksområdet vil kunne endre vannutveksling mellom «utsiden» og «innsiden» av Hvalerøyene slik at området potensial som gytefelt kan forringes.

Vurderingene for spredning av partikler og påvirkning på gytefeltene

Vurderingene for spredning av partikler og påvirkning på gytefeltene fra dette er konservative, og verst tenkte tilfelle («worst case» scenarier) er benyttet:

- Vurderinger er basert på opprinnelige omsøkte mengder masser.
- Modelleringsdata av partikkelspredning (DREAM, utført av SINTEF i 2018) omfatter utførelse av tiltak i periode med størst vannføring i Glomma (mai) hvor det er forventet størst spredning av partikler i overflatelaget av vannmassene og særlig fra de nordligste mudringsoperasjoner ved Borg havn (tiltaksområde Borg 1), mens det i gyteperioden for torsk vil være mindre vannføring i Glomma og mindre sannsynlighet for spredning fra disse operasjonene.
- Det er benyttet modellresultater med 95% konfidensintervall for antatte mengder av forurensede masser som fjernes. Altså konservativt med tanke på spredning av masser i de øverste sedimentlag i Røsvikrenna og Fuglevikbukta.

Gjennomgang av modellerte scenarier (SINTEF, 2018) og vurderinger av effekter basert på litteraturstudie og kjente grenseverdier har vist at:

- Det konkluderes generelt med at mudring av masser ved alle grunner sør for grunnen Flyndregrunnen har høy konflikt med gytefelt for torsk og bør ikke utføres i gyteperioden (1. januar-30. april). Øvrige arbeidsoperasjoner innenfor tiltaket har lav eller ingen konflikt og bør kunne utføres i gyteperioden.
- Mudring av forurensede masser med langtrekkende bakgraver i Borg 1, mudring av ikke-forurensede masser med liten sugemudrer i Borg 1 og deponeringer ved Svaleskjær vil ikke påvirke gytefeltet for torsk negativt, og kan utføres i gyteperiode for torsk.
- Deponeringer ved Møkkalasset vil ikke påvirke gytefeltet Flyndregrunnen negativt (teoretiske verdier på <0,002 mg/l) og kan utføres i gyteperiode for torsk.
- Mudring av forurensede masser med bakgraver i Borg 1 representerer verst tenkte tilfelle for spredning fra operasjonene i Borg 1 og har sedimentasjon som viser noe overlapp med nordlig grense av gytefelt Flyndregrunnen. Grad av konflikt ansees som lav, og kan utføres i gyteperiode for torsk forutsatt at metode benyttes tilsvarende det som er modellert. Total deponering i randsone gytefeltet nord viser et nedslag på maksimalt 0,3-1 mm etter fullført operasjon. Maksimal eksponering av partikler i vannmassen er 8,5 mg/l (1 time totalt for hele perioden). Antall timer med eksponering over 3 mg/l er 23 timer for hele mudringsoperasjonen, sjelden over 2 timer sammenhengende. Antall timer med eksponering over 5 mg/l er totalt 5 timer for hele mudringsoperasjonen.

- Mudring av ikke-forurensede masser med wireoperert grabb og stor sugemudrer Borg 1 og 2 har høy grad av konflikt for deloperasjoner mudring Belgebåen, Fugleskjær, Tjeldholmen, og Lubbegrunnen, noe for Løpeungen, og bør ikke mudres i gyteperiode for torsk. Operasjoner i Borg 1 kan utføres i gyteperiode for torsk.
- Tiltak for å minimere spredning under mudring og deponerings operasjonene må benyttes. Det er av stor viktighet at operasjonene utføres skånsomt ved at diffusor benyttes under deponering og at det ved mudring med bakgraver for eksempel ikke graves større volum enn det skuffen kan holde og at måten graveskuffen beveges gjennom vannet til overflaten utføres kontrollert. Ved sugemudring skal systerne ikke overfylles. Avvik fra dette vil kunne medføre større spredning av partikler enn det de modellerte scenarier tilsier.
- Et overvåkingsprogram som kontinuerlig monitorer tilførsel av partikler til gyteområdene bør være på plass ved mudring i gyteperiode for torsk.

Utredning av mudring/ sprengning og effekter på vannutskiftning basert på DHIs hydrodynamiske modellering

- Valideringer av modellen har vist at modellen beskriver tidevann og residual vannstand godt, sammenligningene av strømhastighetene viser en fornuftig overenstemmelse, og at lagdelingen for salinitet og temperatur er godt beskrevet.
- Undersøkelsen av vannutvekslingen er basert på inn- og utstrømningslinjer, og massebudsjetter, som beskriver inn- og utstrømning av vann, salt og varme over utvalgte tverrsnitt, og vann, salt og varmebalanse innenfor de to gyteområdene.
- Undersøkelsene før- og etter tiltak viser for inn- og utstrømningslinjene at det kun er en liten endring i gjennomstrømningen, som kan sies å være såpass liten at endringen i vann, salt og varmeutvekslingen er minimal. Det skal merkes at det i perioden hvor det er lavere vannføring i Glomma (januar-april), kommer det mer tidevann opp i Glomma fra Østerelven etter tiltak. Dette tidevannet ser ut til å gå delvis ut gjennom Vesterelven, siden mer salt strømmer gjennom her etter tiltak. Den totale vannføringen endres likevel ikke mye. Når vårfloppen kommer (mai - juni) er endringen mellom før- og etter tiltak liten.
- For vannutvekslingen til de gitte gyteområdene til torsk er det minimal endring i det stående vannet, -saltet og -varmen i massebudsjettene.
- Det er også vist at lagdelingen i interesseområdet er tilnærmet uendret før- og etter tiltak.
- Den planlagte mudringen/sprengningen av fem grunner og i Glomma ved Røsvikrenna har svært begrenset innvirkning på den samlede vannutvekslingen for Hvalerskjærgården. Med hensyn til vann, varme og saltbalansen i de to gyteområdene, har prosjektet nærmest en ubetydelig effekt.

2 INTRODUKSJON

Kystverket har mottatt tillatelse gitt av Miljødirektoratet, til mudring, sprengning og deponering i forbindelse med utbedring av innseilingen til Borg havn (18.10.2019). Tillatelsen er gitt på strenge vilkår for å hindre at tiltaket får uakseptable negative konsekvenser for berørte, svært verdifulle og sårbare naturverdier og for friluftslivsinteresser. I tillatelsen stilles det blant annet krav om utredning av mulige endringer i vannutskiftning skapt av tiltakene. Det settes som forutsetning for eventuelt arbeid i gyteperioden for torsk at:

Senest 9 måneder før anleggsarbeidet igangsettes skal Miljødirektoratet, for at det eventuelt skal være aktuelt å gjennomføre tiltak i gyteperioden for torsk, motta følgende informasjon:

- Teoretisk dokumentasjon på at tiltak i noen deler av tiltaksområdet kan foregå i gyteperioden for kysttorsk (1. januar – 30. april) uten å belaste gytefeltene, jf. Tillatelsen pkt 4.1.

Senest 9 måneder før anleggsarbeidet igangsettes skal Miljødirektoratet motta følgende informasjon:
- Utredning av om sprengning av grunner i Borg 2 vil kunne endre vannutveksling mellom «utsiden» og «innsiden» av Hvalerøyene slik at områdets potensial som gytefelt kan forringes, jf tillatelsen pkt. 4.3.

DNV GL i samarbeid med DHI har utarbeidet denne rapporten for svare på disse to punktene. Rapporten er delt inn to hoveddeler hvor disse to problemstillingene er utredet separat; vurdering av effekter fra mudringsoperasjonene på gytefelt for kysttorsk og dokumentasjon på at tiltak i enkelte deler kan utføres uten risiko for gytefeltene (seksjon 4) og utredning av mudring/ sprengning og effekter på vannutskiftning (seksjon 5).

Vurdering av effekter fra mudringsoperasjonene er gjort basert på tilgjengelige modellresultater for partikkelspredning utført av SINTEF (2018), litteratursøk og kjente grenseverdier for effekt. Utredning av effekter på vannutskiftning er gjort basert på hydrodynamisk modellering utført av DHI i dette prosjektet.

3 BAKGRUNN

3.1 Gytefelt torsk

Gytefelt er et nøkkelområde for reproduksjon hos fisk. Utbygging og tiltak kan redusere verdien av et gytefelt gjennom å påvirke rekruttering og overlevelse. Ulike tiltak kan på forskjellige måter føre til fysiske endringer i miljøet fiskene er avhengige av. Det er likevel stor usikkerhet knyttet til hvilken effekt og hvor stor effekt forskjellige tiltak vil ha på et gytefelt (Espeland et al., 2013).

Som del av «Nasjonalt program for kartlegging av marine naturtyper» og «Program for kartlegging av gytefelt og oppvekstområder for kommersielt viktige arter i kystsonen» kartlegger Havforskningsinstituttet (HI) gytefelt for kysttorsk (*Gadus morhua*). Datasettene for Havforskningsinstituttets kartlegging av gytefelt for kysttorsk bygger på en sammenstilling av eggdata og strømmodellering. I tillegg har Fiskeridirektoratet gjort kartlegging av gytefelt (kalt gyteområder) gjennom intervjuundersøkelser/ kjent forekomst av gytemoden fisk. Intervjuundersøkelsene er ikke testet i forhold til biologiske vitenskapelige undersøkelser.

I nærområdet til Borg havn har Havforskningsinstituttet identifisert fire gytefelt for torsk (Figur 3-1). Detaljer er gitt i Tabell 3-1, to av feltene er ikke verdivurdert. I nærområdet til Borg ble det i 2019 tatt håvtrekk/prøver, disse avventer genetisk analyse og videre verdivurdering, eggantallet var oppgitt til å være relativt lavt (pers. komm., HI Sigurd Heiberg Espeland). De fire avgrensede gytefeltene identifisert

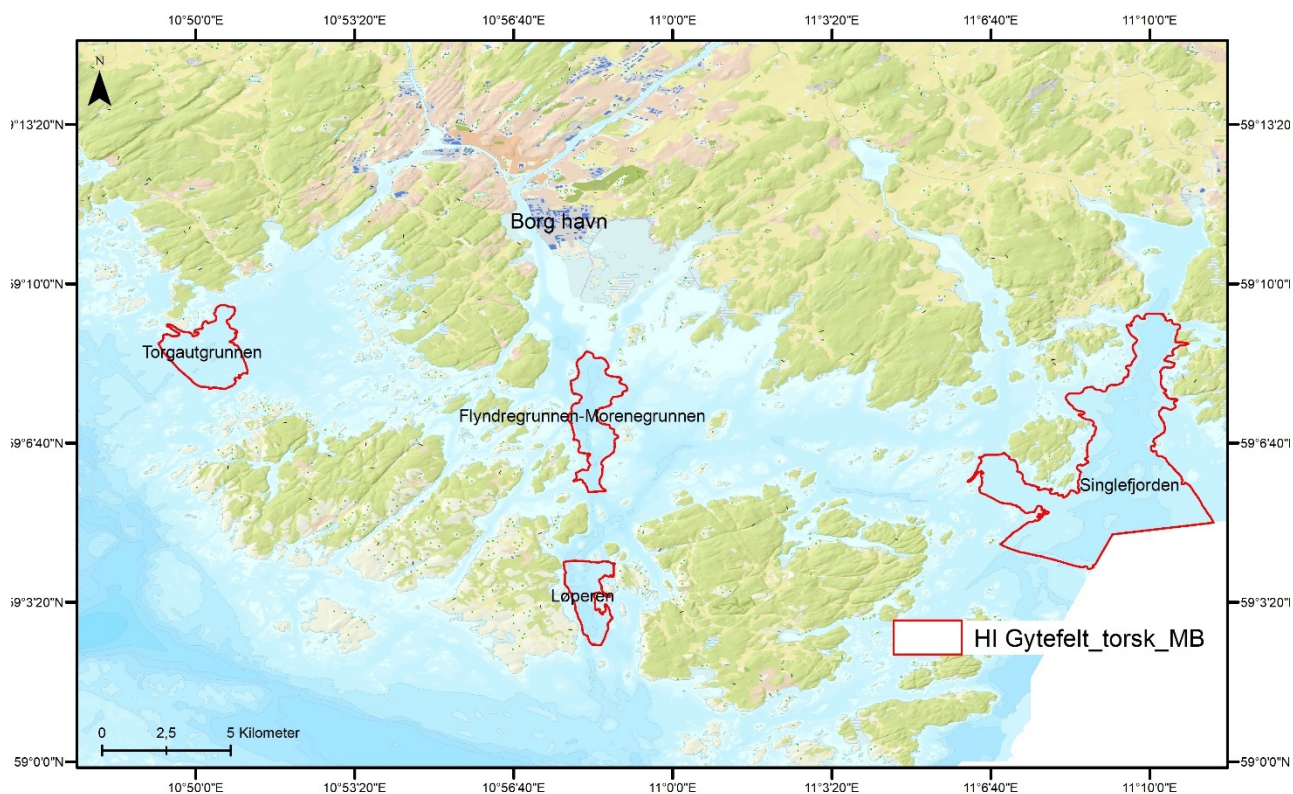
av HI danner grunnlaget for vurderinger i denne rapporten. Gytefeltet «Flyndregrunnen» ligger nærmest de planlagte mudring og deponeringsarbeider ved Borg. **Vi gjør oppmerksom på at dette gytefeltet Flyndregrunnen ikke må forveksles med grunnen «Flyndregrunnen» som skal mudres og som ligger nærmere Borg havn** (se Figur 3-2).

Gyteperioden for kysttorsk er satt til å være fra 1. januar til 30. april. For å beskytte kysttorsken i Oslofjord-området vedtok Nærings- og fiskeridepartementet i april 2019 en forskrift med forbud mot alt fiske av torsk hele året langs kysten fra og med Telemark til svenskegrensen. I tillegg forbyes all annen fiskeaktivitet av alle arter i 14 gyteområder for kysttorsken i gyteperioden 1. januar – 30. april.

Tabell 3-1 Gyteområder torsk i nærheten av Borg (kilde: Fiskeridirektoratet, kartlag Gytefelt torsk MB, <https://open-data-fiskeridirektoratet-fiskeridir.hub.arcgis.com/>).

Stedsnavn	Bmverdi*	Info	Opphav
Flyndregrunnen – Morenegrunnen	D	Kun intervjuinformasjon	HI Flødevigen
Løperen	D	Kun intervjuinformasjon	HI Flødevigen
Torgautgrunnen	C	C-1 Mindre viktig gytefelt	HI Flødevigen
Singlefjorden	C	C-1 Mindre viktig gytefelt	HI Flødevigen

* Verdivurdering henhold til DN håndbok 19-2007. C- områder som ansees som viktige på lokalt nivå, D - Ikke verdivurdert grunnet mangelfulle eggdata/retensjonsberegninger (D er ikke en kategori i DN håndbok men intern HI kategori).



Figur 3-1 Gytefelt torsk (kartlagt av Havforskningsinstituttet) i nærheten av innseiling Borg havn.

3.2 Tiltak og tiltaksområder

3.2.1 Generelt

Omsøkte tiltaksplaner omfatter fjerning/flytting av totalt ca. 3 000 000 m³ masser (forurensede masser, rene masser og utsprengt fjell samlet) fra farled inn mot Borg havn. Mengdeberegningene har endret seg siden søknaden, og tillatelsen ble gitt, og er per i dag estimert til å omfatte ca. 1 800 000 m³ masser (dvs. en reduksjon på ca. 1 200 000 m³ masser i henhold til omsøkt tiltak). En oversikt over mengder ulike delområder omsøkt tiltak og nåværende tiltak er gitt i Tabell 3-2 og Tabell 3-3.

Det bemerkes at vurderinger av effekter av mudring på gytefelt for kysttorsk, og om tiltak kan utføres i deler av tiltaksområdet (Kapittel 4) er basert på de opprinnelige omsøkte mengder. Modelleringer av partikkelspredning (SINTEF, 2018) er basert på de omsøkte masser og dermed er et konservativt mål på mulige effekter fra partikkelspredning (verst tenkte tilfelle / «worst case scenario»).

Hydrografiske modelleringer (kapittel 5) baserer seg på siste gjelde batymetridata oversendt til DHI fra kystverket, samt opprinnelige dybder der det manglet data, og er også konservativt med tanke på faktiske endringer i dyp som vil finne sted.

Det henvises til Multiconsult (2018), vedlegg til søknad, for detaljert beskrivelse av bakgrunn for tiltak og detaljert informasjon om planlagte arbeider. Kort oppsummering basert på dette er gitt under.

Tiltaksområdet for utdyping strekker seg over ca. 18 km fra Borg havn i Fredrikstad kommune til grunnen Duken i Hvaler kommune (se Figur 3-2). Leden skal utvides fra 90 til 150 m. Mudringsmasser i tilstandsklasse I-III (heretter beskrevet som ikke-forurensede masser) fra utdypingen av Borg 1 og Borg 2 skal deponeres i sjø, på henholdsvis Møkkalasset og Svaleskjær. De to sjødeponiene ligger på kommunegrensen mellom Fredrikstad og Hvaler, på Ramsø-flaket. Forurensede mudringsmasser i tilstandsklasse IV-V skal deponeres i landdeponi godkjent for mottak av forurensede sedimenter, dels i strandkantdeponi ved Frevar og dels i annet deponi som ikke er fastlagt på søknadstidspunktet.

Tiltak som skal utføres er i søknad til Miljødirektoratet oppsummert som følger:

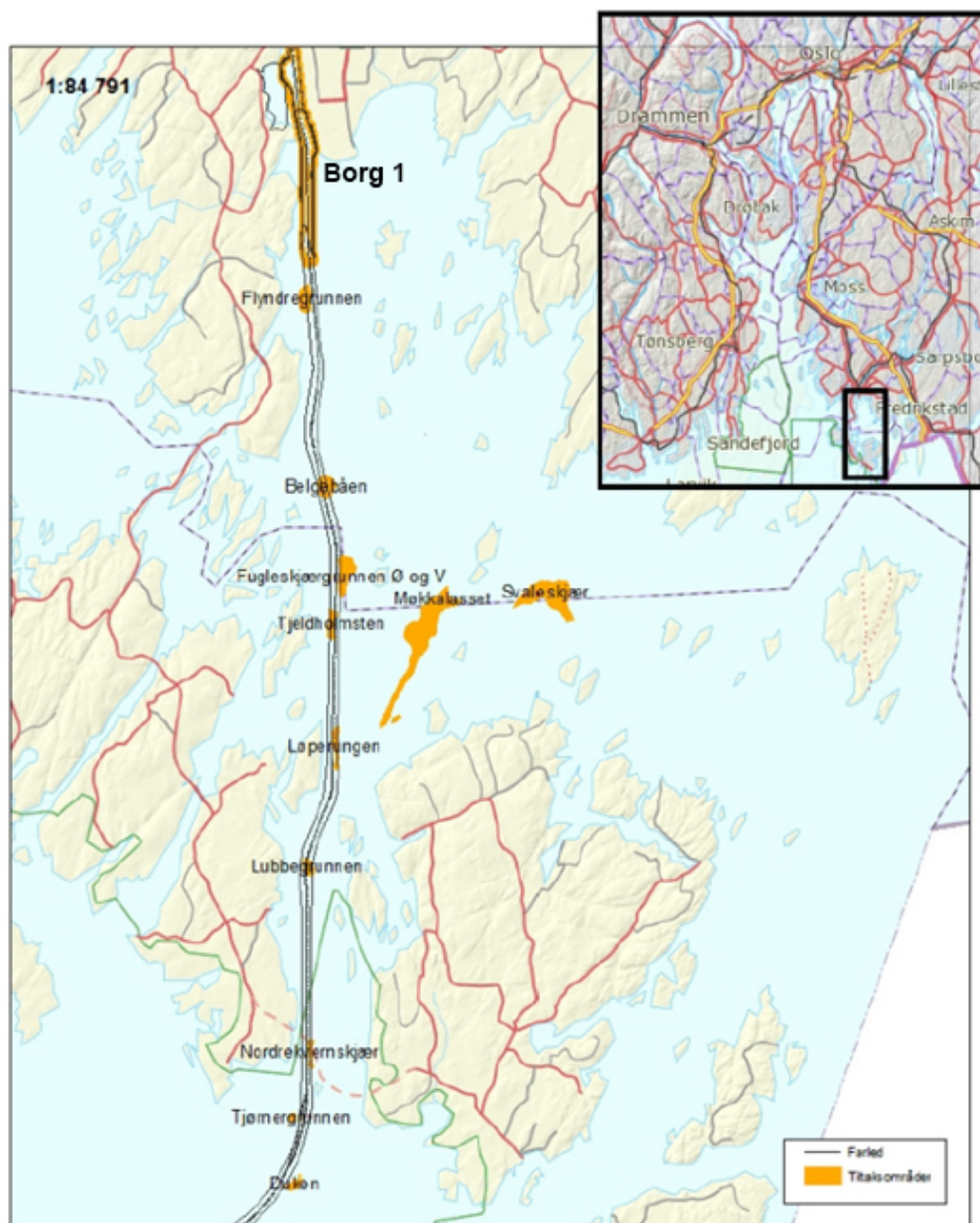
Delprosjekt 1: Borg 1

- Mudring av Røsvikrenna og området ved Borg havn samt etablering av snuplass i Fuglevikbukta.
- Mudring av ca. 700 000 m³ forurensede masser (tilstandsklasse IV-V, jfr. Miljødirektoratets veileder M-608/2016) og ca. 2 050 000 m³ rene og lettere forurensede masser, heretter omtalt som ikke forurensede masser (tilstandsklasse I-III, jfr. Miljødirektoratets veileder M-608/2016). Mengdene er oppgitt som målt in situ som faste masser.
- Sprengning av ca. 450 m³ fjell.
- Deponering av forurensede masser i deponi hos Frevar IKS samt i tilleggsdeponi som ikke er avklart på søknadstidspunktet.
- Deponering av ikke forurensede sedimenter i sjøbunnsdeponiene Møkkalasset og Svaleskjær.

Delprosjekt 2: Borg 2

- Mudring og/eller sprengning av 9 grunner fra Flyndregrunnen til Duken.
- Mudring av om lag 50 000 m³ forurensede og ca. 510 000 m³ ikke-forurensede løsmasser (målt in situ som faste masser).

- Sprengning av om lag 250 000 m³ fast fjell, sprengsteinen skal deponeres på sjøbunnen like utenfor hver grunne.
- Forurensede masser skal deponeres i deponi hos Frevar IKS, ikke-forurensede sedimenter planlegges deponert i sjøbunnsdeponiene Møkkalasset og Svaleskjær.



Figur 3-2 Farleden inn til Borg Havn ved utløpet av Glomma. Områdene Røsvikrenna og Fuglevikbukta utgjør Borg 1, grunnene Flyndregrunnen til Duken utgjør Borg 2. Områdene hvor tiltak skal gjennomføres er merket gult. Tiltaksområdet i Røsvikrenna er markert med gul strek. Det gjøres oppmerksom på at hele området innenfor gul markering skal mudres (Søknad/Multiconsult, 2018).

Tabell 3-2 Masseskjema opprinnelig omsøkt tiltak

Område		Vann dyp (m)	Rene sedimenter (m ³)	Forurense de sedimenter (m ³)	Fjell (m ³)	Total volum (m ³)
Borg 1 (Røsvikrenna)	Nordlig del inkl Fuglevikbukta	11,3	407 265	80 404	-	487 669
	Sørlike del	13,3	1 021 552	684 505	450	1 706 507
	Total Borg 1		1 428 817	764 909	450	2 194 176
Borg 2 (Grunner)	Duken	16,3	8 870	-	-	8 870
	Tjørnergrunnen	16,3	-	-	6 698	6 698
	Nordre Kvernskjær	14,7	-	-	2 474	2 474
	Lubbegrunnen	13,5	6 056	-	39 876	45 932
	Løperungen	13,5	3 724	-	58 134	61 858
	Tjeldholmsten	13,5	15 906	-	9 985	25 891
	Fugleskjærgrunnen Vest	13,3	86 107	-	81 026	167 133
	Belgebåen	13,3	221 833	-	50 082	271 915
	Flyndregrunnen	13,3	122 611	52 092	-	174 703
	Total Borg 2		465 107	52 092	248 275	765 474
Total			1 893 924	817 001	248 725	2 959 650

Tabell 3-3 Masseskjema nåværende tiltak

Område		Vann dyp (m)	Rene sedimenter (m ³)	Forurense de sedimenter (m ³)	Fjell (m ³)	Total volum (m ³)
Borg 1 (Røsvikrenna)	Nordlig del inkl Fuglevikbukta	11,3	335 690	85 576	9	421 275
	Sørlike del	12,8	402 065	423 457	173	825 695
	Total Borg 1		737 755	509 033	182	1 246 970
Borg 2 (Grunner)	Duken	-	-	-	-	-
	Tjørnergrunnen	-	-	-	-	-
	Nordre Kvernskjær	-	-	-	-	-
	Lubbegrunnen	13,3	16 583	-	25 388	41 971
	Løperungen	13,3	22 411	-	10 222	32 633
	Tjeldholmsten	13,3	22 113	-	11 624	33 737
	Fugleskjærgrunnen Vest	-	-	-	-	-
	Belgebåen	12,8	204 447	-	40 485	244 932
	Flyndregrunnen	12,8	113 953	48 111	-	162 064
	Total Borg 2		379 507	48 111	87 719	515 337
Total			1 117 262	557 144	87 901	1 762 307

3.3 Relevante tidligere studier relatert til gytefelt torsk og mudring ved Borg

Det er utført et stort antall studier i forbindelse med de planlagte mudringsoperasjoner i farled inn mot Borg og søknad til Miljødirektoratet.

Av spesiell relevans for dette prosjektet trekkes frem undersøkelser relatert til volumberegninger, forurensningsgrad i sedimentene, strømningsforhold, partikkelinnhold, modellering av partikkelspredning, og miljøkonsekvensvurdering (det henvises til vedlegg i søknaden):

- Vedlegg C: Miljøkonsekvensvurdering ved farledsutbedring til Borg havn (Rambøll, datert 13. juni 2018)
- Vedlegg D: Farledsutbedring Borg havn. Miljøgiftbudsjett (Rambøll, 13. juni 2018)
- Vedlegg E: Modellering av mudrings- og deponeringsoperasjoner. Spredning av finpartikulært materiale (SINTEF-Deltares-Van 't Hoff Consultancy, 31. mai 2018)
- Vedlegg F: Oppsummering av volumberegninger og resultater (Rambøll, 20. mars 2018)
- Vedlegg G: Strømforhold og partikkelkonsentrasjoner i nedre del av Glomma utenfor Borg havn (NIVA, 20. november 2015)
- Vedlegg H: Farledsutbedring Borg havn. Sedimentprøver og analyseresultater. (Rambøll, mai 2018)
- Vedlegg J: Statistisk analyse av forurenset sediment i Borg 1 og Flyndregrunnen, basert på samlet kjemisk analysemateriale frem til 2017 (NIVA, 9. mai 2018)
- Vedlegg K: Farledsutbedring Borg havn. Volum rent og forurenset sediment fra tiltaket – metode og resultater (Rambøll, 17. januar 2018)
- Vedlegg L: Supplerende sedimentundersøkelser, Borg havn (Multiconsult, 3. november 2017)
- Vedlegg R: Reguleringsplaner Fredrikstad og Hvaler kommuner Innseiling Borg havn- Vedlegg B multiconsult.no Generell område- og tiltaksbeskrivelse 2 Områdebeskrivelse 713909-ADM-RAP-002 6. juli 2018

3.3.1 Detaljer vedrørende volumberegninger og miljøgifter

Det er utført flere beregninger av volumer for de enkelte tiltak og antatte mengder forurensede og rene masser som fjernes/deponeres, i den senere tid av NIVA (NIVA, 2018); SINTEF og Van't Hoff (SINTEF, 2018) og av Rambøll (2018b). Rambøll (2018a) oppsummerer og sammenligner disse studiene. Beregningene er utført for ulike konfidensintervaller som gjenspeiler sannsynlighetsgrad for fjerning av forurensede masser (se for eksempel NIVA, 2018 for utfyllende forklaring). Dette er av viktighet for denne gjeldende studien siden det i de følgende vurderinger er benyttet 95% konfidensintervall, som i dette tilfellet regnes som konservativt og vil medføre størst mengde partikler (forurensede) tilgjengelig for spredning mot gytefeltene for torsk fra operasjonene i Røsvikrenna og Fuglevikbukta.

Tabell 3-4 Sammenstilling av arealer, sediment volumer i tilstandsklassene I-III og IV-V og volum av fjell som planlegges mudret og sprengt i delområdene i farleden inn til Borg havn. Det er beregnet to for-skjellige scenarier for volumet av forurenset sediment, 80 og 95 % konfidensnivå for forurensingstilstand (Rambøll, 2018c).

Område	Areal (m ²)	80 % konfidensnivå		95 % konfidensnivå		Fjell (m ³)	Total volum (m ³)	Total volume, sediment (m ³)
		Sediment i tiltaks-klasse I-III (m ³)	Sediment i tiltaks-klasse IV-V (m ³)	Sediment i tiltaks-klasse I-III (m ³)	Sediment i tiltaks-klasse IV-V (m ³)			
Røsvikrenna - Borg 1	675000	1621097	573076	1437144	757029	450	2194623	2194173
Grunner Borg 2	Duken	8900	8870	0	8870		8870	8870
	Tjørnergrunnen	3300	0	0	0	6698	6698	0
	Nordre-Kvernskjær	2412	0	0	0	2474	2474	0
	Lubbegrunnen	17800	6056	0	6056	39876	45932	6056
	Løperungen	11500	3724	0	3724	58134	61858	3724
	Tjeldholmsten	14500	15906	0	15906	9985	25891	15906
	Fugleskjørgrunnen vest	35200	86107	0	86107	81026	167133	86107
	Belgebåen	54800	221833	0	221833	50082	271915	221833
Flyndregrunnen	55400	130293	39057	127284	42066	173476	173476	
Totalt volum Borg 2		427789	39057	469780	42066	248275	764247	515972
Totalt Borg 1&2		2093886	612133	1906924	799095	248725	2954744	2706019
Deponiområder								
	Svaleskjær	150000						
	Møkkalasset	200000						

Rambøll (2018c) har utført miljøgiftbudsjett basert på tidligere studier og konkluderer med at det er kun delområdene Røsvikrenna og Flyndregrunnen som har forurensete overflatesedimenter, og disse er i mindre grad forurenset enn eksempelvis sedimenter i prioriterte havner for miljøoppdydding. En samlet oversikt over sediment volumer i tilstandsklassene I-III og IV-V er vist i Tabell 3-4. Tabellen viser også arealer av tiltaksområdene. Gjennomsnittskonsentrasjoner av stoffene inkludert i miljøgiftbudsjettet er oppsummert i Tabell 3-5. Gjennomsnittskonsentrasjonene i tilstandsklassene I-III og IV-V er benyttet for å beregne spredning som følge av selve mudrings-aktivitetene, dvs. oppvirvling ved mudring og deponering. Eksempel på antatt spredning av miljøgifter i forbindelse med mudring er gitt i Tabell 3-6.

Tabell 3-5 Gjennomsnittlige konsentrasjoner av miljøgifter (mg/kg) i sedimenter i tiltaks-klasse I-III og IV-V i Borg 1 og Borg 2. For rene sedimenter i Borg 2 er konsentrasjonene vektet etter volum masse som skal fjernes på grunnene. Sedimentene i tiltaks-klasser I-III er planlagt deponert i sjødeponiene Svaleskjær og Møkkalasset (Rambøll, 2018c).

	Borg 1			Borg 2		
	Borg 1 sedimenter i TK I-III (mg/kg)	Borg 1 sedimenter i TK IV-V (mg/kg)	Borg 1 vektet gjennomsnitt	Borg 2 sedimenter i TK I-III (mg/kg)	Borg 2 sedimenter i TK IV-V (mg/kg)	Borg 2 vektet gjennomsnitt
Kobber	23,04	82,11	38,40	26,24	70,78	30,69
Kvikksølv	0,11	0,45	0,20	0,10	0,61	0,15
Antracen	0,0054	0,124	0,036	0,0057	0,0323	0,008
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0,0113	0,117	0,038	0,0123	0,0683	0,018
Tributyltin (TBT-ion)	0,0027	0,051	0,015	0,0017	0,0074	0,0023
PCB7	0,0036	0,066	0,020	0,0011	0,0234	0,0033

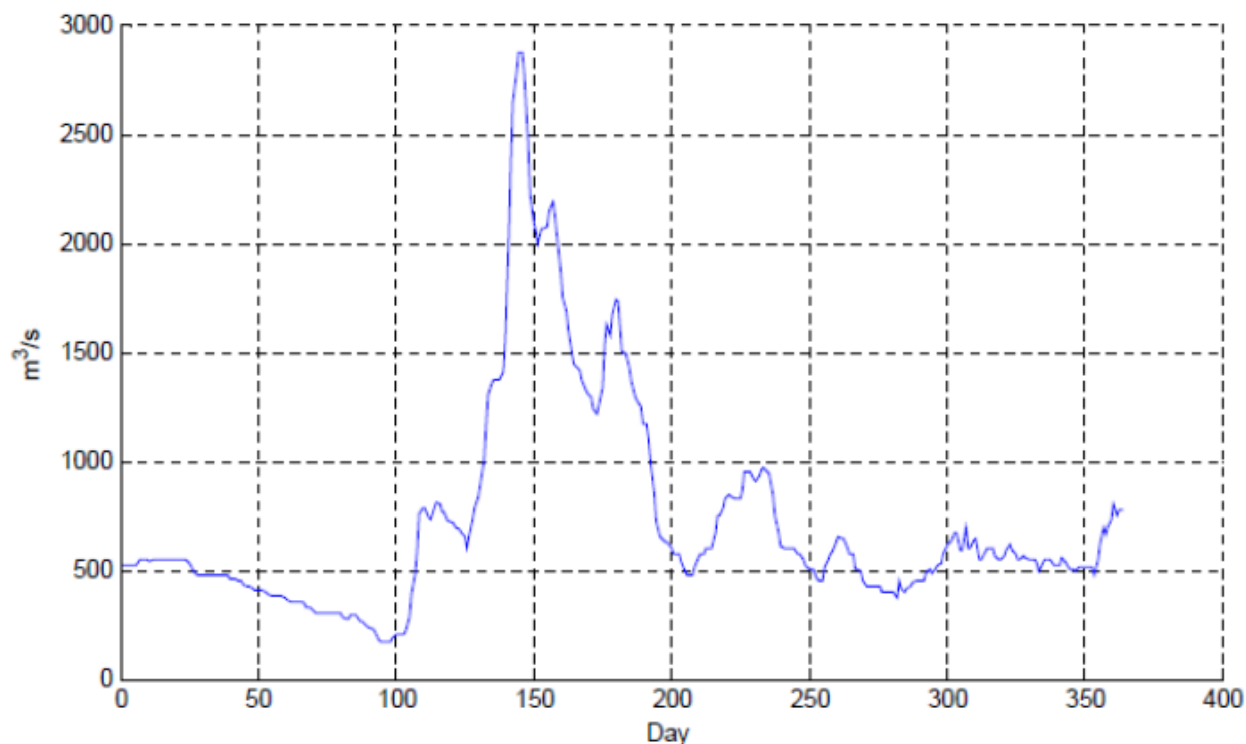
Tabell 3-6 Beregnet spredning av kobber, kvikksølv, antracen, indeno(1,2,3 - cd)pyren, tributyltin (TBT), og klorerte bifenyler (PCB7) (g) fra sedimentene i mudreområder under tiltak. Spredning er beregnet separat for sedimenter i tilstandsklasser (TK) I-III og IV-V (Rambøll, 2018c).

Mekanisme	Enhet	Kobber	Kvikksølv	Antracen	Indeno (1,2,3-cd) pyren	TBT	PCB7
Spredning som følge av mudring							
Alternativ 1: 80 % konfidensnivå i volumberegninger							
Spredning ved oppvirvling, Borg 1 og 2, TK I-III	g/2 år	146 009	659	34	71	15	19
Spredning ved oppvirvling, Borg 1 og 2, TK IV-V	g/2 år	182 826	1 028	267	257	109	143
Porevannsutpressing under mudring	g/2 år	2 684	4	102	1	1 374	8
Alternativ 1: 95 % konfidensnivå i volumberegninger							
Spredning ved oppvirvling, Borg 1 og 2, TK I-III	g/2 år	135 210	610	31	66	14	18
Spredning ved oppvirvling, Borg 1 og 2, TK IV-V	g/2 år	237 321	1 335	347	333	142	186
Porevannsutpressing under mudring	g/2 år	2 684	4	102	1	1 374	8
Bidrag fra sedimentene - lik for begge alternativer							
Diffusjon fra sediment mudreområde i Borg 1 som mudres	g/år	2 682	4	133	1	1 142	4
Oppvirvling som følge av propellersjon i mudreområde Borg 1	g/år	166 960	876	244	168	1 138	97
Transport via organismer i område Borg 1 som mudres	g/år	45	0	44	4	1 699	32
Diffusjon fra sediment i område Borg 2 som mudres	g/ år	678	1	11	0	64	1
Oppvirvling som følge av propellersjon i mudreområde Borg 2	g/år	52 540	254	22	34	88	15
Transport via organismer i område Borg 2 som mudres	g/år	11	0	4	1	131	5
Alternativ 1: 80 % konfidensnivå i volumberegninger							
Total spredning fra mudreområde under to år (hele tiltaksperiode)	g/2 år	777 350	3 962	1318	746	10 023	478
Sum spredning under tiltak (g/år)	g/år	388 675	1 981	659	373	5 012	239
Alternativ 2: 95 % konfidensnivå i volumberegninger							
Total spredning fra mudreområde under to år (hele tiltaksperiode)	g/2 år	821 047	4 220	1396	817	10 055	520
Sum spredning under tiltak (g/år)	g/år	410 523	2 110	698	408	5 027	260

3.3.2 Spredningsmodellering

Opprinnelige beregninger og modellerte scenarier (SINTEF, 2018) er benyttet i dette prosjektet da de utførte scenarier er antatt å representere «worst case» scenarier/ verst tenkte tilfelle av mulige effekter på gytefeltene for torsk. Det foreligger ikke modellerte resultater basert på nåværende masseberegninger for tiltak. Begrunnelse for å benytte de allerede utførte modelleringene er at det er ønskelig å følge føre var prinsippet og ha en konservativ tilnærming til vurdering av om det vil være mulig å utføre enkelte operasjoner i gytetiden for kysttorsk (1. januar – 30. April). Følgende antakelser støtter opp under at denne tilnærmingen vil være konservativ:

- Vurderinger er basert på spredningsmodelleringer for opprinnelige omsøkte mengder masser, som i nåværende fase i utbedringsprosjektet er redusert med omtrent 1 200 000 m³ masser i forhold til de omsøkte mengder.
- Spredningsmodelleringene er utført for perioden april-oktober (og sammenfaller dermed ikke med gyteperioden). Modellresultatene er likevel vurdert å representere «worst case scenario» da modellen dekker tidsperiode med størst vannføring i Glomma (mai, se Figur 3-3) og dermed representerer størst mulig spredning i de øverste vannmassene fra mudringsoperasjonene i Røsvikrenna og Fuglevikbukta (Borg 1).
- Det er benyttet modellresultater med 95% konfidensintervall for antatte mengder av forurensete masser som fjernes. 80% konfidensintervall kunne vært benyttet, men 95% ansees som mest konservativt med tanke på spredning av partikler fra de øverste sedimentlag i Røsvikrenna og Fuglevikbukta.



Figur 3-3 Vannføring i Glomma Januar – Oktober 2013 (Michelsen og Alver, 2015) som er brukt som inngangsdata i SINMOD modellen. Merk toppen i vannføring som opptrer i mai måned, og vil representere teoretisk topp i spredning fra mudringsoperasjoner i Røsvikrenna og Fuglevikbukta mot gytefelt for Torsk.

Om DREAM modellen

SINTEF har gjennomført modelleringer for å vurdere spredning av finpartikulært materiale som følge av mudring og deponering ved ulike metoder. Modelleringene er gjort ved hjelp av SINTEFs partikkelbaserte DREAM-modell (se SINTEF, 2018).

DREAM-modellen bruker et detaljert datasett for strøm generert av SINTEFs numeriske 3D-modell SINMOD. Datasettet dekker de hydrodynamiske forholdene i innseilingen til Borg havn fra 1. april til 8. oktober 2013 og inkluderer de tidsavhengige variasjonene i Glommas vannføring, tidevannsstrømmer og barokline strømmer (strøm som er drevet av helning av tetthetsflater i vannet) samt atmosfæriske påvirkninger. Siden strømdatasettet kun dekker en periode på drøyt 6 måneder, har alle de ulike mudrings- og deponeringsscenariene blitt modellert separat. Dette betyr at det samme strømdatasettet har blitt brukt for alle simuleringene. Det understrekes at den faktiske totale tidsperioden for mudringen av innseilingen til Borg havn vil avhenge av metoder og tidsplan som utarbeides av den valgte operatøren.

Borg havneområde inneholder både forurenset og ikke-forurenset sediment og stein. Basert på omfattende feltmålinger ble lokalitetene av de forskjellige bunnmaterialene bestemt for to usikkerhetsnivåer (konfidensintervall) på 80 % og 95 %. For detaljer se for eksempel NIVA (2018).

Basert på forholdene i Borg havneområde, sediment undersøkelsen og formålet med mudringsarbeidet ble egnede og validerte mudringsteknikker brukt i simuleringen. Mudringsteknikkene ble valgt for å muliggjøre diagnostisk modellering, men valgene forutsetter ikke at det ikke kan være enda mer praktiske og "formålstjenlige" teknikker eller tenkelige operasjoner. For turbiditetsmodelleringen ble kildeverdier tatt fra internasjonal litteratur, felt- og laboratoriemålinger. Disse kildene for turbiditet ble tilpasset DREAM-modellen, som betyr at kun de fine fraksjonene som er tilgjengelig for spredning fra mudrings- og deponeringsoperasjoner, ble modellert, ikke de store klumpene. Med denne tilnærmingen oppnås et akseptabelt nøyaktighetsnivå for å få en idé om hvilke turbiditetsnivåer man kan forvente fra mudringsoperasjonene, gitt det beste og riktige valget av mudringsteknikk.

Modelleringene av mudringsoperasjonene baserer seg på følgende metoder:

- Mudring med bakgraver (forurensete masser)
- Mudring med wireoperert grabb (rene masser)
- Mudring med liten sugemudrer (rene masser)
- Mudring med stor sugemudrer (rene masser)
- Deponering gjennom rør med diffusor (rene masser, mudret med enten wireoperert grabb, liten eller stor sugemudrer).

Bildeeksempler på utstyr/metode er gitt i Figur 3-4. Detaljer omkring ulike mudringsteknikker finnes i DNV (2008). Se videre detaljer for modellerte scenarier i avsnitt 4.3.



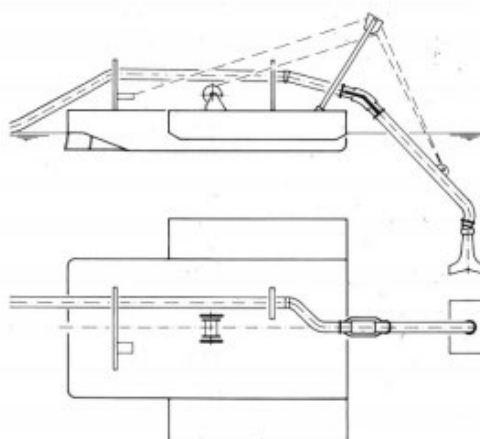
Bakgraver



Grabb med wire



Sugemudrer



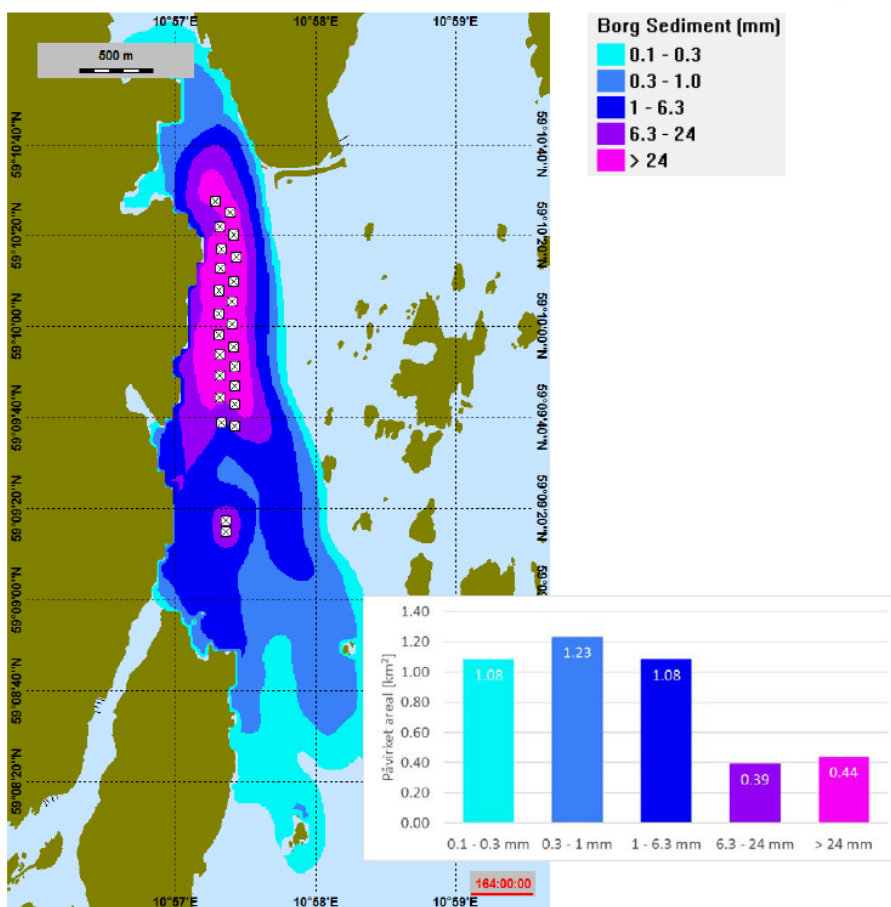
Diffusor, brukt under deponering (SINTEF, 2018)

Figur 3-4 Eksempler på mudring og deponeringsutstyr modellert i SINTEF's DREAM modell. Bakgraver (Kilde: Secora og www.udl.com.hk). Wireoperert grabb (kilde: Skanska). Utstyr for sugemudring (kilde: www.damen.nl og NCC, Håkonsvern, Bergen). (DNV, 2008). Diffusor (kilde: SINTEF, 2018).

Tabell 3-7 gir en oppsummering over totalt mudret/deponert forurensete og ikke-forurensete masser samt av volum tilgjengelig for spredning, fremkommet ved modellering (antatt å tilsvare 5% av den totale massen). Modelleringen har vist at det er svært liten forskjell mellom spredning av finpartikler i vannsøylen og deponering i sjøbunnsdeponi for 80 % og 95 % konfidensintervall. Spredningen av finpartikler i vannsøylen under mudringsoperasjonen varierer med strømf forholdene. Men når mudringsoperasjonen er avsluttet, vil konsentrasjonen av finpartikler i vannsøylen raskt falle under terskelnivået på 3 mg/l (Multiconsult, 2018).

Tabell 3-7 Totalt mudret volum og volum tilgjengelig til spredning i vannsøylen (SINTEF, 2018).

	Konfidensintervall	Mudret volum	Volum tilgjengelig for spredning
Total mudret/deponert - forurenset masse	80 %	742 433 m ³	37 122 m ³
	95 %	963 728 m ³	48 186 m ³
Total mudret/deponert – ikke-forurensete masser	80 %	2 545 293 m ³	185 656 m ³
	95 %	2 354 985 m ³	171 822 m ³
Totalt volum mudret masse (inkludert over-mudring) og volum tilgjengelig til spredning	80 %	3 287 726 m ³	222 777 m ³
	95 %	3 318 713 m ³	220 008 m ³



Figur 3-5 Sediment tykkelse ved slutten av mudring forurensete masser med bakgraver ved Borg 1 og Borg 2 (grunnen Flyndregrunnen). Deponering av forurensete masser > 0.1 mm i lagtykkelse. Mudrelokasjonen er angitt av den hvite firkanten. Påvirket areal i de ulike intervallene er gitt i diagrammet (SINTEF, 2018).

4 VURDERING AV TILTAK OG PÅVIRKNING PÅ GYTEFELT I GYTEPERIODE FOR TORSK

4.1 Bakgrunn/hensikt

Hensikten med deloppgaven er å gjøre vurderinger av om tiltak i noen deler av tiltaksområdet kan foregå i gyteperioden for kysttorsk (1. januar – 30. april) uten å belaste gytefeltene.

4.2 Effekter på torsk, egg og larver fra suspenderte partikler

En oppsummering av noen relevante studier relatert til effekter på torsk, egg og larver er gitt under. Tabeller som oppsummerer resultater fra forsøk relatert til mengde partikler i vannmassene er gitt i Tabell 4-1. Noen studier relatert til forurensningskomponenter (PAH) i vannmassene og larver/ egg er oppsummert i Tabell 4-2.

4.2.1 Generelt

Fiskeegg og larver er generelt mer følsomme for endringer i det naturlige vannmiljø enn voksen fisk. I tillegg har ikke fiskelarver evnen til å svømme vekk fra en partikkelsky på samme måte som voksen fisk og kan derfor potensielt bli eksponert over lengre tid. «Skremme effekter» som holder voksne borte fra gytefeltene må sees i sammenheng med partikkelkonsentrasjon og varighet.


Overlevelse av pelagiske fiskeegg antas først og fremst å avhenge av deres evne til å holde seg flytende i de øvre vannlag hvor det er mest gunstige forhold for overlevelse og utvikling. Ved eksponering fra partikler som hefter seg til eggene kan disse begynne å synke. Eggene vil da synke til de treffer på vannlag med høyere tetthet, eller legger seg på bunnen. I begge tilfeller vil det medføre økt fare for å påtreffes anoksiske forhold, eller vil være ugunstig grunnet økt predasjon, mekanisk eller fysiologisk stress (Engell-Sørensen, 2001).

Fiskelarver er antatt å være mer sensitive til suspendert sediment enn fiskeegg, effektene klassifiseres som sub-letale og letale. For mange arter er synet svært viktig når det gjelder å finne føde, og flere arter deriblant torsk oppdager bytte først ved avstander på noen mm (Batty, 1987; Bone et al., 1995). Det er kritisk viktig at larvene finner føde innen et par dager etter at plommesekk næringen er brukt opp ellers er det risiko for at de vil bli for svake for å søke føde. Ved økt turbiditet (partikkelmengde) i vannet vil sjansen for overlevelse av larver reduseres, og det er dessuten økt sannsynlighet for at partikler vil feste seg til gjellene og medføre kvelning og redusert overlevelse (Groot, 1980). Tidligere undersøkelser har vist at økende turbiditet i vannsøylen fører til endret lysregime i vannsøylen, og dermed endret adferd for fisk som vertikalvandrer. Redusert lysgjennomtrengelighet førte til at bunnfisk som øyepål, laksesild og lysprikkfisk om natten vandret 20-30 m høyere opp i vannsøylen enn normalt for å spise. Torskelarver og yngel befinner seg normalt høyt i vannsøylen om natten for så å vertikalvandre ned til større dyp om natten. Når fisk som predatorer på fiskelarver vandrer høyere i vannsøylen for å spise, kan dette føre til at beitetrykket på fiskelarvene øker (DNV, 2006).

4.2.2 Kjente effekter fra økte mengder suspendert materiale

Når det kommer til effekter av økt sedimentering og turbiditet på egg og fiskelarver, er det gjort en del studier som fokuserer på effekter ved mudring- og utfyllingstiltak, det er imidlertid ikke så mange studier som omfatter torskelarver og egg. Noen relevante funn er oppsummert under.

Westerberg et al. (1996) utførte en rekke studier av effekter på økt konsentrasjon av kalk/leire partikler på blant annet voksen torsk. Studien viser at voksen torsk generelt er lite påvirket av økte partikler i vannmassene. Noe påvirkning kunne dokumenteres knyttet til orientering grunnet lavere visibilitet som



følge av økt turbiditet. Studien konkluderte med fant delvis unnvikende adferd ved 3 mg/l og total unnvikende adferd ved 6-8mg/l. Westerberg et al. (1996) fant også at torskelarver med eggsekk hadde høyere dødelighet enn torskeegg når de ble eksponert for sediment, noe som ble antatt å skyldes tilstopping av gjellene til larvene. Videre viste studien at konsentrasjoner over 10 mg/l kalk medførte raskere benyttelse av næring i plommesekk, lavere aktivitetsnivå, høyere predasjon og generelt økt dødelighet, sensitivitet var høyere for kalk partikler enn leire partikler. En viktig konklusjon fra studien var også at økt konsentrasjon av suspenderte partikler medførte økt tetthet på pelagiske torskeegg. Det ble registrert økt synkerate proporsjonal med sediment konsentrasjon og eksponeringstid. Ved de laveste konsentrasjoner (5 mg/l) var en eksponeringstid på 11 timer nødvendig for å skape en økt synkerate tilsvarende en økt synkerate ved redusert salinitet i vannet på 1 PSU (‰). Dårligere flyteevne som følge av økt turbiditet og sedimentering indikeres også i nyere studier (eks. Wenger et al.. (2017). FeBEC (2013) utførte forsøk med torskeegg og viste at små partikler kleber fast på eggene og fører til at disse synker til bunns, med målbare effekter allerede ved en partikkelkonsentrasjon på 4 mg/l. Egg utsatt for konsentrasjoner på 10 mg/L medførte utsynkning tilvarende en endring i salinitet fra 19 til 24 PSU på mindre enn 20 timer. Ved 5 mg/L eksponering ble det kalkulert at det tok 59 timer å synke fra 19-24 PSU. Det ble poengtert at klekkesid for torskeegg var 314 timer i denne studien.

Kanadiske vannkvalitetskriterier på 25 mg/L for total partikkelkonsentrasjon i lakseelver (Canadian Council of Ministers of the Environment, 2002) er satt for å garantere beskyttelse av tidlige livsstadier i laksefisker. Økt direkte dødelighet i fiskelarver er rapportert ved konsentrasjoner over 100 mg/L (Van Daltsen, 1999; Kjørboe *et al.*, 1981). Mens 3,5 mg/l er forventet å medføre subletale effekter på egg og larver (Van Daltsen, 1999). Reinardy et al. (2019) undersøkte utslipp fra gruvevirksomhet på Svalbard og fant 8% økt dødelighet av torskelarver ved eksponering av 3,2 mg/L partikler over 21 dager.

Johnston & Wildish (1982) viste at sildelarver foret i vann med 20 mg/L suspenderte sedimenter spiste mindre *Artemia* enn larver fra kontrollgruppen, noe som også ble gjenspeilet i en lavere vekstrate i eksponerte larver. Studien viste også at de minste larvene var mer følsomme enn større larver. Messieh et al. (1981) rapporterte imidlertid redusert fødeinntak hos sildelarver allerede ved 3 mg/L.

Gjennomgang av litteraturstudie i forbindelse med utvikling av PNEC verdier (Predicted No-Effect Concentration) for vektmaterialer i borevæske, inkludert vannbasert borevæske (Smit et al., 2006) oppsummerer tilsvarende funn som nevnte studier over, eller oppgir effekter ved høyere konsentrasjoner for fiskelarver (torsk ikke vurdert). Studien konkluderte med at kalkulerte PNEC verdier for ulike vektmaterialer i borevæske er over 5 ganger lavere enn forventede naturlig forekommende nivåer av suspendert partikulært materiale i vannmasser med lave mengder suspendert materiale, for alle dyregrupper av akvatiske organismer. Resultatene er ikke direkte overførbare til torskelarver eller egg i forbindelse med mudring av naturlige partikler.

Det foreligger ulike grenseverdier for forurensingskomponenter i vannmassene blant annet i vanndirektivets veiledere klassifisering av vannmasser med tanke på miljøgifter (Direktoratsgruppa vanndirektivet, 2018), og en rekke giftighetsvurderinger foreligger for liv i vannmasser generelt. Det er viktig å skille mellom korttidseffekter som kan opptre ved mudring og langtidseffekter av forurensingskomponenter som vedvarer i vannmassene, for eksempel fra utlekking fra havbunnen.

Tabell 4-1 Oppsummering av relevante studier relatert til fiskelarver og egg.

Referanse	Art	Påvirkning	Eksposering	Varighet	Kriterier	Funn
Fitzpatrick et al., 2000.	Akvatiske organismer	Nedslamming	PNEC: 6,3 mm sedimentering.	Enkelttilfelle	PNEC	PNEC: 6,3 mm sedimentering.
Reinardy et al., 2019.	<i>Gadus morhua</i>	Partikler, gruveavfall	3,2 mg partikler/L	21 dager	Embryo, egg og larve, dødelighet/skader.	8% økt larvedødelighet
Westerberg et al., 1996.	<i>Gadus morhua</i> , <i>Clupea harengus</i>	Suspendert sediment	Overstigende 3 mg/L		Torsk og sild	Fisk fraviker fra vannmasser.
			Overstigende 10 mg/L		Torsk og sild	Økt dødelighet egg-sekk larver
		Suspendert sediment	5- 40 mg/L		Torskeegg	Redusert flyteevne proporsjonelt til dose og eksponeringstid
		Moreneleire	250 mg/L	3 dager	Torskeegg	Ikke signifikant økt dødelighet
		Kalk	100 mg/L	3 dager	Torskeegg	Økt dødelighet
Newcombe, 2003.	Marine fiskearter	Partikler i vannsøylen	400 mg/L		Samlet litteraturstudie	Letale effekter voksne og ungfisk.
			7 mg/L		Samlet litteraturstudie	Subletale effekter egg og ungfisk.
Van Dalfsen, 1999.	Marine fiskearter	Partikler i vannsøylen	100 mg/L		Samlet litteraturstudie	Letale effekter egg/ungfisk.
			3,5 mg/L		Samlet litteraturstudie	Subletale effekter egg/ungfisk.
FeBEC, 2013	Torsk, flyndre , sild	Suspendert sediment (grovt, fint)	500 og 1000 mg/L		Samlet litteraturstudie	Signifikant lavere fertiliseringsrate
			10 mg/L	20 timer	Torskeegg	Utsynkning tilvarende en endring i salinitet fra 19 til 24 PSU
			5 mg/L	59 timer	Torskeegg	Utsynkning tilvarende en endring i salinitet fra 19 til 24 PSU
Johnston & Wildish (1982)	<i>Clupea harengus</i>	Suspendert sediment	20 mg/L		Juvenile	Redusert fødeoptak
Messieh et al. (1981)	<i>Clupea harengus</i>	Suspendert materiale	3 mg/l		Larver	Redusert fødeinntak
Humborstad et al. (2006)	<i>Gadus morhua</i>	Suspendert sediment	550 mg/L	1- 10 dager	Voksne individer	Ikke signifikant dødelighet, men moderate gjelleskader, trolig reversible
Appelberg et al. (2005)	<i>Gadus morhua</i>	Suspendert materiale	~3-5 mg/L		Voksne individer	Fravikende adferd

Tabell 4-2 Oppsummering av relevante studier relatert til fiskelarver og egg og PAH/hydrokarboner.

Referanse	Art	Påvirkning	Eksposering	Varighet	Kriterier	Funn
Nepstad et al., 2020.	<i>Gadus morhua</i>	PAH	2-8 µmol/g	Årlig		Generell grense for letale effekter i tidlige livsfaser
Sørensen et al., 2017.	<i>Gadus morhua</i> og <i>Melanogrammus aeglefinus</i>	PAH	2,8 – 9,1 µg/L tPAH.	11 dager (fra befruktning til klekking)	Skader på Egg/embryo	Skader og misdannelser hos embryo.
			tPAH < 0,3 µg/L.	11 dager (fra befruktning til klekking)	Skader på Egg/embryo	Få til ingen effekter.
Sørensen et al., 2019.	<i>Gadus morhua</i>	PAH	Subletale doser		Senskader ved eksponering av fiskeegg	Flere senskader observert. Ingen klar doseringsrespons.
Hjermann et al. 2007.	<i>Gadus morhua</i> , <i>Mallotus villosus</i> og <i>Clupea harengus</i>	Hydrokarboner	PNEC: 90 ppb	Enkelttilfelle	PNEC	PNEC: 90 ppb

Tabell 4-3 Klassifiseringssystem for vann og sediment. Direktoratgruppen vanndirektivet (2018).

I Bakgrunn	II Gog	III Moderat	IV Dårlig	V Svært dårlig
Bakgrunnsnivå	Ingen toksiske effekter	Kroniske effekter ved langtids-eksponering	Akutt toksiske effekter ved korttids-eksponering	Omfattende toksiske effekter
Øvre grense: bakgrunn	Øvre grense: AA-QS, PNEC	Øvre grense: MAC-QS, PNECakutt	Øvre grense: PNEC _{akutt} * AF ¹⁾	

Klassifiseringssystem for vann og sediment. ¹⁾ AF: sikkerhetsfaktor

Tabell 4-4 Tilstandsklasser for kystvann (µg/l) fra Direktoratgruppen vanndirektivet (2018). Utvalgte miljøgifter funnet i sedimenter ved Borg havn.

Navn på substans	Klasse I	Klasse II	Klasse III	Klasse IV	Klasse V
	Bakgrunn	AA-EQS	MAC-EQS		Omfattende akutt tox eff.
Kobber	0 - 0.3	2.6		2.6 - 5.2	> 5.2
Kvikksølv	0 - 0.001	0.001 - 0.047	0.047 - 0.07	0.07 - 0.14	> 0.14
Antracen	0 - 0.004	0.1	0.1	0.1 - 1	> 1
Indeno(1,2,3-cd)pyren	0 - 0.000017	0.0027		0.0027 - 0.1	> 0.1
TBT		0 - 0.0002	0.0002 - 0.0015	0.0015 - 0.003	> 0.003

4.3 Metode

4.3.1 Datagrunnlag påvirkning

Modellerte data for mudring og deponering (DREAM modellen, SINTEF, 2018) er benyttet i vurderingene av påvirkning fra de ulike operasjoner. 95% konfidensintervall for sannsynlighet for fjerning av forurensede masser er benyttet, da dette vil være mest konservativt med tanke på å avklare hvilke områder som eventuelt kan mudres i gyteperioden for kysttorsk (bruk av 95% konfidensintervall innebærer at et større område vil betegnes som forurenset sammenlignet med 80% konfidens intervall. Og medfører størst mengder spredning fra Borg 1. For detaljer se for eksempel NIVA, 2018). Det bemerkes at det generelt er liten forskjell i modellresultatene mellom 80% og 95% konfidensintervall

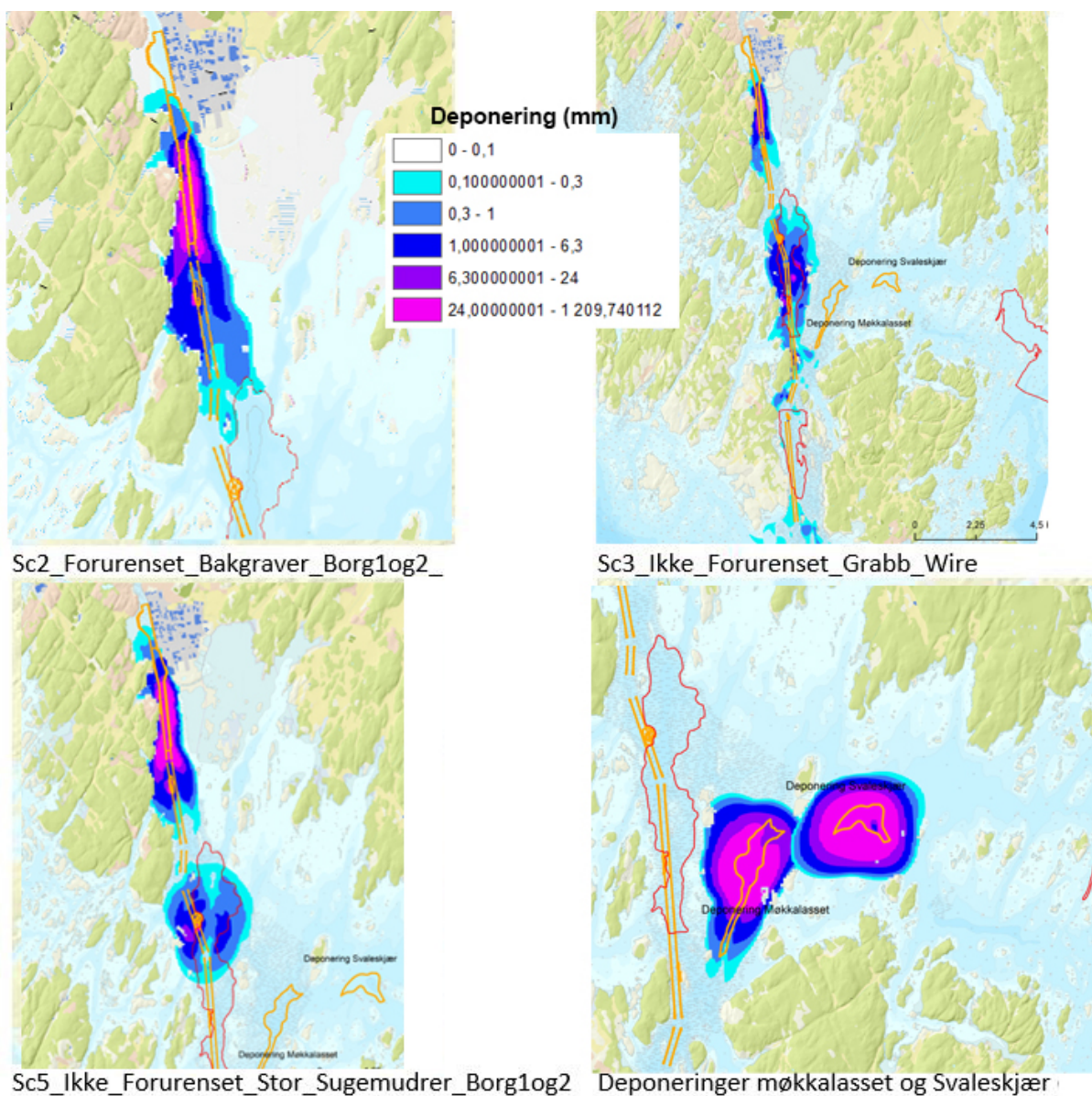
Modellerte scenarier

Mudringsarbeidene har blitt modellert ved å dele operasjonene i følgende atskilte steg/ scenarier (Sc) i modell (basert på DREAM resultater fra SINTEF, 11 scenarier, 95% konfidensintervall):

- Mudring av forurensede masser med bakgraver i Fuglevikbukta (Borg 1)
 - *Sc 1: Forurenset_Langtrekkende_bakgraver_Borg1*
- Mudring av forurensede masser med bakgraver (Borg 1 og Borg 2 - Flyndregrunnen)
 - *Sc2_Forurenset_Bakgraver_Borg1og2*
- Mudring av ikke-forurensede masser med wireoperert grabb (Borg 1 og Borg 2 – Vestre Fugleskjærgrunnen, Tjeldholmsten, Lubbegrunden, Løperungen og Duken)
 - *Sc3_Ikke_Forurenset_Grabb_Wire*
- Mudring av ikke-forurensede masser med liten sugemudrer (Borg 1)
 - *Sc4_Ikke_Forurenset_Liten_Sugemudrer_Borg1*
- Mudring av ikke-forurensede masser med stor sugemudrer (Borg 1 og Borg 2 Flyndregrunnen og Belgebåen)
 - *Sc5_Ikke_Forurenset_Stor_Sugemudrer_Borg1og2*
- Deponering av ikke-forurensede masser etter mudring med wireoperert grabb gjennom et rør med diffusor (Møkkalasset og Svaleskjær)
 - *Sc3u_Deponering_Pipe_Mudring_Grabb_Wire_Mokkalasset*
 - *Sc3u_Deponering_Pipe_Mudring_Grabb_Wire_Svaleskjaer*
- Deponering av ikke-forurensede masser gjennom diffusor etter mudring med liten sugemudrer (Møkkalasset og Svaleskjær)
 - *Sc4u_Deponering_Pipe_Liten_Sugemudrer_Svaleskjaer*
 - *Sc4u_Deponering_Pipe_Liten_Sugemudrer_Mokkalasset*
- Deponering av ikke-forurensede masser gjennom diffusor etter mudring med stor sugemudrer (Møkkalasset og Svaleskjær)
 - *Sc5u_Deponering_Pipe_Stor_Sugemudrer_Svaleskjaer*
 - *Sc5u_Deponering_Pipe_Stor_Sugemudrer_Mokkalasset*

Spredning og sedimentering de ulike scenarier

For de modellerte scenariene, basert på data oversendt fra SINTEF har DNV GL ekstrahert ut total deponering på havbunnen (i mm). Dette er tatt inn i ArcGis for kartpresentasjoner som illustrerer «fotavtrykket» av de ulike mudrings og deponeringsoperasjonene, uttrykt i mm deponering på havbunnen. Se Figur 4-1 for eksempler på mudringsoperasjoner som medfører spredning i eller nær gytefelt for torsk. Det er ikke laget kart som viser partikkelkonsentrasjon i vannmassene, da det er et øyeblikksbilde for et spesifikt vandndyp, eller en presentasjon av maksimumskonsentrasjoner for eksempel for hele perioden, alle vandndyp, som ville være misvisende med tanke på reelle modellerte eksponeringer.



Figur 4-1 Kart som viser eksempler på total sedimentering i mm, «fotavtrykk» fra utvalgte relevante modellerte scenarier for mudring og deponering (data fra SINTEF, 95 % konfidens intervall). Figuren viser de tre mudringsoperasjoner som medfører spredning i eller nær gytefelt for torsk (røde polygoner) ref. Figur 4-2, samt eksempler på deponeringsscenarier ved Møkkalasset og Svaleskjær.

Vannsøylekonsentrasjoner

Det er analysert konsentrasjoner i vannmassene gjennom hele varigheten av de modellerte scenariene. Det er plukket ut 7 punkt (Tabell 4-5, Figur 4-2) hvor det er gjort tidsserieanalyser av partikkelkonsentrasjoner i hele vannsøylen på de gitte punktene. Punktene er valgt for å presentere følgende eksponeringsområder:

- 1) Randsone av gytefelt flyndregrunnen for vurdering av mengde partikler fra mudringsoperasjoner i Røsvikrenna og Fuglevikbukta, Borg 1 (Pos 1 og Pos 2).
- 2) Randsone gytefelt Flyndregrunnen sørøst for vurdering av mengder partikler fra deponering ved møkkalasset (Pos 3). Avstand til senter deponeringsområde Møkkalasset er ca. 1 km.
- 3) Punkter sentralt i gytefelt Flyndregrunnen for dokumentasjon av påvirkning under mudringsoperasjoner i dette området, Belgebåen og Fugleskjærgrunnen (Pos 4 og Pos 5).
- 4) Punkter i gytefelt Løperen for dokumentasjon av påvirkning under mudringsoperasjoner i dette området (Pos 6 og Pos 7).

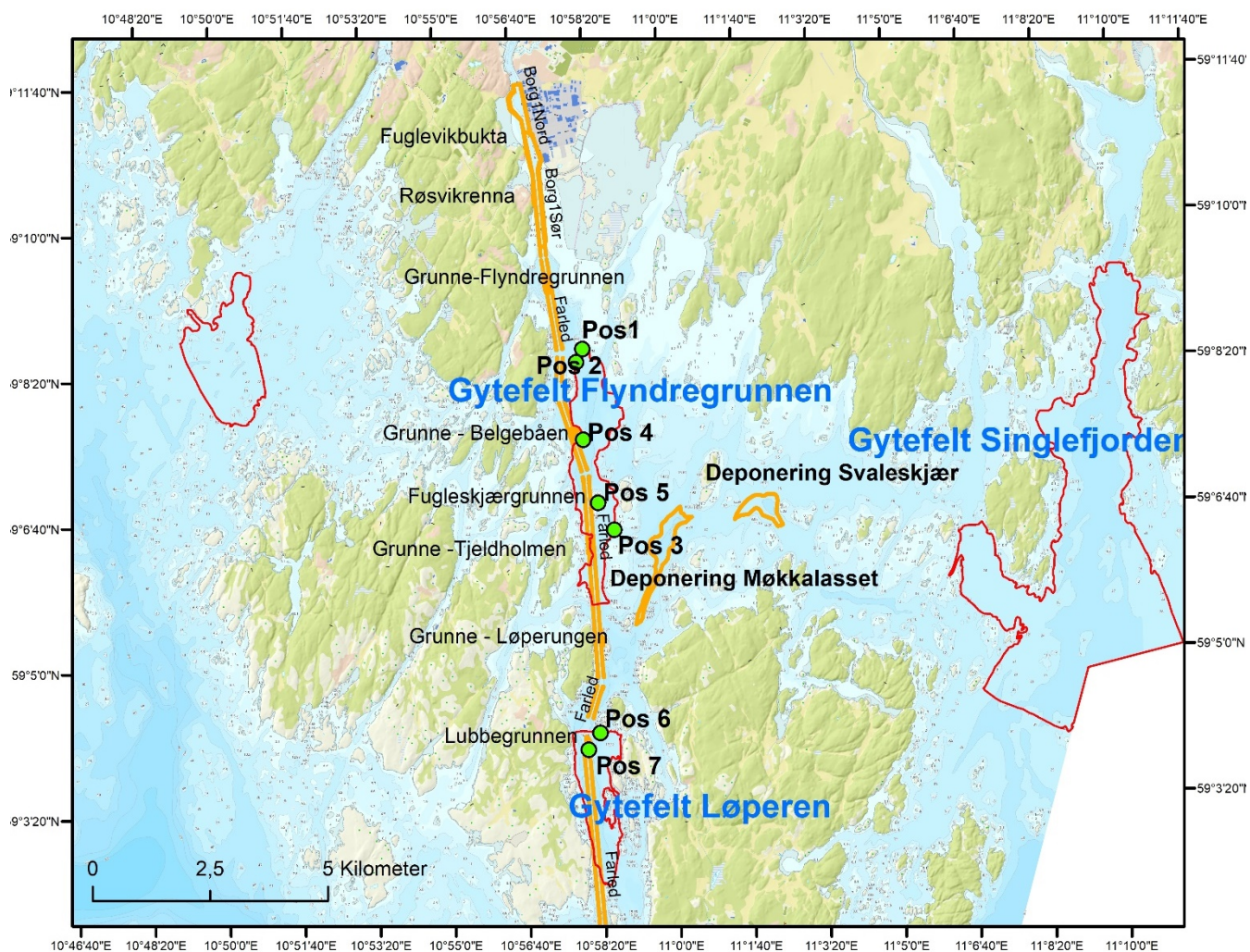
Basert på tidsserieanalysene er det analysert partikkelkonsentrasjoner opp mot relevante grenseverdier og eksponeringstider (se neste avsnitt). Hensikten har vært å avdekke hvilke mudrings og deponeringsscenarier som eventuelt kan utføres uten å komme i konflikt med gytefelt.

Som det fremkommer av Figur 4-1 er scenariet «Sc2_Forurenset_Bakgraver_Borg1og2» det scenariet med størst utbredelse (deponering) mot nordlig del av gytefeltet Flyndregrunnen. Mudring av ikke-forurensede masser i Borg 1 delområdet (nordlige deler av resultatene for scenariene «Sc3_Ikke_Forurenset_Grabb_Wire» og «Sc5_Ikke_Forurenset_Stor_Sugemudrer_Borg1og2») er modellert til å ha mindre total deponering mot gytefeltet Flyndregrunnen enn scenariet «Sc2_Forurenset_Bakgraver_Borg1og2». Merk at disse to scenariene omfatter også mudring i eller nær gytefeltene hvor det følgelig vil være stor konflikt med gytefelt dersom disse delene skulle mudres under gyteperiode for torsk. Grunnet datagrunnlaget man får fra DREAM modellen er det ikke mulig å dele opp scenariene i deloperasjoner for å se på eksempelvis bidrag til partikkelspredning mot gytefeltet Flyndregrunnen fra deloperasjoner i Borg 1 for disse to scenariene for mudring av ikke-forurensede masser. Scenariet «Sc2_Forurenset_Bakgraver_Borg1og2» ansees å representere «worst case scenario» for mudringsoperasjoner i delområde Borg 1 og har som nevnt størst fotavtrykk/nedslagsfelt.

For mudring av grunnen Løperungen som omfattes av scenariet «Sc3_Ikke_Forurenset_Grabb_Wire» er det grunnet begrensninger i dataene som forklart i forrige avsnitt, ikke gjort nøyaktige analyser av spredning av partikler mot det nærliggende gytefeltet Flyndregrunnen (~550 meter nord) fra kun denne deloperasjonen. Overlapp med mm sedimentering fra operasjonene i området indikerer imidlertid at det trolig vil være lav deponering fra akkurat denne operasjonen, så sant man ikke mudrer i selve farleden. Grunnet usikkerheter i omfang av potensiell spredning og at deloperasjonen Løperungen ligger plassert midt mellom 2 gytefelt anbefales på generelt grunnlag ikke å mudre denne uten mer detaljert vurdering/modellering, eller nøye overvåking under operasjonene.

Tabell 4-5 Punkter brukt i vurderinger av partikkelkonsponering i vannmassene fra ulike modellerte mudring og deponeringsscenarier.

Punkt	Posisjon, WGS 84		Kommentar
	Øst	Nord	
Pos 1	10,9696	59,1428	Randsone Flyndregrunnen nordøst, første mottaker av spredning fra mudring i Røsvikrenna og Fuglevikbukta
Pos 2	10,9671	59,1403	Randsone Flyndregrunnen nord, første mottaker av spredning fra mudring i Røsvikrenna og Fuglevikbukta
Pos 3	10,9795	59,1082	Randsone Flyndregrunnen sørøst første mottaker av spredning fra deponering møkkalasset
Pos 4	10,9689	59,1255	Senter Flyndregrunnen nord nær mudring ved Belgebåen
Pos 5	10,9737	59,1134	Senter flyndregrunnen sør nær mudring Fugleskjærgrunnen
Pos 6	10,9721	59,0696	Randsone gytefelt Løperen nord
Pos 7	10,9676	59,0664	Gytefelt Løperen nær mudring Lubbegrunnen



Figur 4-2 Kart over gytefelt, mudring og deponerings lokaliteter samt punkter brukt i vurderinger av partikkelspredning i vannmassene fra de ulike modellerte scenarier (DREAM modell, SINTEF 2018).

Til informasjon ligger deponeringsområdet ved Svaleskjær ca. 4,4 km unna gytefeltet Singlefjorden som er lokalisert langt øst for de planlagte arbeidene (3,2 km unna ved randsone deponering fotavtrykk ved modellering deponering Svaleskjær), og ca. 2,8 km unna gytefeltet Flyndregrunnen (1,8 km unna randsone deponering, Pos 3, fotavtrykk ved modellering). **Ingen spredning til noen av gytefeltene er forventet ved deponering ved Svaleskjær, basert på de modellerte scenariene.**

4.3.2 Effektkonsentrasjon i egg og larver

DNV GL (2014), satt en effektgrense på 5 mg/l partikler fra gruveindustrien, basert på resultater for torskeegg og sildelarver. Dette ble brukt som den samme effektgrensen for unnavikelse i voksen fisk. For egg og larver ble det ikke skilt mellom letale/subletale effekter, men subletale effekter var forventet å føre til indirekte letaleffekter ved konsentrasjoner over 5 mg/L. Eksponeringstid så vel som partikkelkonsentrasjon bør tas med i betraktningene når det gjelder mulige effekter fra mudringsoperasjonene på gytefeltene ved Borg. Bakgrunns verdier av turbiditet er også av viktighet spesielt i kystnære områder, og effektkonsentrasjonene må sees i forhold til dette.

For formålet å vurdere risiko for gytefelt for torsk ved Borg basert på kjente effekter (avsnitt 4.2) og modellert partikkelspredning benyttes følgende teoretiske grenseverdier:

- **3 mg/l**, nedre grense for påvirkning. Eksponering over lengre perioder nødvendig for å se effekter på egg og larver.
- **5 mg/l**, effektkonsentrasjon subletale effekter på egg, larver og delvis unnavikelse voksen fisk. >48 timers sammenhengende eksponering trolig nødvendig for egg og larver.
- **8 mg/l**, total unnavikelse voksen fisk, nedre grense irreversible effekter/ påbegynnende letale effekter på egg og larver som utsynking av egg, redusert fødeopptak og økt dødelighet. > 24 timers sammenhengende eksponering trolig nødvendig for egg og larver.

Det presiseres at det er relativt store usikkerheter forbundet med antakelsene om eksponeringstid, og effekter må sees i forhold til naturlige variasjoner i for eksempel strømforhold, turbiditet, saltholdighet og temperatur. Antakelsene ovenfor er ansett som relativt konservative med tanke på effekter. For eventuell styring av mudringsoperasjonene og fastsettelse av terskelverdier for stans i arbeid må det gjøres en helhetlig vurdering basert på flere faktorer, blant annet bakgrunnsnivåer, hvor lenge partiklene er forventes å befinne seg i vannmassene etter eventuelt stans i arbeid, og om andre dyregrupper i vannmassene vil kunne påvirkes.

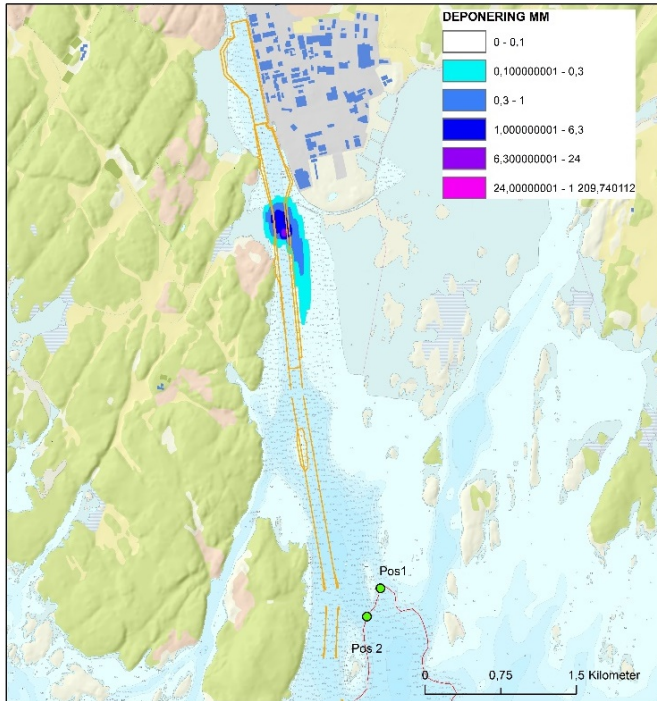
4.4 Risikovurdering tiltak og gyteperiode

En oppsummering av de ulike modellerte scenariene og vurdering av grad av konflikt med gytefelt er vist i Tabell 4-6, og illustrert i Figur 4-3 til Figur 4-8. En gjennomgang av de ulike scenariene er gitt under.

- 5 av de modellerte scenariene vil ha ingen konflikt med gytefeltene (Figur 4-3 og Figur 4-4), dette omfatter mudring av forurensede masser med langtrekkende bakgraver Borg 1, mudring av ikke- forurensede masser med liten sugemudrer Borg 1 og deponeringer ved Svaleskjær.
- 3 av scenariene har svært lav grad av konflikt (Figur 4-5). Dette omfatter deponeringer ved Møkkalasset hvor fotavtrykket fra modell resultatene viser total sedimentering lavere enn 0,1 mm deponering, og maksimale eksponeringer av partikler mot randsone av gytefeltet på 0,002 mg/l (kun teoretiske verdier).
- 1 scenario, mudring av forurensede masser med bakgraver Borg 1 har et lite overlapp med nordlig grense av gytefelt Flyndregrunnen (Figur 4-6). Grad av konflikt ansees som lav. Total deponering i randsone gytefeltet nord viser et nedslag på maksimalt 0,3-1 mm etter fullført operasjon. Maksimal eksponering av partikler i vannmassen er 8,5 mg/l (1 time totalt for hele perioden). Antall timer med eksponering over 3 mg/l er 23 timer for hele mudringsoperasjonen, sjelden over 2 timer sammenhengende. Antall timer med eksponering over 5 mg/l er totalt 5 timer for hele mudringsoperasjonen. Total påvirkning på gytefeltet ansees som lav, grenseverdier for eksponering og modellerte eksponeringstider tatt i betraktning. Det anbefales på generell basis å ikke mudre lenger sør enn grunnen Flyndregrunnen i gyteperioden for torsk. Det bemerkes at faktiske spredninger fra disse operasjonene trolig vil være mindre enn modellert grunnet mindre mengder masse som skal mudres, samt at modellen omfatter periode med størst spredning i overflatelaget grunnet vannføring i Glomma, mens forholdene i vintermånedene (gyteperiode torsk) tilsier mindre spredning mot gytefeltet Flyndregrunnen grunnet mindre vannføring i overflatelaget.
- 2 scenarier som omfatter mudring av ikke-forurensede masser med wireoperert grabb og stor sugemudrer Borg 1 og 2 (Figur 4-7 og Figur 4-8) har høy grad av konflikt for deloperasjoner mudring Belgebåen, Fugleskjær, Tjeldholmen, og Lubbegrunnen. Mudring av grunnen Løperungen kan trolig ha noe (lav grad) konflikt, men omfanget er usikkert. Deloperasjonene innenfor gytefeltet Flyndregrunnen vil medføre eksponering av mengde partikler over 5 mg/l på over 550 timer totalt med teoretiske maksimumskonsentrasjoner på over 400 mg/l og bør ikke mudres i gyteperioden. Deloperasjoner innenfor gytefeltet Løperen (Lubbegrunnen) vil medføre eksponering på over 35 timer for konsentrasjoner over 5 mg/l og over 24 timer for konsentrasjoner over 10 mg/l med maksimumskonsentrasjoner på over 80 mg/l. Deloperasjonen er antatt å ha kort varighet, men bør ikke utføres i gyteperioden for torsk. Det bemerkes at de delene av scenariene som omfatter kun mudring av ikke-forurensede masser i Borg 1 kan trolig utføres i gyteperiode for torsk siden dette vil medføre lav grad av konflikt med gytefeltet. Lavere enn «worst case» scenariet for mudring av forurensede masser med bakgraver Borg 1, omtalt i avsnitt over.

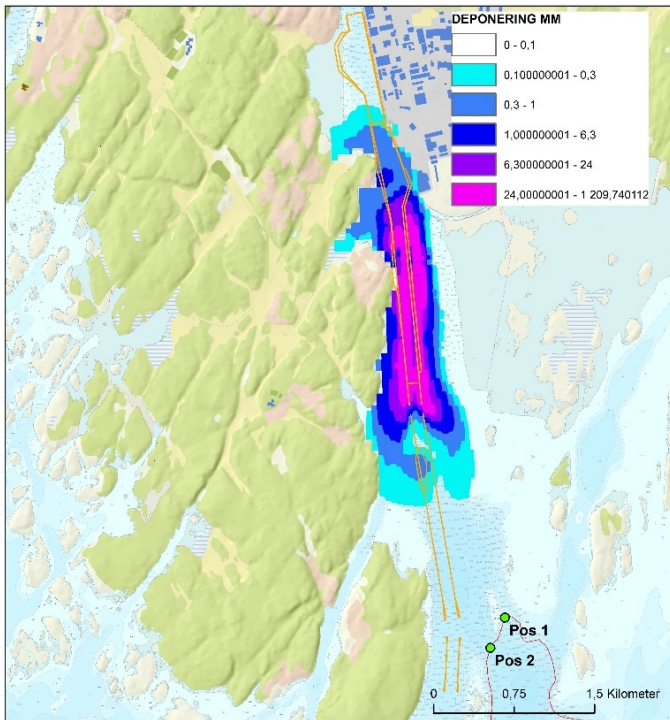
Tabell 4-6 Tabell som oppsummerer ulike modellerte mudring og deponeringsscenarier utført av SINTEF (2018) og grad av konflikt med gytefelt for torsk (kartlag «Gytefelt torsk MB» fra fiskeridirektoratet/HI) i området for utbedring av farled inn mot Borg havn.

Scenarie (SINTEF, 2018, DREAM modell, 95% konf. intervall)	Risiko/konflikt med gytefelt torsk MB?	Kommentar
Mudring		
Sc1_Forurenset_Langtrekkende_bakgraver_Borg1	Ingen konflikt	
Sc2_Forurenset_Bakgraver_Borg1og2	Lav, noe overlapp Flyndregrunnen nordlig grense. Kan mudres i gyteperiode basert på modellert eksponering	Se eksponeringsgrafer (Figur 4-6, Pos 1, Pos 2, Pos 4, Pos 5, Pos 3-økende avstand fra kilde)
Sc3_Ikke_Forurenset_Grabb_Wire	Antatt høy for Flyndregrunnen. Moderat for Løperen	Se eksponeringsgrafer (Figur 4-7, Pos 1-7). Bør mudre kun Borg 1 i gyteperiode, -> antatt lav risk for Flyndregrunnen
Sc4_Ikke_Forurenset_Liten_Sugemudrer_Borg1	Ingen konflikt	
Sc5_Ikke_Forurenset_Stor_Sugemudrer_Borg1og2	Antatt moderat-høy for Flyndregrunnen. Ingen konflikt med Løperen	Se eksponeringsgrafer (Figur 4-8, Pos 1-5). Bør mudre kun Borg 1 i gyteperiode, -> antatt lav risk for Flyndregrunnen
Deponering		
Sc3u_Deponering_Pipe_Mudring_Grabb_Wire_Mokkalasset	Svært lav, randsone Flyndregrunnen	Se eksponeringsgraf (Figur 4-5, Pos 3)
Sc3u_Deponering_Pipe_Mudring_Grabb_Wire_Svaleskjaer	Ingen konflikt	
Sc4u_Deponering_Pipe_Liten_Sugemudrer_Svaleskjaer	Ingen konflikt	
Sc4u_Deponering_Pipe_Liten_Sugemudrer_Mokkalasset	Svært lav, randsone Flyndregrunnen	<0,001 mg/l
Sc5u_Deponering_Pipe_Stor_Sugemudrer_Svaleskjaer	Ingen konflikt	
Sc5u_Deponering_Pipe_Stor_Sugemudrer_Mokkalasset	Svært lav, randsone Flyndregrunnen	<0,001 mg/l



Sc1_Forurenset_Langtrekkende_bakgraver_Borg1

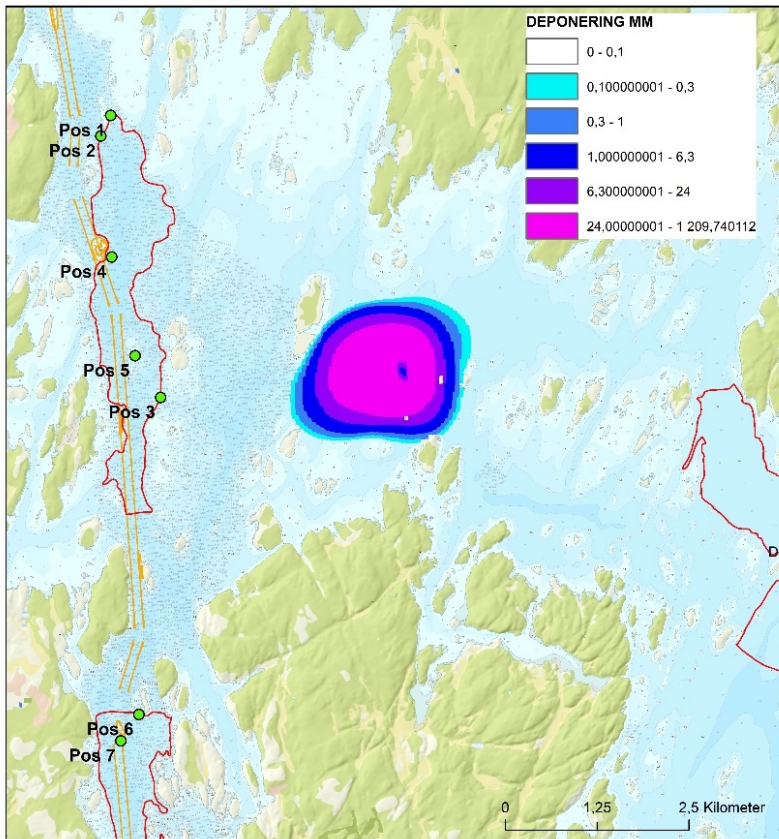
Ingen konflikt.
 Utbredelse ~1km
 sørover (ved grense
 for 0,1- 0,3 mm
 deponering). Avstand
 fra gytedefelt
 Flyndregrunnen (0,1-
 0,3 mm deponering)
 er 2,6 km.



Sc4_Ikke_Foreurenset_Liten_Sugemudrer_Borg1

Ingen konflikt.
 Utbredelse sørover
 ~3 km (ved grense
 0,1-0,3 mm
 deponering). Avstand
 til gytedefelt
 Flyndregrunnen (0,1-
 0,3 mm deponering)
 er 1,1 km.

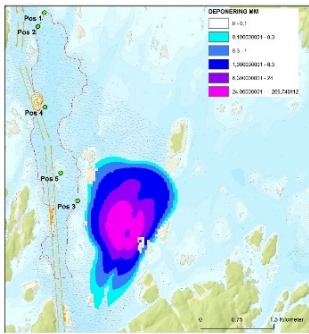
Figur 4-3 Modellerte scenarier for mudring som vil ha ingen konflikt med gytedefelt



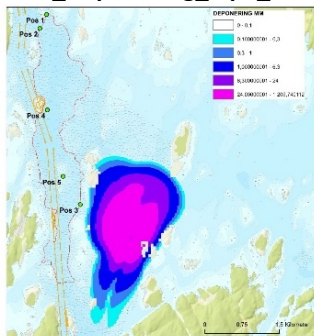
Sc3u_Deponering_Pipe_Mudring_Grabb_Wire_Svaleskjaer
 Sc5u_Deponering_Pipe_Stor_Sugemudrer_Svaleskjaer
 Sc4u_Deponering_Pipe_Liten_Sugemudrer_Svaleskjaer

Figur 4-4 Modellerte scenarier deponeringer ved Svaleskjær som vil ha ingen konflikt med gytefelt. Kun et eksempel vist, det er kun mindre forskjeller i fotavtrykk fra de ulike scenariene.

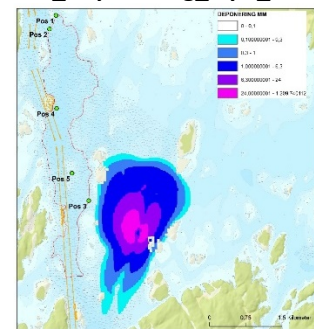
Ingen konflikt.
 Senter av området er ~4,4 km unna gytefeltet Singlefjorden som er lokalisert øst for de planlagte arbeidene (3,2 km unna ved randsone deponering fotavtrykk ved modellering deponering Svaleskjær), og ca. 2,8 km unna gytefeltet Flyndregrunnen (1,8 km unna randsone fotavtrykk deponering).



Sc4u_Deponering_Pipe_Liten_Sugemudrer_Mokkalasset



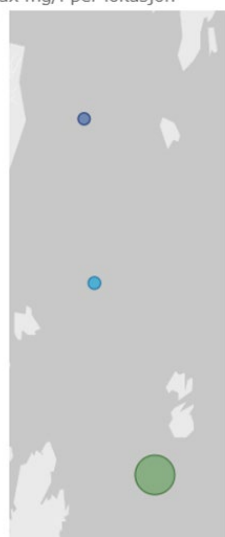
Sc5u_Deponering_Pipe_Stor_Sugemudrer_Mokkalasset



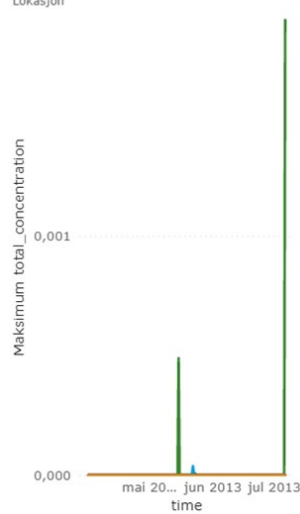
Svært lav grad av konflikt, randsone gytefelt Flyndregrunnen

Max mg/l per lokasjon

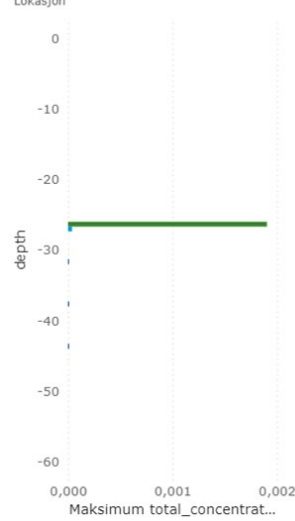
- Pos1
- Pos2
- Pos3
- Pos4
- Pos5
- Pos6
- Pos7



Maksimum total_concentration av time og Lokasjon

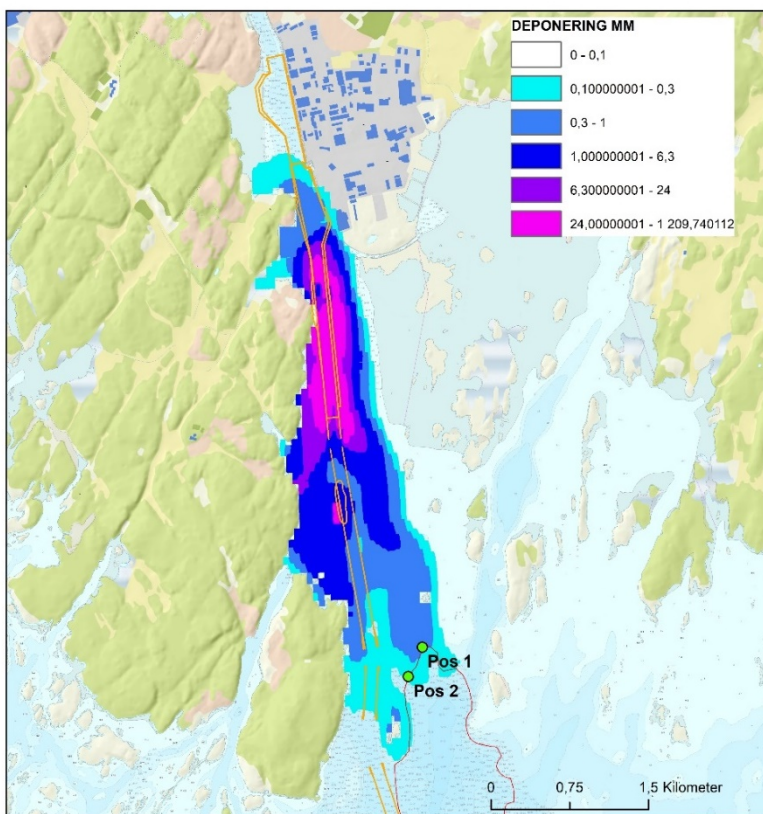


Maksimum total_concentration av depth og Lokasjon

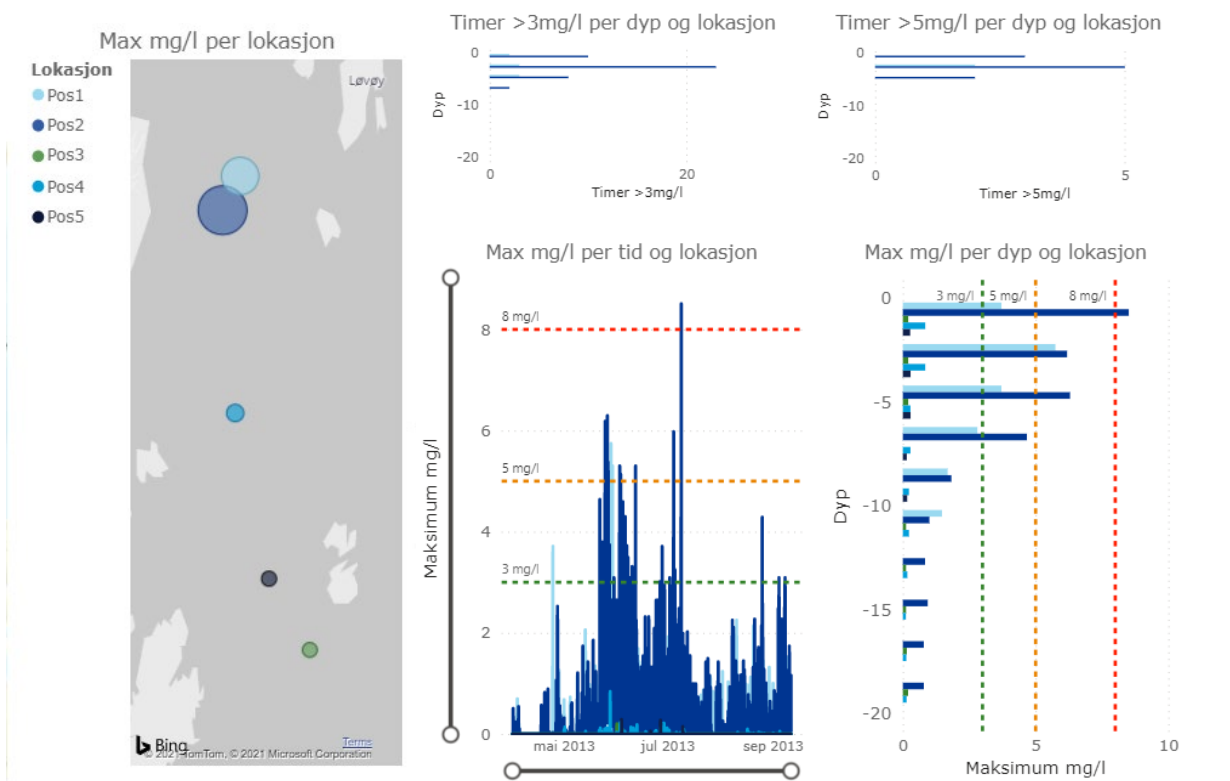


Sc3u_Deponering_Pipe_Mudring_Grabb_Wire_Mokkalasset

Figur 4-5 Modellerte scenarier deponeringer ved Møkkalasset som vil svært lav grad av konflikt med gytefelt. Nederste figur viser grad av eksponering vannsøyle (svært lave, kun teoretiske verdier under 0,002 mg/l).

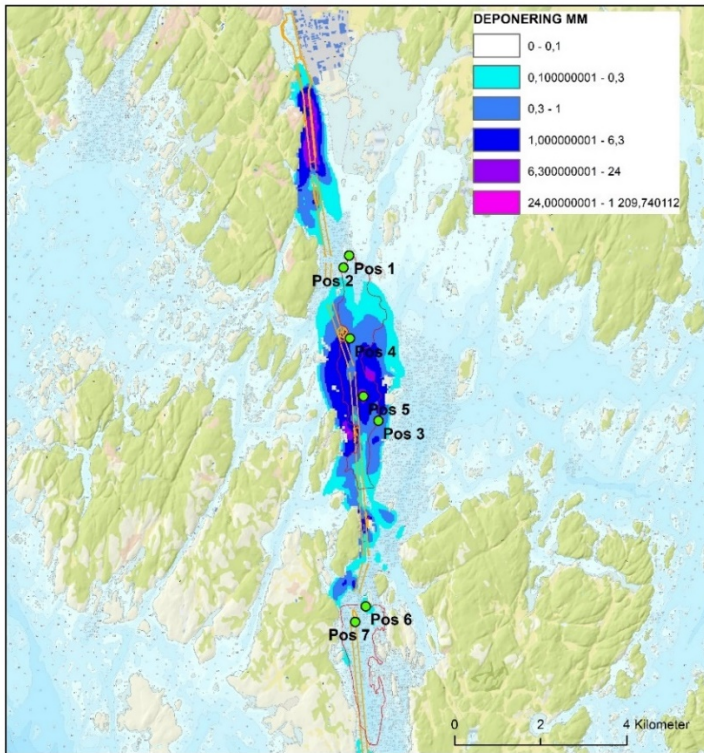


Lav risiko, lite overlapp gytefeltet
 Flyndregrunnen nordlig grense. Kan mudres i gyteperiode basert på modellresultater og grad av eksponering. Representerer «worst case scenario» for spredning fra Borg 1

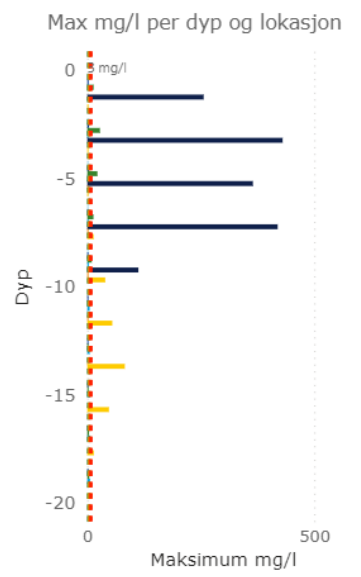
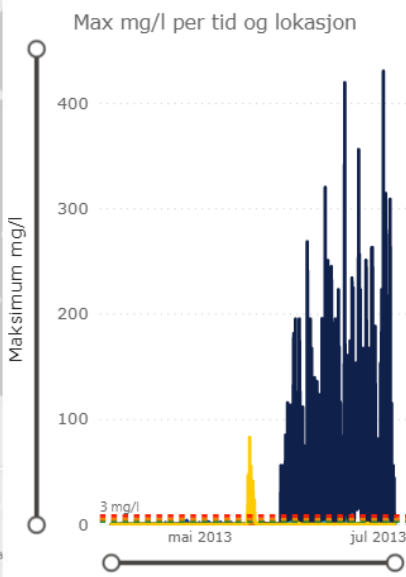
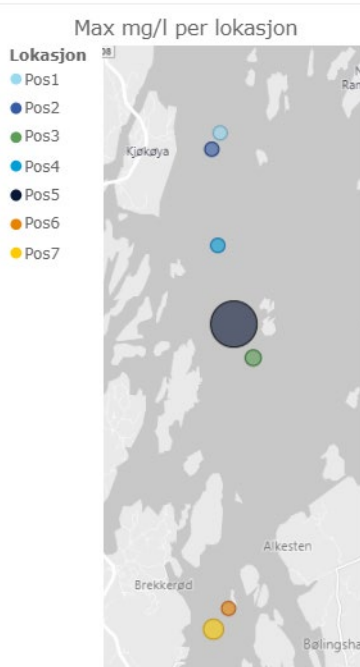
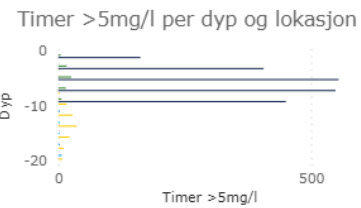
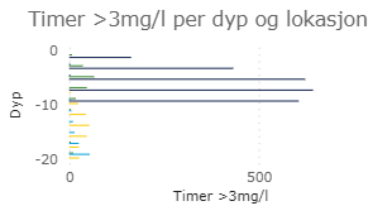


Sc2_Forensset_Bakgraver_Borg1og2

Figur 4-6 Modellert scenario med lav grad av konflikt med gytefelt, mudring av forurensette masser Borg 1 og 2 med bakgraver. Nederste figur viser grad av eksponering for utvalgte punkter over tid, per punkt med dyp og totalt antall timer eksponering over 3 mg/l og 5 mg/l med dyp, per punkt.

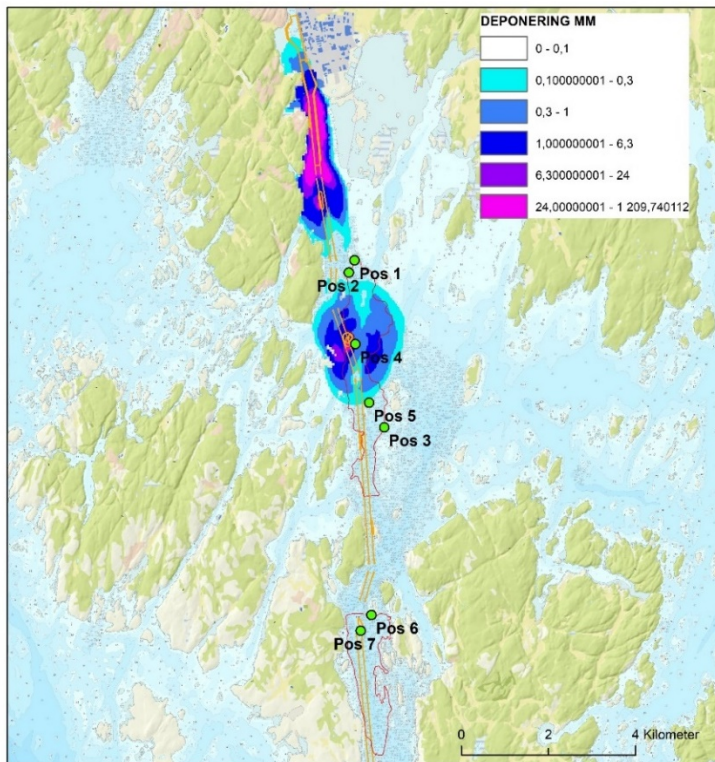


Antatt høy risiko for gytefelt Flyndregrunnen. Moderat for gytefelt Løperen.
Bør mudre kun Borg 1 i gyteperiode, -> antatt lav risiko for gytefelt Flyndregrunnen

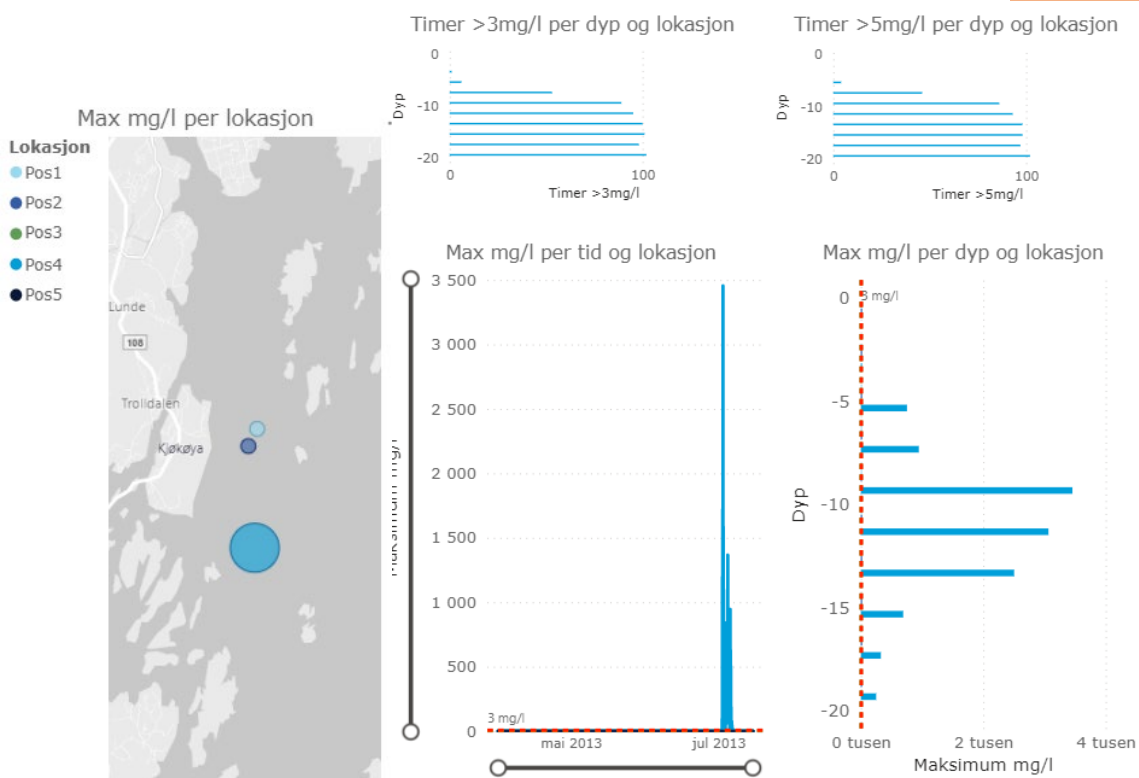


Sc3_Ikke_Forensset_Grabb_Wire

Figur 4-7 Modellert scenario med høy grad av konflikt med gytefelt. Mudring av ikke-forensede masser med wireoperert grabb. Nederste figur. Nederste figur viser grad av eksponering for utvalgte punkter over tid, per punkt med dyp og antall timer eksponering over 3 mg/l og 5 mg/l med dyp, per punkt.



Antatt moderat-høy for gytefelt Flyndregrunnen. Ingen konflikt med Løperen. **Bør mudre kun Borg 1 i gyteperiode, -> antatt lav risiko for gytefelt Flyndregrunnen**



Sc5_Ikke_Foreurenset_Stor_Sugemudrer_Borg1og2

Figur 4-8 Modellert scenario med høy grad av konflikt med gytefelt. Mudring av ikke-forensete masser med sugemudrer. Nederste figur viser grad av eksponering for utvalgte punkter over tid, per punkt med dyp og antall timer eksponering over 3 mg/l og 5 mg/l med dyp, per punkt.

4.5 Diskusjon

Analyse av modellerte spredninger av finstoff i forbindelse med mudring og deponering, og overlapp med avgrensede områder klassifisert som gytefelt er en teoretisk øvelse ment å belyse grad av reell risiko for egg og larver som kan forventes å ha opphold i gytefeltene. Det er flere usikkerheter som spiller inn, som for eksempel faktisk utbredelse av gytefeltet, variasjoner i mudringsteknikk som faktisk vil benyttes, vannføring, strømningsforhold etc., men de utførte vurderingene er som beskrevet i avsnitt 3.3.2 ment å representere verst tenkte tilfelle av effekter, basert på modellerte operasjoner på de avgrensede gytefeltene definert av Havforskningsinstituttet. Drift av torskelarver er ikke modellert i dette prosjektet, men antakelser omkring larvedrift og forventede områder med størst tetthet av egg og larver danner grunnlaget for de definerte gytefeltene, klassifisert av HI som er brukt i vurderingene. Videre vurderinger omkring vanntransport og hydrodynamiske modelleringer utført av DHI er oppgitt i Kapittel 5.

Analysene av grad av eksponering av partikler fra de ulike aktivitetene, viste at operasjoner i områdene Belgebåen, Fugleskjær, Tjeldholmen, og Lubbegrunnen og Løperungen bør unngås i gyteperioden for torsk 1 jan - 30 april. Dette er i tråd med hva Rambøll (2018d) i sin konsekvensutredning også konkluderte med.

Arbeider som kan utføres i gyteperiode for torsk 1 januar - 30 april omfatter mudringsoperasjoner i Fuglevikbukta og Røsvikrenna, Borg 1. Dersom arbeider ikke kommer i gang før januar, og første operasjoner som utføres er fjerning av forurensede masser vil dette medføre det verst tenkte tilfelle for spredning av partikler mot gytefeltet Flyndregrunnen, og mulig eksponering av miljøgifter tilsvarende teoretisk eksponering på maksimalt 5 mg/l over 5 timer. Eksponeringen kan teoretisk komme fra partikler med gjennomsnittlige miljøgift konsentrasjon eksempelvis for kvikksølv 0,45 mg/kg, kobber 82,6 mg/kg og PCB7 0,011 mg/kg (Tabell 3-5). Det er ikke utført DREAM modelleringer av EIF (Environmental Impact factor), eller beregninger av spredning via porevann spredning fra dette i randområdet til gytefeltet. Men tatt i betraktning de lave mengdene partikler og generelle antakelser om løselighet (fordelingskoeffisienter) vil det ikke løses ut mengder kvikksølv i vannmassene utover det som klassifiseres som bakgrunnsverdier (ref. Tabell 4-4) ved disse partikkelmengdene. Bioakkumulering hos filtrerende organismer kan være relevant å vurdere, men det forventes ingen effekter på fiskelarver fra dette.

Det er viktig å være klar over at de modellerte scenarier forutsetter en viss mengde av den totale masse som mudres eller deponeres vil være tilgjengelig for spredning (se SINTEF, 2018 for detaljer) og at tiltak for å redusere spredning er satt i verk, som for eksempel bruk av diffusor ved deponering, at overløp fra systerne under sugemudring ikke tillates og at graving med bakgraver utføres kontrollert. Dersom de faktiske forhold under mudring eller deponering avviker fra dette vil spredning kunne være større enn det de modellerte scenariene viser. Et velfungerende overvåkingsprogram bør være på plass for å sikre at gytefeltene ikke mottar større mengder partikler enn det denne studien viser.

Det forventes relativt store svingninger i mengde partikler i vannmassene utenfor Glomma. Og naturlige mengder tilsvarende gjennomsnittlige turbiditetsverdier på 14 FNU i ferskvannslaget og mellom 3,2 og 9,2 FNU i saltkilen utenfor Borg har blitt rapportert (Staalstrøm og Skogan, 2015). Det forventes også tidvis høyere maksimumsverdier som følge av for eksempel partikkelskyer fra propeller. Det foreligger ikke turbiditetsmålinger fra randsoner ved gytefelt utenfor Borg. De naturlige bakgrunnsnivåene i partikkelkonsentrasjoner må tas høyde for når det gjelder eventuell overvåking av mudringsoperasjoner og fastsettelse av eventuell grenseverdi og varighet. Eksempelvis bruk av en grenseverdi for akseptabel turbiditet på 5 FTU over bakgrunnsnivået og med varighet på 20 minutter (Oslo havn og Malmøykalven), eller for eksempel 10 FTU, eventuelt 2 ganger bakgrunns verdien dersom denne oversteg 5 FTU (Trondheim Iilsvika, 2003), SINTEF (2012).

4.6 Konklusjon og anbefalinger

Gjennomgang av teoretiske modellerte scenarier (SINTEF, 2018) og vurderinger av effekter basert på litteraturstudie og kjente grenseverdier har vist at:

- Mudring av masser ved alle grunner sør for grunnen Flyndregrunnen har høy konflikt med gytefelt for torsk og bør ikke utføres i gyteperioden (1. januar-30. april). Øvrige arbeidsoperasjoner innenfor tiltaket har lav eller ingen konflikt og bør kunne utføres i gyteperioden.
- Mudring av forurensede masser med langtrekkende bakgraver Borg 1, mudring av ikke-forurensede masser med liten sugemudrer Borg 1 og deponeringer ved Svaleskjær vil ikke påvirke gytefeltet for torsk negativt, og kan utføres i gyteperiode for torsk.
- Deponeringer ved Møkkalasset vil ikke påvirke Gytefeltet Flyndregrunnen negativt (teoretiske verdier på <math><0,002\text{ mg/l}</math>) og kan utføres i gyteperiode for torsk.
- Mudring av forurensede masser med bakgraver Borg 1 representerer verst tenkte tilfelle for spredning fra operasjonene i Borg 1 og har sedimentasjon som viser noe overlapp med nordlig grense av gytefelt Flyndregrunnen. Grad av konflikt ansees som lav, og kan utføres i gyteperiode for torsk forutsatt at metode benyttes tilsvarende det som er modellert. Total deponering i randsone gytefeltet nord viser et nedslag på maksimalt 0,3-1 mm etter fullført operasjon. Maksimal eksponering av partikler i vannmassen er 8,5 mg/l (1 time totalt for hele perioden). Antall timer med eksponering over 3 mg/l er 23 timer for hele mudringsoperasjonen, sjelden over 2 timer sammenhengende. Antall timer med eksponering over 5 mg/l er totalt 5 timer for hele mudringsoperasjonen. Det anbefales på generell basis å ikke mudre lenger sør enn grunnen Flyndregrunnen i gyteperioden for torsk. Det bemerkes at faktiske spredninger fra disse operasjonene trolig vil være mindre enn modellert grunnet mindre mengder masse som skal mudres, samt at modellen omfatter periode med størst spredning i overflatelaget grunnet vannføring i Glomma, mens forholdene i vintermånedene (gyteperiode torsk) tilsier mindre spredning mot gytefeltet Flyndregrunnen grunnet mindre vannføring i overflatelaget.
- Mudring av ikke-forurensede masser med wireoperert grabb og stor sugemudrer Borg 1 og 2 har høy grad av konflikt for deloperasjoner mudring Belgebåen, Fugleskjær, Tjeldholmen, og Lubbegrunnen, noe for Løpeungen, og bør ikke mudres i gyteperiode for torsk. Operasjoner i Borg 1 kan utføres i gyteperiode for torsk.
- Tiltak for å minimere spredning under mudring og deponerings operasjonene må benyttes. Det er av stor viktighet at operasjonene utføres skånsomt ved at diffusor benyttes under deponering og at det ved mudring med bakgraver for eksempel ikke graves større volum enn det skuffen kan holde og at måten graveskuffen beveges gjennom vannet til overflaten utføres kontrollert. Ved sugemudring skal sistene ikke overfylles. Avvik fra dette vil kunne medføre større spredning av partikler enn det de modellerte scenarier tilsier.
- Et overvåkingsprogram som kontinuerlig monitorer tilførsel av partikler til gyteområdene bør være på plass ved mudring i gyteperiode for torsk.

Det foreligger relativt lite data på bakgrunnsnivåer og naturlige svingninger i partikkelkonsentrasjoner i vannmassene rundt gytefeltene. For overvåking eller etablering av grenseverdier for stans i arbeid opp mot gytefelt bør det vurderes om det er behov for mer kunnskap vedrørende naturlige partikkelkonsentrasjoner i disse områdene.

5 UTREDNING AV SPRENGNING GRUNNER OG VANNUTSKIFTNING

5.1 Bakgrunn/hensikt

Hensikten med deloppgaven er å utføre en utredning av om sprengning av grunner i Borg 2 vil kunne endre vannutveksling mellom «utsiden» og «innsiden» av Hvalerøyene slik at områdets potensial som gytefelt kan forringes.

Vurderingene baserer seg på hydrodynamiske modelleringer utført av DHI i dette prosjektet.

5.2 Metode

DHI har utført en detaljert hydrodynamisk modellering av vannutvekslingen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene og undersøkt om mudring/sprengning av fem grunner og Glomma ved Røsvikrenna vil kunne endre denne vannutvekslingen.

DHI rapporten «Strømningsmodell i Hvalerskjærgården» er gitt i sin helhet i vedlegg A. Det henvises til detaljer i denne rapporten for modelloppsett, valideringer og generelle nyttige funn som gjelder vannsirkulasjon i tiltaksområdet. En generell oppsummering av modelleringen og detaljer vedrørende eventuelle effekter på gytefelt er oppsummert nedenfor (utdrag fra rapporten).

5.2.1 Hydrodynamisk modellering (DHI)

DHI etablerte en tredimensjonal strømningsmodell (hydrodynamisk modell) basert på modellsystemet MIKE 3 FM som inkluderer Hvalerskjærgården fra Glomma helt ut til Tisler. Modellen bruker grensebetingelser fra en av DHIs regionale modeller som dekker Skagerrak, slik at offshore-effekter, stormflo og relevante sirkulasjonsmønstre beskrives for hele modellsystemet. Modellen er drevet av meteorologiske felter og ferskvannstilstrømning fra bl.a. Glomma. Den ble validert mot målinger av vannstand, strøm, salinitet og temperatur for perioden 01.01.15 – 01.07.15.

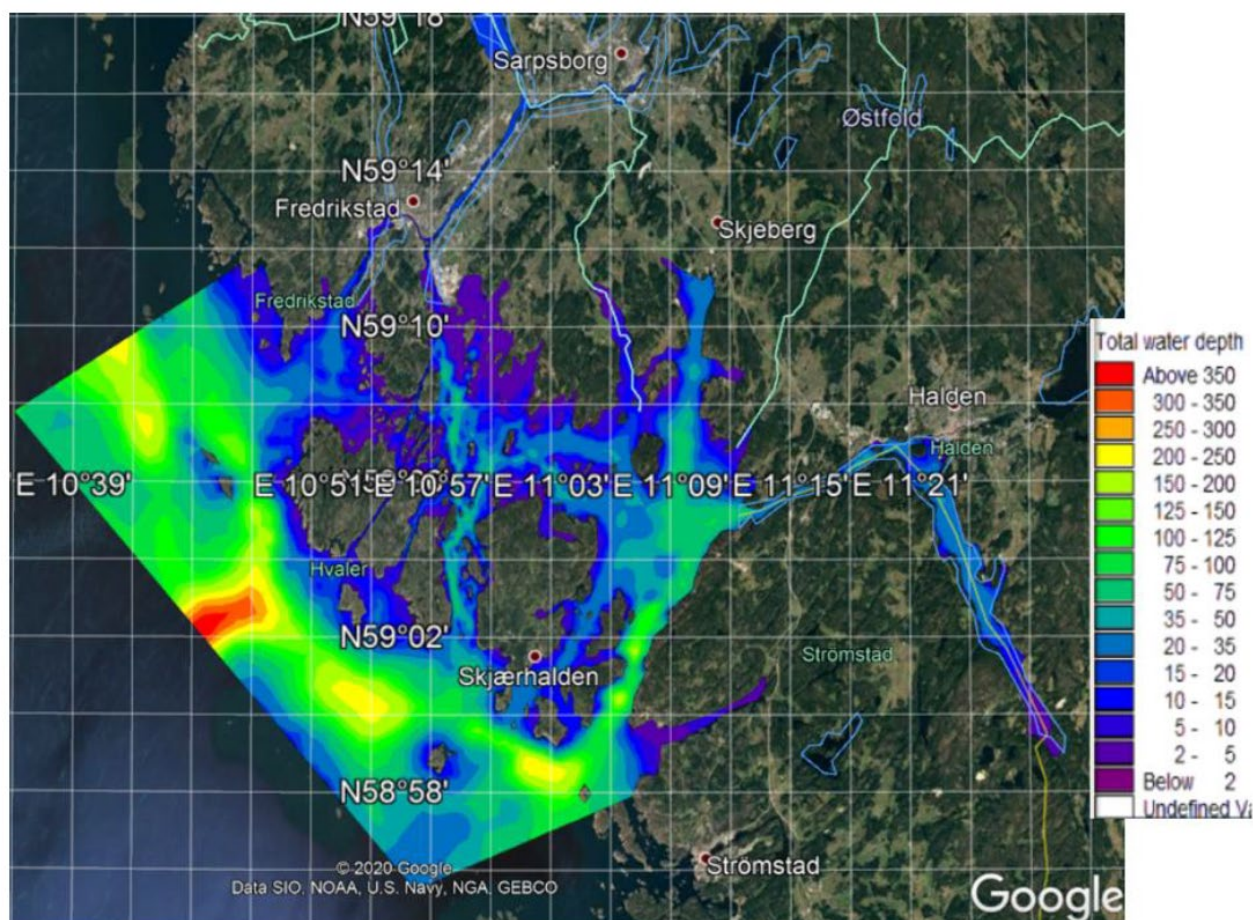
Området av hovedinteresse for analysen er de indre delene av Hvalerskjærgården, som er området fra ytterkant av Hvalerøyene og inn mot Fredrikstad, for å se om vannutskiftningen i dette området vil endres. Dette systemet er koblet sammen oppstrøms til Østerelva (østre del av Glomma etter at den splitter seg) og nedstrøms til Skagerrak (åpent hav). For å modellere interesseområdet er en liten del av Glomma samt en del av havområdet utenfor Hvalerøyene inkludert i modellen, se Figur 5-1. Dette sikrer at innflytelsen på skjærgården fra elven og havet er godt representert av modellen.

Når det gjelder modellen er det viktig at denne kan beskrive en rekke hydrodynamiske prosesser som strekker seg fra elvevannføring, stratifisering av vannsøylen, innblanding, estuarin sirkulasjon, fra vindgenerert sirkulasjon, tidevann og stormflo, til kystsirkulasjon. For å sjekke dette har DHI etablert en tredimensjonal strømningsmodell (hydrodynamisk modell) som inkluderer Hvalerskjærgården fra Glomma helt ut til Tisler, inklusiv Iddefjorden. Modellen inkluderer grensebetingelser fra en av DHIs regionale modeller som dekker Skagerrak, slik at offshore-effekter, stormflo og relevante sirkulasjonsmønstre beskrives for hele modellsystemet.

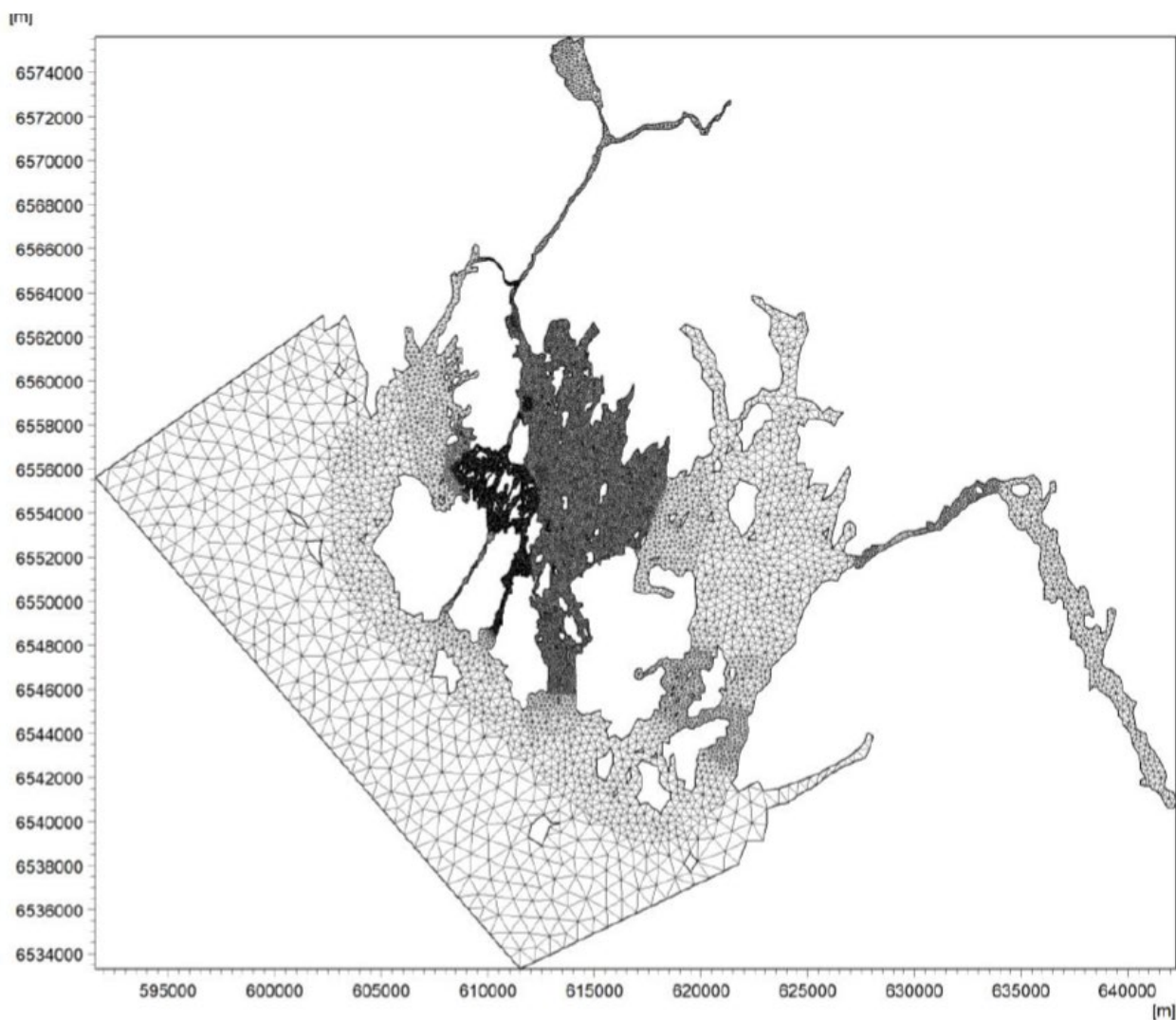
I strømningsmodellen er det benyttet et fleksibelt beregningsnett til å beskrive vannmassene. Dette gjør det mulig å modellere områder med ulik oppløsning avhengig av lengdeskalaene fra de viktigste hydrodynamiske prosessene og detaljeringsgrad. For Hvalerskjærgården er det satt opp et beregningsnett som har relativt grov oppløsning i de ytre områdene (Ytre Hvaler Nasjonalpark), men med fin oppløsning i indre Leira og på innsiden av Hvalerøyene der det er viktig å få med detaljene i

vannutskiftningen. Modellområdet er vist i Figur 5-1 og modellopløsningen i interesseområdet er vist i Figur 5-2. Det horisontale beregningsnett består av både rektangulært og et triangulært nett. Rektangulært beregningsnett er brukt i smale kanaler og deler av Glomma, ellers er resten triangulært. I indre deler av Hvalerskjærgården og Leira lengden på siden av elementene på 60m-110m for å få med havbunstopografitrekene og de mindre horisontale skalaene til de hydrodynamiske prosessene som forekommer her. I de ytre delene av Hvaler hvor den horisontale skalaen til de hydrodynamiske prosessene er større, varierer elementstørrelsene mellom 200-1000m. Detaljene i modellopløsningen kan ses i Figur 2.3 og Figur 2.4. Havbunstopografidataene som er brukt for det horisontale modellnettet er basert på de 50m x 50m og 1mx1m (i Glomma) gitrete havbunstopografidataene fra Kystverket og data fra digitale navigasjonskart fra C-Map Norge.

I tillegg er det benyttet dybde data fra GEONORGE, som er en løsning fra Kartverket: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadatas/kartverket/dybde-data-terrengmodeller-50-meters-grid-landsdekkende/bbd687d0-d34f-4d95-9e60-27e330e0f76e>. Dette er en terrengmodell i 50x50m oppløsning som viser terrengvariasjon på havbunnen for norske sjø- og havområder. Terrengmodellen har blitt skapt ved bruk av interpolering og har derfor varierende nøyaktighet med hensyn til pålitelighet i posisjon og dybde. Datasettene er laget på bakgrunn av moderne data, det vil si data innsamlet ved bruk av multistråle ekkolodd. Disse dataene er kun brukt der Kystverket ikke har oppmålte data tilgjengelig.



Figur 5-1 Modellområdet, som viser vandedybene, over satellittbilde fra Google Earth (DHI, 2021).



Figur 5-2 Horisontal modellopløsningen av domenet (DHI, 2021).

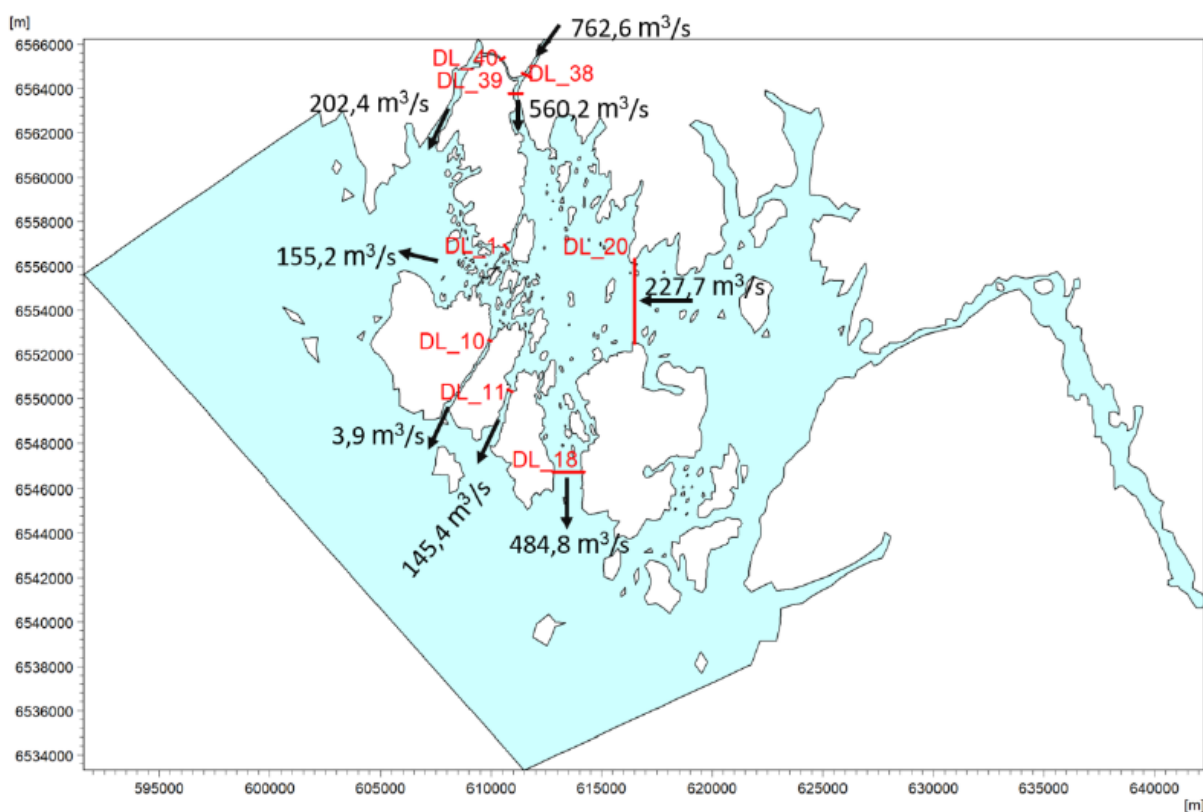
Den generelle sirkulasjonen i Hvalerskjærgården er sterkt påvirket av vannføringen fra elvene i domenet; spesielt Glomma, som er Norges største elv og er vesentlig større enn de andre elvene i domenet. Den store ferskvannstilstrømningen fra spesielt Glomma skaper et brakkvannslag i den øverste delen av vannsøylen i systemet og opprettholder en sterk stratifisering av vannsøylen. Elvene er inkludert i modellen som såkalte punktkilder. I hver punktkilde er både vannføring, temperatur og salinitet spesifisert enten som en tidsserie eller som en konstant. Totalt er det 38 punktkilder som representerer vannføring fra elver. Temperaturen i alle elvene satt til å være lik temperaturen til Glomma, og saliniteten er satt til 0 psu (ferskvann) i alle kildene.

Vannutskiftning og massebudsjett

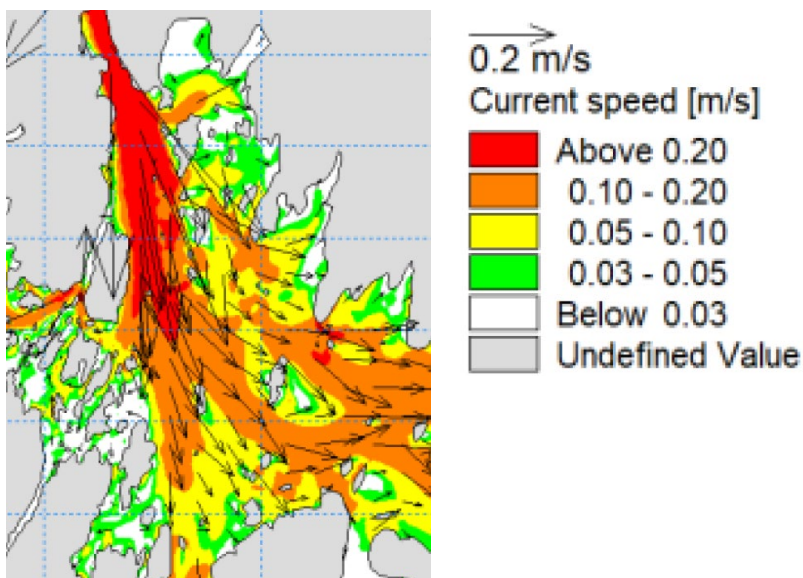
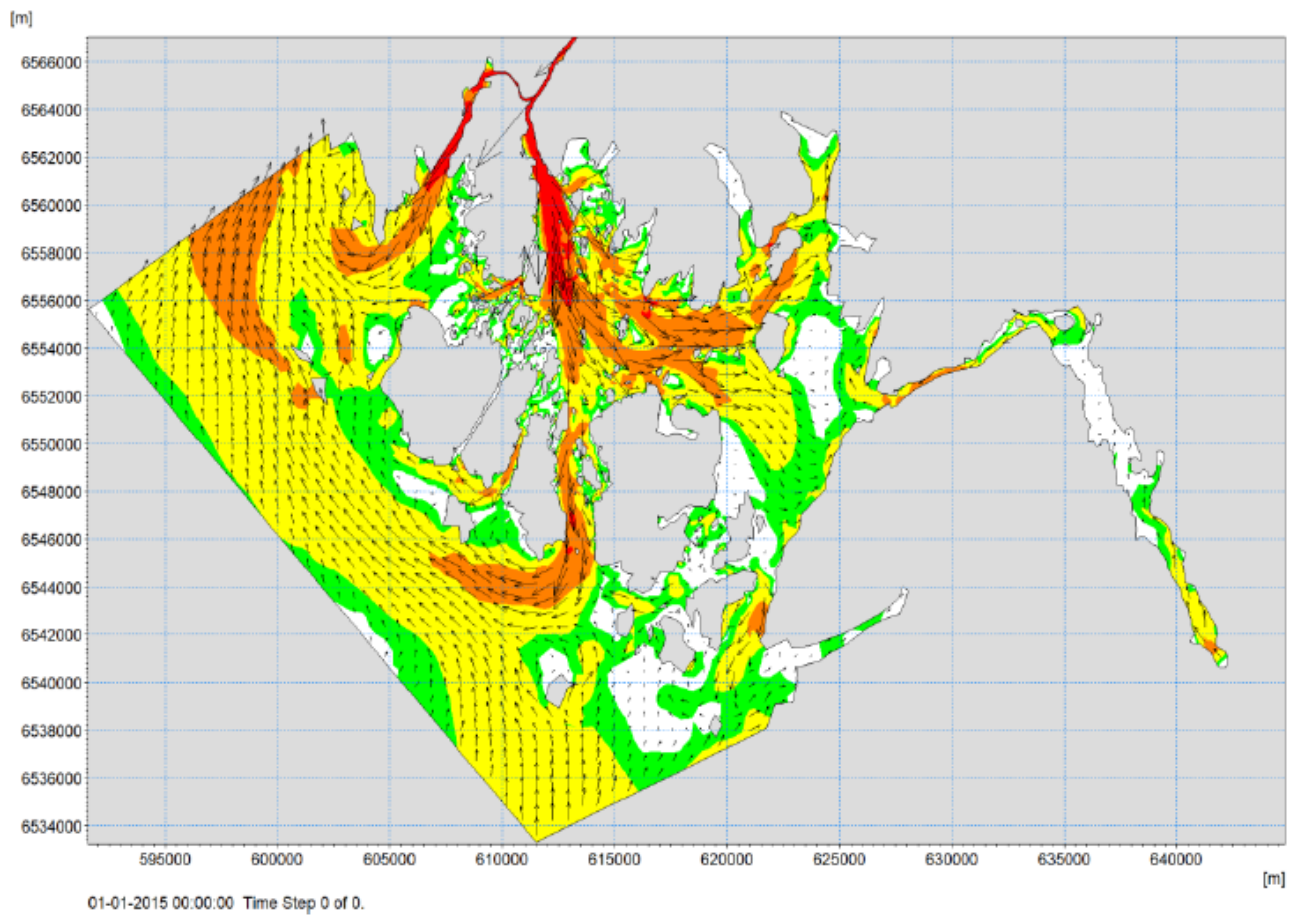
Etter at modellen er satt opp, kalibrert og validert er modellen klar til å bli brukt til å undersøke vannutskiftningsforholdene. For å undersøke om sprengning/mudring av grunner vil endre vannutvekslingen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene er det satt opp inn- og utstrømningslinjer og massebudsjetter for torskegyttingsområde i modellen (Figur 5-3). Modellert netto vannvolum er også vist i figuren. For alle inn- og utstrømningslinjene er positiv retning inn mot skjærgården, (bortsett fra en linje). I inn- og utstrømningslinjen for DL1 kan en se hvordan gjennomstrømningen varierer gjennom modellperioden, i tillegg til hva netto gjennomstrømning (gjennomsnittlig gjennomstrømning) er. En kan

se at det i topplaget er en klar netto strøm ut av den indre skjærgården mot det åpne havet (Figur 5-4). Litt dypere på en dybde mellom 8 og 9 m (Figur 5-5), er det lavere strømhastigheter, og en kan se en kompensasjonsstrøm inn mot Glomma i indre Hvalerskjærgården (drevet av meddriving).

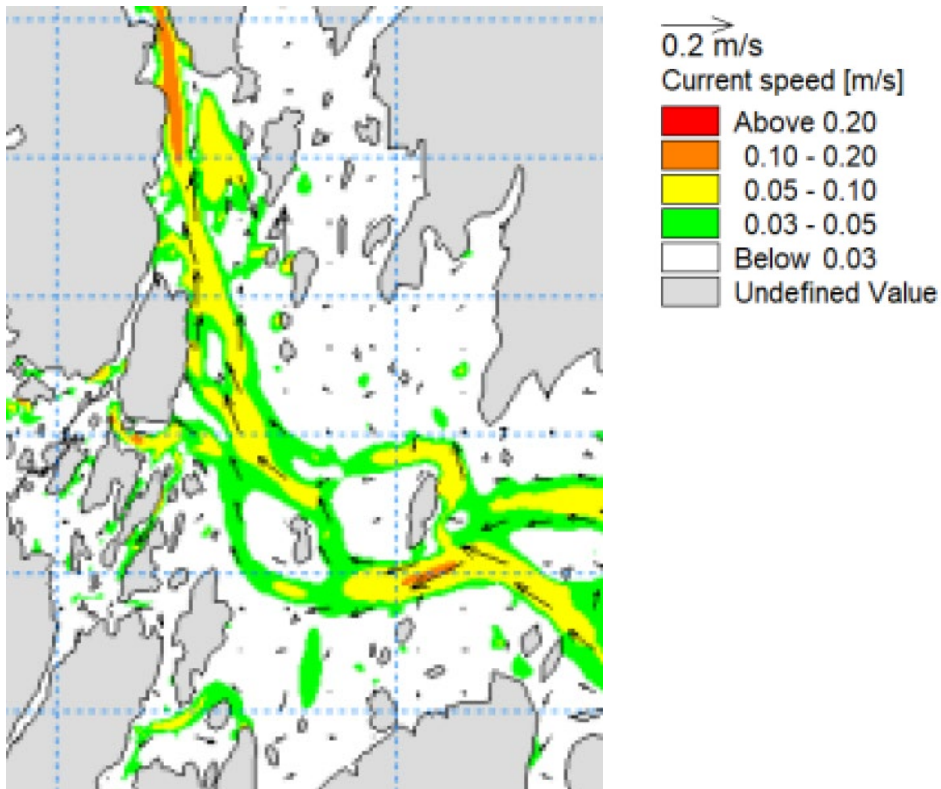
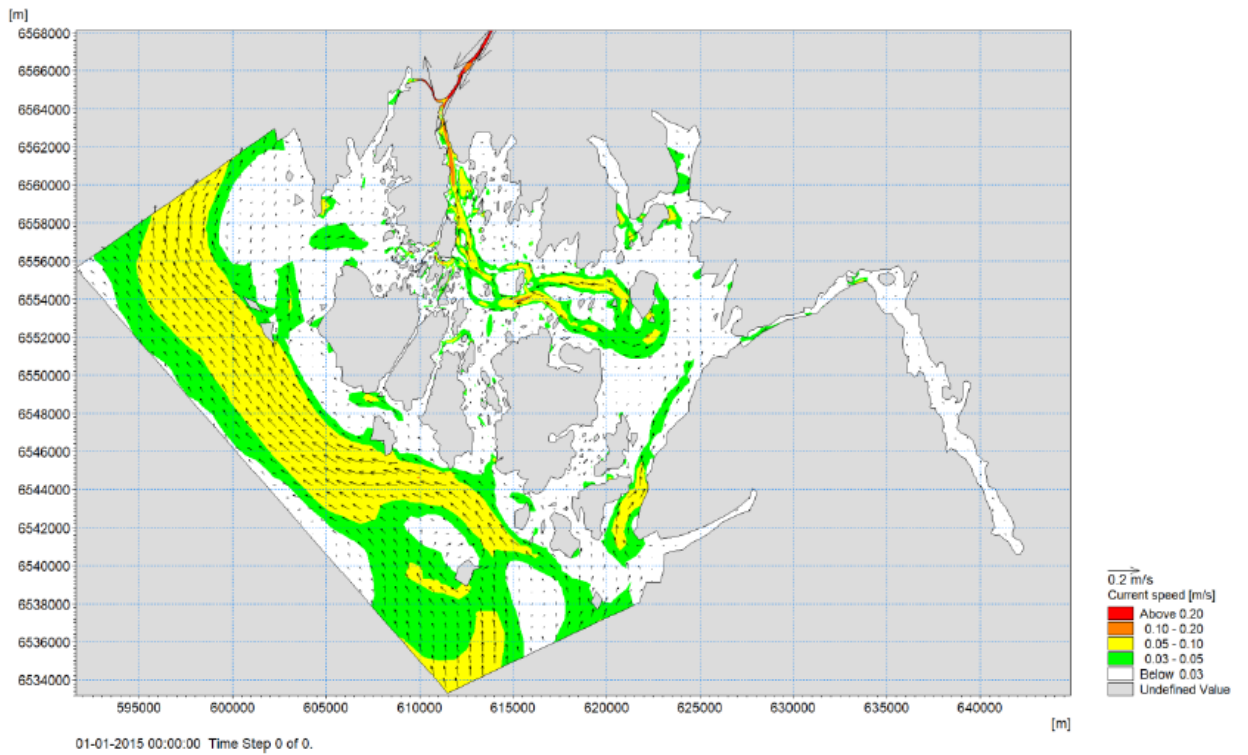
Det er utført et massebudsjett Massebudsjettet beskriver budsjettet for det stående vannvolumet, -saltet og varmen innenfor et avgrenset område, inklusiv transporten over grensene til det avgrensede området for hvert tidssteg. I Hvalerskjærgården er det to gyteområder for torsken som er vurdert og to massebudsjetter (modell output) definert for de to gyteområdene Flyndregrunnen og Løperen.



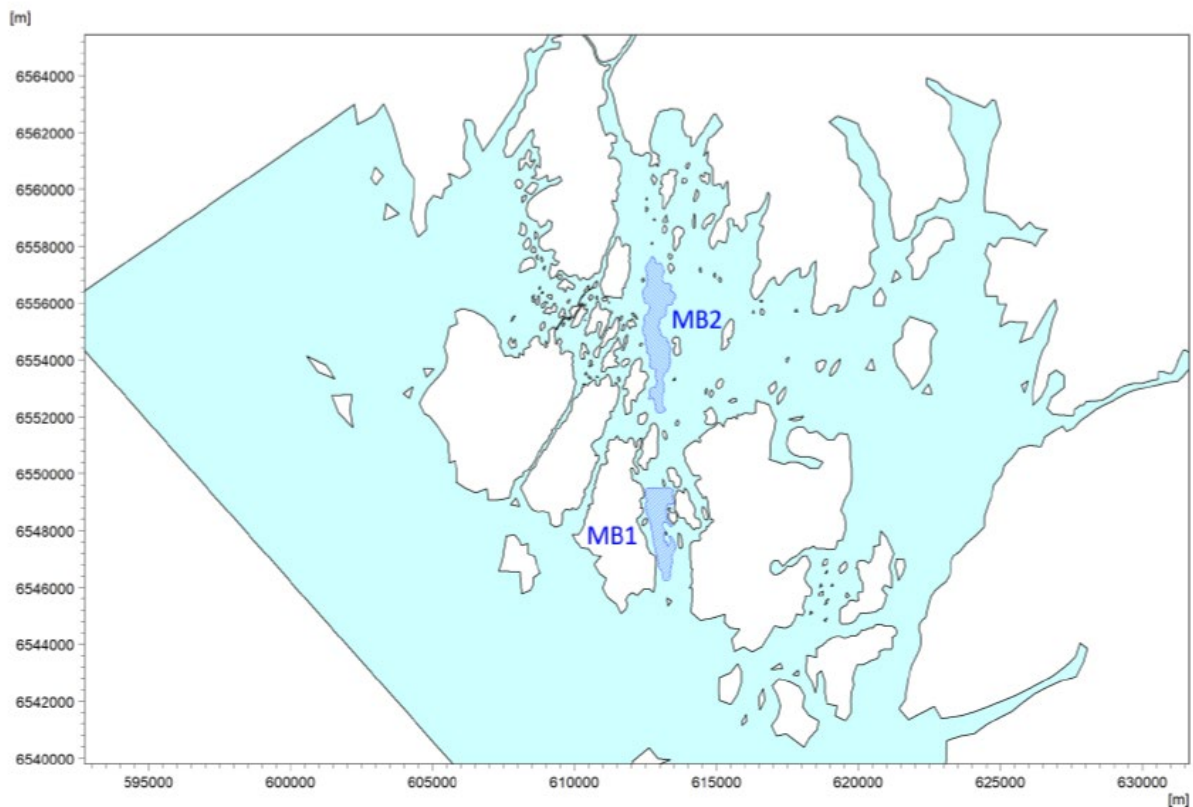
Figur 5-3 Utvalgte inn- og utstrømningslinjer i den indre skjærgården i modellen og netto vannvolum gjennomstrømning i modellperioden. Pilene peker i positiv retning (DHI, 2021).



Figur 5-4 Netto strøm mellom 0-1 m, januar 2015 (DHI, 2021)



Figur 5-5 Netto strøm mellom 8-9 m, januar 2015 (DHI, 2021).

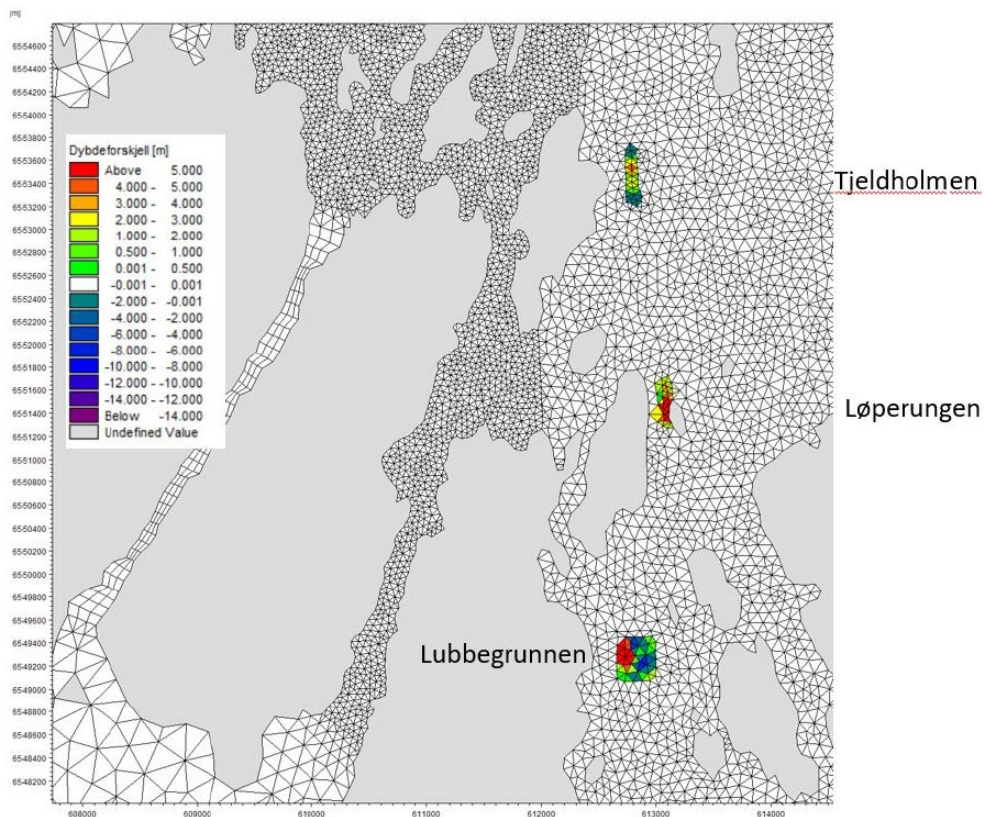
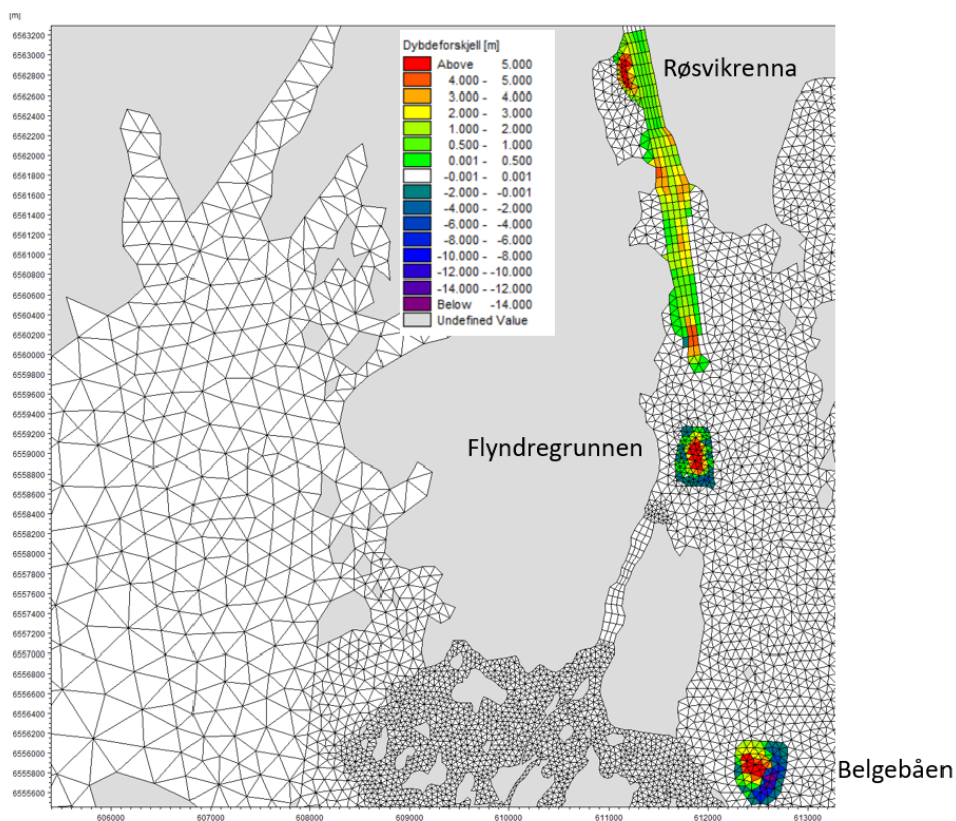


Figur 5-6 Masebudsjettene avgrensner området for de to gytefeltene Flyndregrunnen (MB2) og Løperen (MB1), DHI (2021).

5.2.2 Tiltaksanalyse (DHI)

For å undersøke om tiltakene Kystverket ønsker å utrede vil endre vannutvekslingen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene har det, i tillegg til å bli opprettet en modell før tiltak, blitt opprettet en modell for situasjonen etter tiltakene. Det eneste som er endret i den andre modellen er dybdene i tiltaksområdet.

Tiltakene omfatter mudring/sprengning av seks (6) grunner fra grunnen Flyndregrunnen til Lubbegrunnen i tillegg til Røsvikrenna. I denne rapporten er det kun mudring/sprengning/deponering i Røsvikrenna, grunnen Flyndregrunnen, Belgebåen, Tjeldhomsten, Løperungen og Lubbegrunnen som er inkludert. Dybdene for tiltaksområdene etter tiltak ble gitt av Norconsult i xyz-format (Breyholtz, et al., 2020). I elementene i beregningsnettet blir dybdene interpolert på bakgrunn av disse dybde-dataene. Dette gjorde at noen av elementene var noe grunnere enn kriteriene for planlagt mudringsdybde gitt i (Kystverket, 2018). Det ble derfor satt som et kriteriene at dybdene skulle være minimum planlagt mudringsdybde. Det endte dermed med at endringene ble som vist i Figur 5.1. Her ser en dybdeforskjellene mellom før- og etter tiltak. Der figuren viser en høyere vanndybde har modellen blitt dypere etter tiltak, mens der den har negative verdier har den blitt grunnere. Det vil si at der det er positive verdier vil havbunnen bli mudret/sprengt til et dypere nivå, mens der det er negative verdier vil det deponeres og bli grunnere.



Figur 5-7 Dybdeforskjellen (etter- minus før tiltak); en økning i vanddybde viser hvor mye dypere det elementet er blitt, og vice versa for en negativ verdi (DHI, 2021).

Vannutskiftningen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene kan bli funnet ved å undersøke inn- og utstrømningslinje DL_1, DL_10, DL_11, DL_18, DL_20 og DL_39 (Figur 5-1). Resultatene fra disse inn- og utstrømningslinjene er både presentert som grafer og i tabellform (Vedlegg A – DHI rapporten).

I Tabell 5-1 til Tabell 5-3 er alle de gjennomsnittlige tallene presentert for alle de avgrensede inn- og utstrømningslinjene for vann, varme og salt. Sammenlignet med forholdene i Figur 4.4 kan en se fra tabellene at det overordnede strømningsmønsteret endres i liten grad. Den største endringen er at det går mer tidevann opp i Østerelven, som trolig delvis går ut i Vestelven, men endringen av den totale vannføringen i de to elvene er minimal. Endringen før- og etter tiltak er noe som hender i januar-april, men når vårfloppen kommer i mai-juni er det så og si ingen differanse før- og etter tiltak. For endring gjennomstrømningen for de andre inn- og utstrømningslinjene kan en se at differansen mellom før- og etter tiltak varierer mellom 0,1 – 1,3 %.

Endring i vannutskiftningen i de gitte gyteområdene er funnet ved å undersøke massebudsjettet før- og etter tiltak. Resultatene fra de to massebudsjettene er både presentert som grafer og i tabellform (Vedlegg A – DHI rapporten).

I Tabell 5-4 til Tabell 5-6 er alle de gjennomsnittlige tallene presentert for alle de avgrensede inn- og utstrømningslinjene for vann, varme og salt. En ser fra tabellene at endringen i den stående massen før- og etter tiltak er mellom 0.0 – 0.1%.

Tabell 5-1 Øyeblikkelig gjennomstrømning vann i inn- og utstrømningslinjene som avgrensede utsiden og innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning» betyr at gjennomsnittlig gjennomstrømning er rettet inn mot innsiden av Hvalerøyene. For «gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning» vil positive tall vil si at det er mer gjennomstrømning etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall (DHI, 2021).

Inn- og utstrømningslinje	Etter tiltak Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning vann [m ³ /s]	Før tiltak Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning vann [m ³ /s]	Etter tiltak - Før tiltak Gjennomsnittlig endring i øyeblikkelig gjennomstrømning vann [m ³ /s]	Gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning vann [%] (relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse)
DL_1	-155,0	-155,2	0,2	0,1
DL_10	-3,9	-3,9	-0,1	-0,9
DL_11	-145,2	-145,4	0,2	0,1
DL_18	-483,5	-484,8	1,3	0,2
DL_20	229,3	227,7	1,6	0,3
DL_39	557,1	560,2	-3,2	-0,6

Tabell 5-2 Øyeblikkelig gjennomstrømning salt i inn- og utstrømningslinjene som avgrensers utsiden og innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning» betyr at gjennomsnittlig gjennomstrømning er rettet inn mot innsiden av Hvalerøyene. For «gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning» vil positivt tall vil si at det er mer gjennomstrømning etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall (DHI, 2021).

Inn- og utstrømningslinje	Etter tiltak		Før tiltak		Etter tiltak - Før tiltak	
	Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning salt [kg/s]	Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning salt [kg/s]	Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning salt [kg/s]	Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning salt [kg/s]	Gjennomsnittlig endring i øyeblikkelig gjennomstrømning salt [kg/s]	Gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning salt [%] (relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse)
DL_1	-2 795,7	-2 786,7	-2 786,7	-2 786,7	-9,0	-0,2
DL_10	-71,1	-69,5	-69,5	-69,5	-1,6	-1,3
DL_11	-2 892,2	-2 892,2	-2 892,2	-2 892,2	0,0	0,0
DL_18	-7 736,8	-7 778,0	-7 778,0	-7 778,0	41,1	0,2
DL_20	13 434,3	13 432,0	13 432,0	13 432,0	2,3	0,0
DL_39	-101,8	-71,7	-71,7	-71,7	-30,1	-7,3

Tabell 5-3 Øyeblikkelig gjennomstrømning varme i inn- og utstrømningslinjene som avgrensers utsiden og innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning» betyr at gjennomsnittlig gjennomstrømning er rettet inn mot innsiden av Hvalerøyene. For «gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning» vil positivt tall vil si at det er mer gjennomstrømning etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall

Inn- og utstrømningslinje	Etter tiltak		Før tiltak		Etter tiltak - Før tiltak	
	Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning varme [J/s]	Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning varme [J/s]	Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning varme [J/s]	Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning varme [J/s]	Gjennomsnittlig endring i øyeblikkelig gjennomstrømning varme [J/s]	Gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning varme [%] (relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse)
DL_1	-4 102 854 780,5	-4 110 820 774,7	-4 110 820 774,7	-4 110 820 774,7	7965994,2	0,1
DL_10	-101 615 837,2	-100 302 627,6	-100 302 627,6	-100 302 627,6	-1313209,6	-0,7
DL_11	-4 148 582 242,2	-4 154 239 082,1	-4 154 239 082,1	-4 154 239 082,1	5656839,9	0,1
DL_18	-14 169 850 009,6	-14 219 313 513,7	-14 219 313 513,7	-14 219 313 513,7	49 463 504,1	0,2
DL_20	5 838 968 372,7	5 794 243 358,0	5 794 243 358,0	5 794 243 358,0	44 725 014,7	0,2
DL_39	14 858 918 985,6	14 952 207 930,1	14 952 207 930,1	14 952 207 930,1	-93 288 944,5	-0,6

Tabell 5-4 Stående vann i gitte gyteområder på innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig stående vann» betyr at gjennomsnittlig stående vann er rettet inn mot gyteområdet. For «gjennomsnittlig endring stående vann» vil positivt tall vil si at det er mer stående vann etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall. De initiale forskjellene på bakgrunn av endret dybde er fjernet i «Gjennomsnittlig endring i stående vann» (DHI, 2021).

Massebudsjett	Etter tiltak		Før tiltak		Etter tiltak - Før tiltak	
	Gjennomsnittlig stående vann [m ³]	Gjennomsnittlig stående vann [m ³]	Gjennomsnittlig stående vann [m ³]	Gjennomsnittlig stående vann [m ³]	Gjennomsnittlig endring i stående vann [m ³]	Gjennomsnittlig endring stående vann [%]
MB1	82 054 116,8	81 906 044,5	81 906 044,5	81 906 044,5	-63,7	0,0
MB2	127 279 373,1	127 712 841,9	127 712 841,9	127 712 841,9	-900,7	0,0

Tabell 5-5 Stående salt i gitte gyteområder på innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig stående salt» betyr at gjennomsnittlig stående salt er rettet inn mot gyteområdet. For «gjennomsnittlig endring stående salt» vil positivt tall vil si at det er mer stående salt etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall. De initiale forskjellene på bakgrunn av endret dybde er fjernet i «Gjennomsnittlig endring i stående salt» (DHI, 2021).

Massebudsjett	Etter tiltak		Før tiltak	
	Gjennomsnittlig stående salt [kg]	Gjennomsnittlig stående salt [kg]	Gjennomsnittlig endring i stående salt [kg]	Gjennomsnittlig endring stående salt [%]
MB1	2 327 834 652,3	2 322 547 989,3	1 128 199,0	0,0
MB2	3 477 700 217,8	3 488 705 758,7	2 167 451,1	0,1

Tabell 5-6 Stående varme i gitte gyteområder på innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig stående varme» betyr at gjennomsnittlig stående varme er rettet inn mot gyteområdet. For «gjennomsnittlig endring stående varme» vil positivt tall vil si at det er mer stående varme etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall. De initiale forskjellene på bakgrunn av endret dybde er fjernet i «Gjennomsnittlig endring i stående varme» (DHI, 2021).

Massebudsjett	Etter tiltak		Før tiltak	
	Gjennomsnittlig stående varme [TJ]	Gjennomsnittlig stående varme [TJ]	Gjennomsnittlig endring i stående varme [TJ]	Gjennomsnittlig endring stående varme [%]
MB1	2 348,8	2 344,4	1,6	0,1
MB2	3 578,1	3 590,9	-3,0	-0,1

5.3 Konklusjon

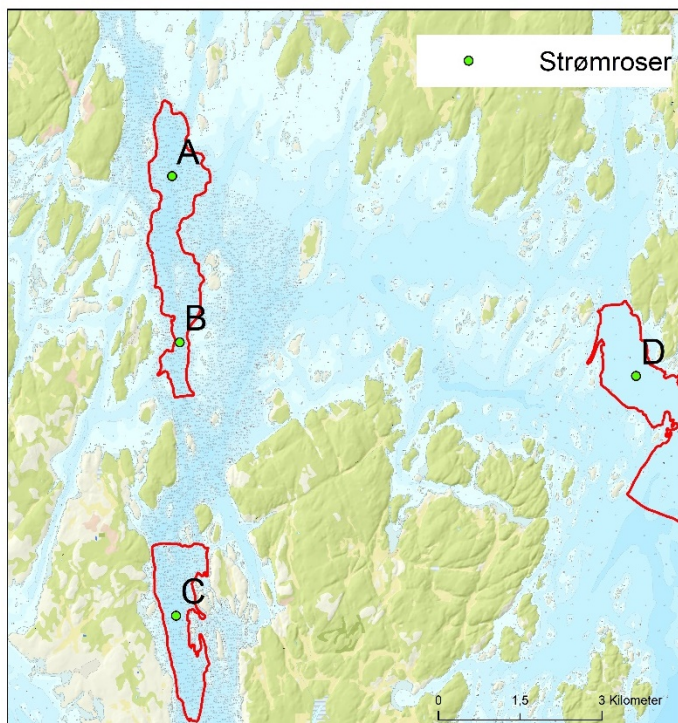
Utredning av om mudring/sprengning av fem grunner og Glomma ved Røsvikrenna vil kunne endre vannutveksling mellom «utsiden» og «innsiden» av Hvalerøyene, basert på DHIs hydrodynamiske modellringer oppsummeres følgende:

- Valideringer av modellen har vist at modellen beskriver tidevann og residual vannstand godt, sammenligningene av strømhastighetene viser en fornuftig overenstemmelse, og at lagdelingen for salinitet og temperatur er godt beskrevet.
- Undersøkelsen av vannutvekslingen er basert på inn- og utstrømningslinjer, og massebudsjetter, som beskriver inn- og utstrømning av vann, salt og varme over utvalgte tverrsnitt, og vann, salt og varmebalanse innenfor de to gyteområdene.
- Undersøkelsene før- og etter tiltak viser for inn- og utstrømningslinjene at det kun er en liten endring i gjennomstrømningen, som kan sies å være såpass liten at endringen i vann, salt og varmeutvekslingen er minimal. Det skal merkes at det i perioden hvor det er lavere vannføring i Glomma (januar-april), kommer det mer tidevann opp i Glomma fra Østerelven etter tiltak. Dette tidevannet ser ut til å gå delvis ut gjennom Vesterelven, siden mer salt strømmer gjennom her etter tiltak. Den totale vannføringen endres likevel ikke mye. Når vårfloppen kommer (mai - juni) er endringen mellom før- og etter tiltak liten.
- For vannutvekslingen til de gitte gyteområdene til torsken er det minimal endring i det stående vannet, -saltet og -varmen i massebudsjettene.
- Det er også vist at lagdelingen i interesseområdet er tilnærmet uendret før- og etter tiltak.
- Den planlagte mudringen/sprengningen av fem grunner og Glomma ved Røsvikrenna har svært begrenset innvirkning på den samlede vannutvekslingen for Hvalerskjærgården. Med hensyn til vann, varme og saltbalansen i de to gyteområdene, har prosjektet nærmest en ubetydelig effekt.

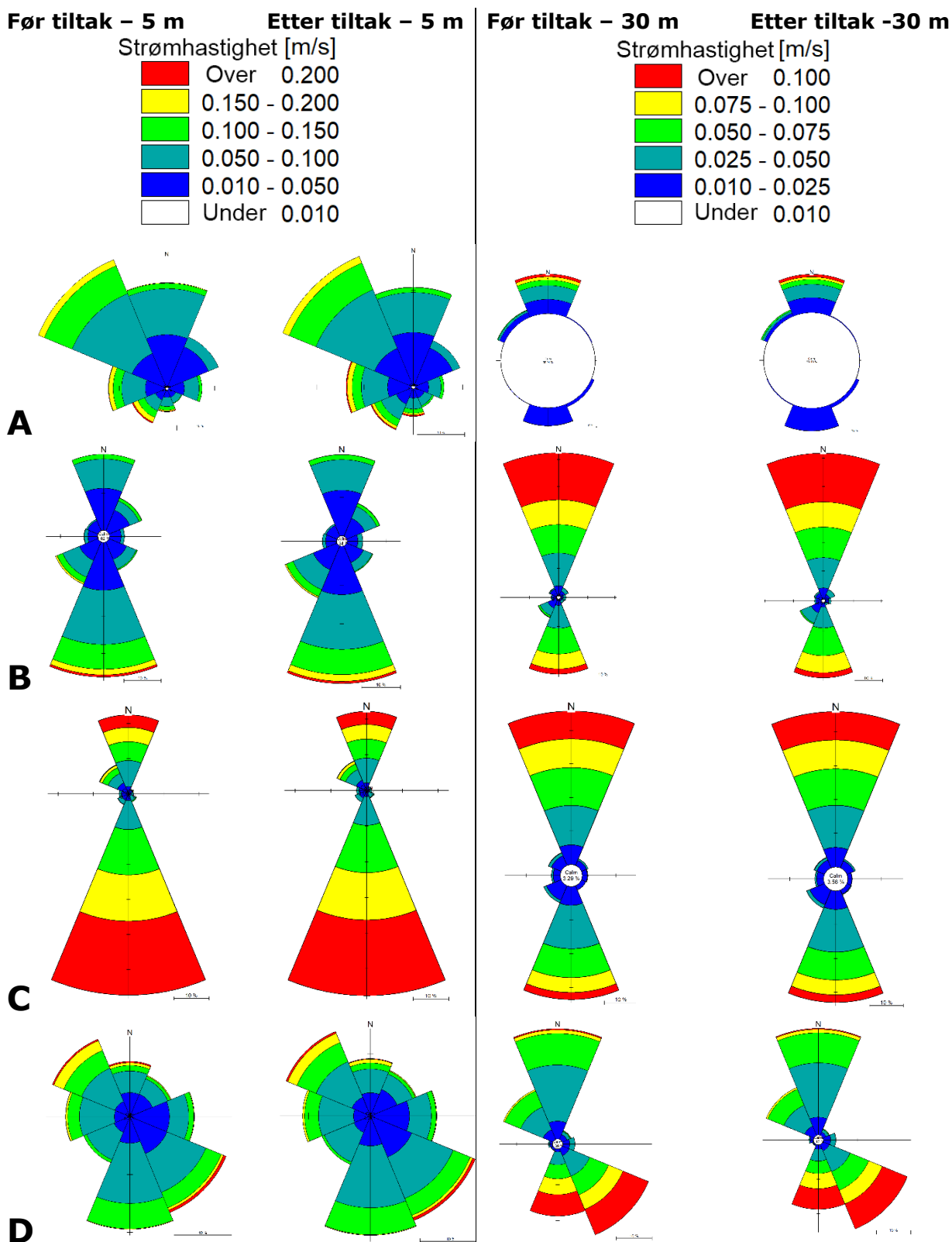
5.4 Vurdering larvedrift basert på DHIs modellering

Basert på data fra DHI er det gjort en enkel vurdering av mulig larvedrift fra gytefeltene. Dette har ikke blitt modellert spesifikt i dette prosjektet, men noen antakelser vedrørende netto strøm og mulig larvedrift er gitt. Strømroser tatt ut på 4 ulike punkter i gytefeltene på to dyp (5 og 30 m) gjennom den modellerte perioden (Figur 5-8 og Figur 5-9) viser mye av det samme som i Figur 5-4 og Figur 5-5 (januar), med unntak av overflatestrøm i punkt A. I overflatelaget er det generelt i gyteperioden en nettostrøm ut av skjærgården, mens det på dypere vann er en kompensasjonsstrøm med lavere hastighet inn mot Glomma i den indre del av Hvalerskjærgården. Modellresultatene er sammenlignbare med Staalstrøm og Skogan (2015), april måned.

Solemdal og Sundby (1981) oppga torskeegg til å ha en nøytral tetthet ved 29,5-33 PSU i Vestfjorden. Sundby (1991) rapporterte pelagiske egg til å ha høyest konsentrasjon nær overflaten, med eksponentiell minking nedover i vannmassene. I estuarine miljøer med lav overflatetetthet vil eggene ansamles under overflaten med høyest tetthet i pyknoklinen. Eggene vil være relativt upåvirket av variasjoner i turbulens, men vil være mer avhengige av de lokale salinitetsprofilene (Sundby, 1991). Basert på modellert nettostrøm vil trolig vil eggene sirkulere rundt i områdene identifisert som gytefelt av HI, med en mulig transport ut av gytefeltet Flyndregrunnen i nord langs bunnen inn mot Glomma men nettotransport utover og bort fra de indre deler ved Glomma dersom eggene flyter opp i de øverste meterne. Vanntransporten er relativt langsom i de dypere vannlagene, antatt en strømhastighet på 5 cm / sek (3 meter i timen) vil eggene kunne forflyttes ~900 meter totalt fra eggene gytes til de klekker (~300 timer).



Figur 5-8 Punkter i gytefelt hvor det er tatt ut strømroser (Figur 5-9) for perioden jan-april, 2015, modelldata DHI.



Figur 5-9 Strømroser tatt ut for hele modellingsperioden (DHI), punktene A-D (Figur 5-8) for dypene 5 meter og 30 meter, modellerte resultater før og etter tiltak. Som beskrevet tidligere er det kun små forskjeller i modellresultater mellom før og etter tiltak.

6 REFERANSER

- Appelberg, M; Holmqvist, M and Lagenfelt, I. 2005. Øresundsforbindelsens inverkan paa fisk och fiske. Underlagsrapport 1992-2005. 2005, pp. 1-230.
- Breyholtz, B. et al., 2020. Innseiling Borg - utdyping av farled - Mengdeberegning av tiltaksalternativer, Sandvika: Norconsult.
- DHI. 2021. Strømningsmodell i Hvalerskjærgården Vannutvekslingen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene. DHI rapport
- Engell-Sørensen K, Holm SP. 2001. Evaluation of the Effect of Sediment Spill from Offshore Wind Farm Construction on Marine Fish.
- Espeland SH, Albertsen J, Nedreaas K, Sannæs H, Bodvin T, Moy F. 2013. Kartlegging av gytefelt. Gytefelt for kysttorsk. Havforskningsinstituttet rapport 1/2013.
- DNV. 2006. Utvidelse av farleden til Borg havn. Rapport nr: 2006-1502.
- DNV. 2008. TA 2425. Mudringsmetoder for forurenset sjøbunn. Rapport nr:2008-0476. Rapport til Statens forurensningstilsyn.
- DNV GL, 2014. Marinbiologisk tilleggsundersøkelse i Førdefjorden. Rapport nr.: 2014-1193, rev 1. Kap. 4.)
- FeBEC, 2013. Fish Ecology in Fehmarnbelt. Environmental Impact assessment Report. Fehmarn Belt Environment Consortium JV Report No. E4TR0041 - Volume I.
- Fitzpatrick, M., Warren, R., Ekrol, N. 2000. South Arne Field Development: An Environmental Impact Assessment of Oil Spills. Spill Science & Technology Bulletin, Vol. 6, No. 2, pp. 133-143.
- Hjermann, D. Ø., Melsom, A., Dingsør, G. E., Durant, J. M., Eikeset, A. M., Røed, L. P., Ottersen, G., Storvik, G., Stenseth, N. C. 2007. Fish and oil in the Lofoten-Barents Sea system: synoptic review of the effect of oil spills on fish populations. Marine Ecology Progress Series, Vol. 339: 283-299
- Humborstad, O-B, Jørgensen, T and Grotmol, S. 2006. Exposure of cod *Gadus morhua* to resuspended sediment: an experimental study of bottom trawling. Marine Ecology Progress Series. 2006, Vol. 309, pp. 247-254.
- NIVA. 2018. Statistisk analyse av volum av forurenset sediment i Borg 1 og Flyndregrunnen, basert på samlet kjemisk analysemateriale fram til 2017. RAPPORT L.NR. 7277-2018.
- Multiconsult. 2018. Innseiling Borg havn- Vedlegg B. Generell område- og tiltaksbeskrivelse – sammendrag av søknad. Dokumentkode: 713909-ADM-RAP-001.
- Rambøll. 2018a. Farledsutbedring Borg havn. Oppsummering av volumberegninger og resultater. M-rap-057-1110438.
- Rambøll. 2018b. Farledsutbedring Borg havn. Volum rent og forurenset sediment fra tiltaket. – Metode og resultater. M-rap-55-1110438-019.
- Rambøll. 2018c. Miljøgiftbudsjett for farledsutbedring i Borg havn. Spredning av miljøgifter før, under og etter tiltaket er beregnet. Rapport nr: M-rap-050-1110438.



Rambøll. 2018d. Miljøkonsekvensvurdering ved farledsutbedring til Borg Havn. Rapport nr: M-rap-51

Staalstrøm, A. og Skogan, O. A., 2015. Strømforhold og partikkelkonsentrasjoner i nedre del av Glomma utenfor Borg Havn. NIVA rapport nr 6911-2015, 27 s.

SINTEF. 2010. Dumping av løsmasser på sjøbunnen ved Fredrikstad. Kartlegging av strømforhold i Ørakanalen. Sluttrapport. SINTEF rapport F16114.

SINTEF. 2012. Deponering av løsmasser fra mudring av Røsvikrenna. Strøm og spredningsberegninger. Rapport nr. SINTEF F22633.

SINTEF. 2018. Innseiling til Borg havn – modellering av mudrings- og deponeringsoperasjoner. Spredning av finpartikulært materiale. Rapport nr 2018:00582.

Johnston DD, Wildish DJ, 1982. Effect of suspended sediment on feeding by larval Herring *Clupea harengus harengus*. Bulletin of Environmental Contamination and Toxicology 49:261-7.

Michelsen FA, Alver MO. 2015. Current modelling for the Røsvikrenna outlet area. SINTEF report nr F26768.

Messieh SN, Wildish DJ, Peterson RH, 1981. Possible impact from dredging and spoil disposal on the Miramichi Bay herring fishery. Canadian Technical Report on Fisheries and Aquatic Science 1008.

Nepstad, R., Hansen, B. H., Skancke, J. 2020. North sea produced water PAH exposure and uptake in early life stages of Atlantic Cod. Marine Environmental Research.

Newcombe CP, Jensen JOT, 1996. Channel suspended sediment and fisheries: a synthesis for quantitative assessment of risk and impact. North American Journal of Fisheries Management 16(4):693-727.

Reinardy H, Pedersen KB, Nahrgang J, Frantzen M. 2019. Effects of Mine Tailings Exposure on Early Life Stages of Atlantic Cod. Environmental Toxicology and Chemistry—Volume 38, Number 7—pp. 1446–1454.


Solemdal p, Sundby S. 1981. Vertical distribution of pelagic fish eggs in relation to species, spawningbehaviour and wind conditions. ICES council Meeting 1981/G77, 27.

Sundby S. 1991. Factors affecting the vertical distribution of eggs. ICES Marine Science Symposia, 192: 33-38.

Sørensen, L., Sørhus, E., Nordtug, T., Incardona, J. P., Lindbo, T. L., Giovanetti L., Karlsen, Ø., Meier, S. 2017. Oil droplet fouling and differential toxicokinetics of polycyclic aromatic hydrocarbons in embryos of Atlantic haddock and cod. PLoS ONE 12(7).

Sørensen L et al. 2019. Accumulation and toxicity of monoaromatic petroleum hydrocarbons in early life stages of cod and haddock. Environmental Pollution 251 (2019) 212-220.

Van Daltsen J, 1999. Ecologische effecten van grootschalige zandwinning. Werkdocument t.b.v. visieontwikkeling op kustplannen. Werkdocument RIKZ/AB-98.105xxx.



Westerberg H, Rönnbäck P, Frimansson H, 1996. Effects of suspended sediments on cod eggs and larvae and on the behaviour of adult herring and cod. ICES CM 1996/E:26:13.

Wenger et al. 2017. A critical analysis of the direct effects of dredging on fish. Fish and Fisheries 18(5).

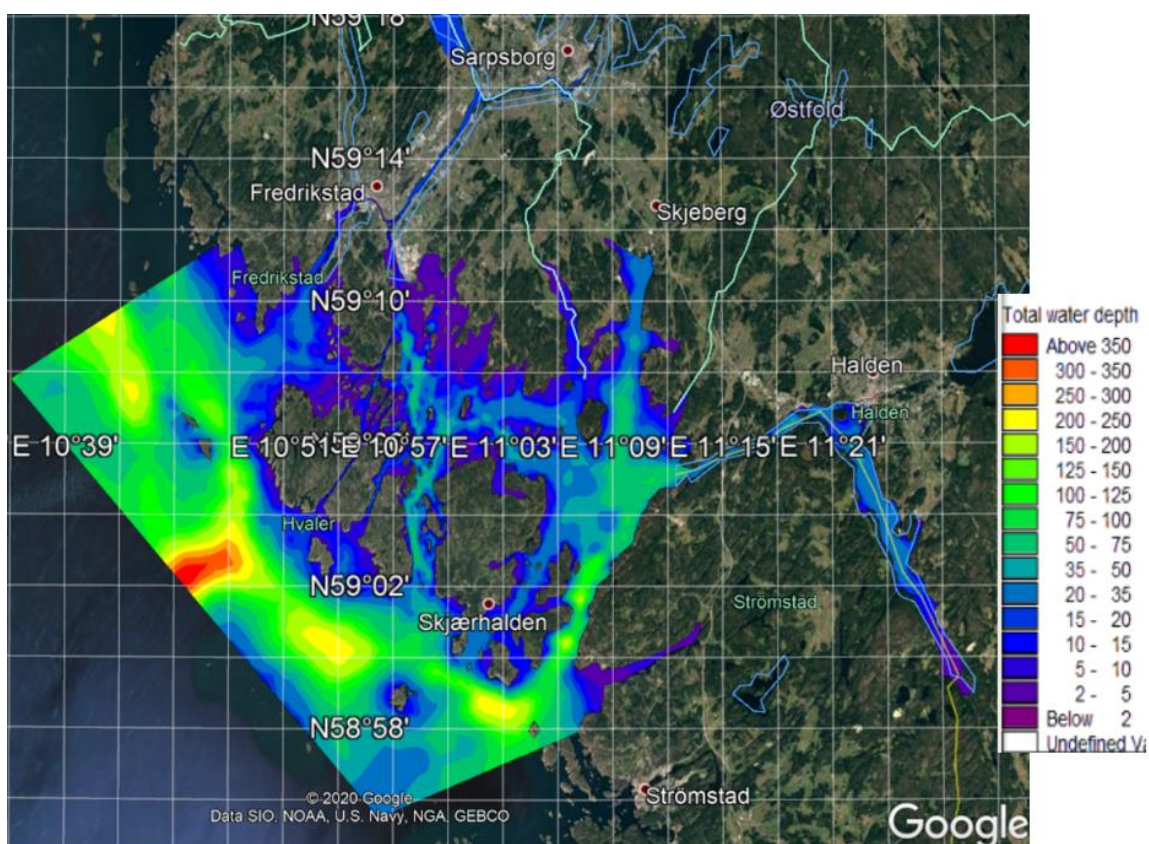


VEDLEGG A - DHI rapport. Strømningsmodell i Hvalerskjærgården

- Vannutvekslingen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene

Strømningsmodell i Hvalerskjærgården

Vannutvekslingen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene



Denne rapport er utarbeidet under DHIs ledelsessystem, som er sertifisert av Bureau Veritas for overensstemmelse med ISO 9001 (kvalitetsstyring)

ISO 9001
Management System Certification

BUREAU VERITAS
Certification Denmark A/S



Strømningsmodell i Hvalerskjærgården

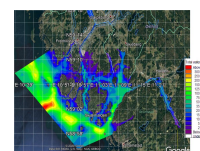
Vannutvekslingen mellom utsiden og innsiden av
Hvalerøyene

Utarbeidet for

DNV GL

Representert ved

Øyvind Fjukmoen



Modellområde

Prosjektleder	Henrik Fjørtoft
Forfatter	Mathias Singsaas Frøseth
Kvalitetsansvarlig	José Antonio Arenas og Thomas Uhrenholdt

Prosjektnummer	13801188
Godkjennelsesdato	03.02.2021
Revisjon	Final 1.1
Klassifikasjon	Åpen

INNHOILDSFORTEGNELSE

1	Introduksjon	1
2	Modelloppsett og - kalibrasjon	2
2.1	Modellsystem	2
2.2	Modellberegningsnett.....	2
2.3	Elvekilder.....	6
2.4	Atmosfærisk forsering	8
2.5	Modellgrensene.....	8
2.6	Initial betingelser	9
2.7	Kalibrering.....	9
3	Modellvalidering	10
3.1	Vannstand	10
3.2	Strøm	12
3.3	Salinitet og temperatur	14
3.3.1	Saltvannskilen i nedre Glomma	14
3.3.2	Ramsø, Østerelva	16
3.3.3	Leira, Vesterelva	16
3.3.4	Haslau, Singlefjorden	17
3.3.5	Ringdalsfjorden og Iddefjorden	18
4	Vannutskiftning	20
4.1	Inn- og utstrømningslinjer	20
4.2	Massebudsjett	24
5	Tiltaksanalyse	27
5.1	Tiltaksbeskrivelse	27
5.2	Endring vannutskiftning.....	29
5.2.1	Inn- og utstrømningslinjer	29
5.2.2	Massebudsjett	34
5.2.3	Lagdelling.....	38
6	Konklusjon	39
7	Bibliografi	40

FIGURER

Figur 1.1	Tiltaksområde Borg. (Helland, et al., 2018)	1
Figur 2.1	Modellområdet, som viser vanndybdene, over satellittbilde fra Google Earth	3
Figur 2.2	Horisontal modellopløsningen av domenet.....	4
Figur 2.3	Horisontal modellopløsning for den nordre delen av interesseområdet	4
Figur 2.4	Horisontal modellopløsning for den sørlige delen av interesseområdet	5
Figur 2.5	Vertikal modellopløsning fra kysten på Vesterøy (fra venstre) i offshore retning	5
Figur 2.6	Lokasjon på alle elvekildene	6
Figur 2.7	Vannføring i alle elvene bortsett fra Glomma	7
Figur 2.8	Vannføring Glomma ved vannmerke 2.605 Solbergfoss (kilde: NVE Hydra II)	7
Figur 2.9	Temperatur Glomma ved målestasjon 2.31 Sarpfoss m (kilde: NVE Hydra II)	8

Figur 3.1	Lokasjonene til stasjonene brukt til modellvalidering.....	10
Figur 3.2	Modellert (rød kurve) og målt (sort kurve) vannstand ved Kungsvik. Det øverste panelet viser hele modellperioden, mens det nederste panelet viser et eksempel zoom for april. Merk at modellert vannstand (venstre akse) har blitt oppjustert med 10 cm for å hensynta en liten vertikal datum forskjell mellom de to datasettene	11
Figur 3.3	Modellert (rød kurve) vannstand og målt (sort kurve) vanddybde ved G3. Merk at figuren har blitt justert så modellert vannstand er vist på venstre akse, mens målt vanddybde er vist på høyre akse	12
Figur 3.4	Oppsett av stasjon ved G3 for periode 3. Rammen var utstyrt med en tilt-sensor som gjorde det mulig å verifisere at rammen landet riktig, fra (Staalstrøm & Skogan, 2015).....	12
Figur 3.5	Målte strømhastigheter, hvor den blå kurven er rådataen fra målingene, mens den sorte linjen viser strømhastighetenes 3 timers løpende middel.....	13
Figur 3.6	Modellert (rød kurve) og 3 t midlete målte (sort kurve) strømhastigheter i overflatelaget (-1 m) ved G3	13
Figur 3.7	Målte strømrretning, hvor den blå kurven er rådataen fra målingene, mens den sorte linjen viser strømrretningene midlet over 3 timer	13
Figur 3.8	Modellert (rød kurve) og 3 t midlete målte (sort kurve) strømrretninger i overflatelaget (-1 m) ved G3	14
Figur 3.9	Strømroser i overflatelaget (1 m under havoverflaten) ved G3. Strømrosen til venstre viser de midlete verdiene fra målingene, mens strømrosen til høyre viser strømrosen fra modellen	14
Figur 3.10	Transekt for saltvannskile	15
Figur 3.11	Vertikalt transekt av nedre Glomma, som viser et øyeblikksbilde av saltvannskilen når havvannet trenger inn i bunnen av Glomma.....	15
Figur 3.12	Målt (symbol) og modellert (kurve) salinitet ved forskjellige dybder ved Ramsø gjennom modellperioden.....	16
Figur 3.13	Målt (symbol) og modellert (kurve) temperatur ved forskjellige dybder ved Ramsø gjennom modellperioden.....	16
Figur 3.14	Målt (symbol) og modellert (kurve) salinitet ved forskjellige dybder ved Leira gjennom modellperioden.....	17
Figur 3.15	Målt (symbol) og modellert (kurve) temperatur ved forskjellige dybder ved Leira gjennom modellperioden.....	17
Figur 3.16	Målt (symbol) og modellert (kurve) salinitet ved forskjellige dybder ved Haslau gjennom modellperioden.....	17
Figur 3.17	Målt (symbol) og modellert (kurve) temperatur ved forskjellige dybder ved Haslau gjennom modellperioden.....	18
Figur 3.18	Målt (symbol) og modellert (kurve) salinitet ved forskjellige dybder ved Ringdalsfjorden gjennom modellperioden	18
Figur 3.19	Målt (symbol) og modellert (kurve) temperatur ved forskjellige dybder ved Ringdalsfjorden gjennom modellperioden	19
Figur 3.20	Målt (symbol) og modellert (kurve) salinitet ved forskjellige dybder ved Iddefjorden gjennom modellperioden.....	19
Figur 3.21	Målt (symbol) og modellert (kurve) temperatur ved forskjellige dybder ved Iddefjorden gjennom modellperioden	19
Figur 4.1	Utvalgte inn- og utstrømningslinjer i den indre skjærgården i modellen	20
Figur 4.2	Inn- og utstrømningslinjer for gjennomstrømning vann, varme og salt for DL1 (positivt rettet inn mot skjærgården)	21
Figur 4.3	Netto vannvolum gjennomstrømning i modellperioden. Pilene peker i positiv retning	22
Figur 4.4	Netto salt gjennomstrømning i modellperioden. Pilene peker i positiv retning	23
Figur 4.5	Netto strøm mellom 0-1 m	23
Figur 4.6	Netto strøm mellom 8-9 m	24
Figur 4.7	Masebudsjettene avgrensede området for de to gyteområdene angitt av Kystverket	25
Figur 4.8	Masebudsjett for stående vannvolum, -varme og -salt i det nordlige gyteområdet MB2.....	26
Figur 5.1	Dybdeforskjellen (etter- minus før tiltak); en økning i vanddybde viser hvor mye dypere det elementet er blitt, og vice versa for en negativ verdi	28

Figur 5.2	Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning vann for DL1, posisjonen til linjene er vist i .Figur 4.1. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før- og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter- minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også den relative endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter- minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne	30
Figur 5.3	Massebudsjett for stående vann for MB2. Den øverste figuren viser stående vann før- og etter tiltak, her er også det gjennomsnittlige stående vannet i MB2 presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i stående vann (etter- minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i stående vann er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også den relative endringen i stående vann (etter- minus før tiltak), her presentert i prosent, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne.....	35
Figur 5.4	Isoplettplot av salinitet gjennom modellperioden i et sentralt punkt i MB2. Den øverste delfiguren er før tiltak mens den nederste delfiguren er etter tiltak. Merk at x-aksen er tid og y-aksen er dybde.....	38

TABELLER

Tabell 2.1	Sammendrag av anvendte modellinnstillinger og konstanter	9
Tabell 5.1	Øyeblikkelig gjennomstrømning vann i inn- og utstrømningslinjene som avgrenser utsiden og innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning» betyr at gjennomsnittlig gjennomstrømning er rettet inn mot innsiden av Hvalerøyene. For «gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning» vil positivt tall vil si at det er mer gjennomstrømning etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall	31
Tabell 5.2	Øyeblikkelig gjennomstrømning salt i inn- og utstrømningslinjene som avgrenser utsiden og innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning» betyr at gjennomsnittlig gjennomstrømning er rettet inn mot innsiden av Hvalerøyene. For «gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning» vil positivt tall vil si at det er mer gjennomstrømning etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall	32
Tabell 5.3	Øyeblikkelig gjennomstrømning varme i inn- og utstrømningslinjene som avgrenser utsiden og innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning» betyr at gjennomsnittlig gjennomstrømning er rettet inn mot innsiden av Hvalerøyene. For «gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning» vil positivt tall vil si at det er mer gjennomstrømning etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall	33
Tabell 5.4	Stående vann i gitte gyteområder på innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig stående vann» betyr at gjennomsnittlig stående vann er rettet inn mot gyteområdet. For «gjennomsnittlig endring stående vann» vil positivt tall vil si at det er mer stående vann etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall. De initiale forskjellene på bakgrunn av endret dybde er fjernet i «Gjennomsnittlig endring i stående vann».....	36
Tabell 5.5	Stående salt i gitte gyteområder på innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig stående salt» betyr at gjennomsnittlig stående salt er rettet inn mot gyteområdet. For «gjennomsnittlig endring stående salt» vil positivt tall vil si at det er mer stående salt etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall. De initiale forskjellene på bakgrunn av endret dybde er fjernet i «Gjennomsnittlig endring i stående salt»	36
Tabell 5.6	Stående varme i gitte gyteområder på innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig stående varme» betyr at gjennomsnittlig stående varme er rettet	

inn mot gyteområdet. For «gjennomsnittlig endring stående varme» vil positivt tall vil si at det er mer stående varme etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall. De initiale forskjellene på bakgrunn av endret dybde er fjernet i «Gjennomsnittlig endring i stående varme»37

VEDLEGG

VEDLEGG A – Sammenligning

Inn- og utstrømningslinjer og massebudsjetter

Sammendrag

På oppdrag for Kystverket og DNV GL er det undersøkt for Kystverket om mudring/sprengning av fem grunner og Glomma ved Røsvikrenna vil kunne endre vannutveksling mellom «utsiden» og «innsiden» av Hvalerøyene. Denne rapporten oppsummerer resultatene fra undersøkelsene, og gir en vurdering av hvilken effekt tiltakene vil ha på vannutvekslingen.

Til å undersøke dette har DHI etablert en tredimensjonal strømningsmodell (hydrodynamisk modell) basert på modellsystemet MIKE 3 FM som inkluderer Hvalerskjærgården fra Glomma helt ut til Tisler. Modellen bruker grensebetingelser fra en av DHIs regionale modeller som dekker Skagerrak, slik at offshore-effekter, stormflo og relevante sirkulasjonsmønstre beskrives for hele modellsystemet. Modellen er drevet av meteorologiske felter og ferskvannstilstrømning fra bl.a. Glomma. Den ble validert mot målinger av vannstand, strøm, salinitet og temperatur for perioden 01.01.15 – 01.07.15.

I kapittel 3 er det vist at modellen beskriver tidevann og residual vannstand godt, sammenligningene av strømhastighetene viser en fornuftig overenstemmelse, og at lagdelingen for salinitet og temperatur er godt beskrevet.

Undersøkelsen av vannutvekslingen er basert på inn- og utstrømningslinjer, og massebudsjetter, som beskriver inn- og utstrømning av vann, salt og varme over utvalgte tverrsnitt, og vann, salt og varmembalanse innenfor de to gyteområdene.

Undersøkelsene før- og etter tiltak viser for inn- og utstrømningslinjene at det kun er en liten endring i gjennomstrømningen, som kan sies å være såpass liten at endringen i vann, salt og varmeutvekslingen er minimal. Det skal merkes at det i perioden hvor det er lavere vannføring i Glomma (januar-april), kommer det mer tidevann opp i Glomma fra Østerelven etter tiltak. Dette tidevannet ser ut til å gå delvis ut gjennom Vesterelven, siden mer salt strømmer gjennom her etter tiltak. Den totale vannføringen endres likevel ikke mye. Når vårfloppen kommer (mai - juni) er endringen mellom før- og etter tiltak liten.

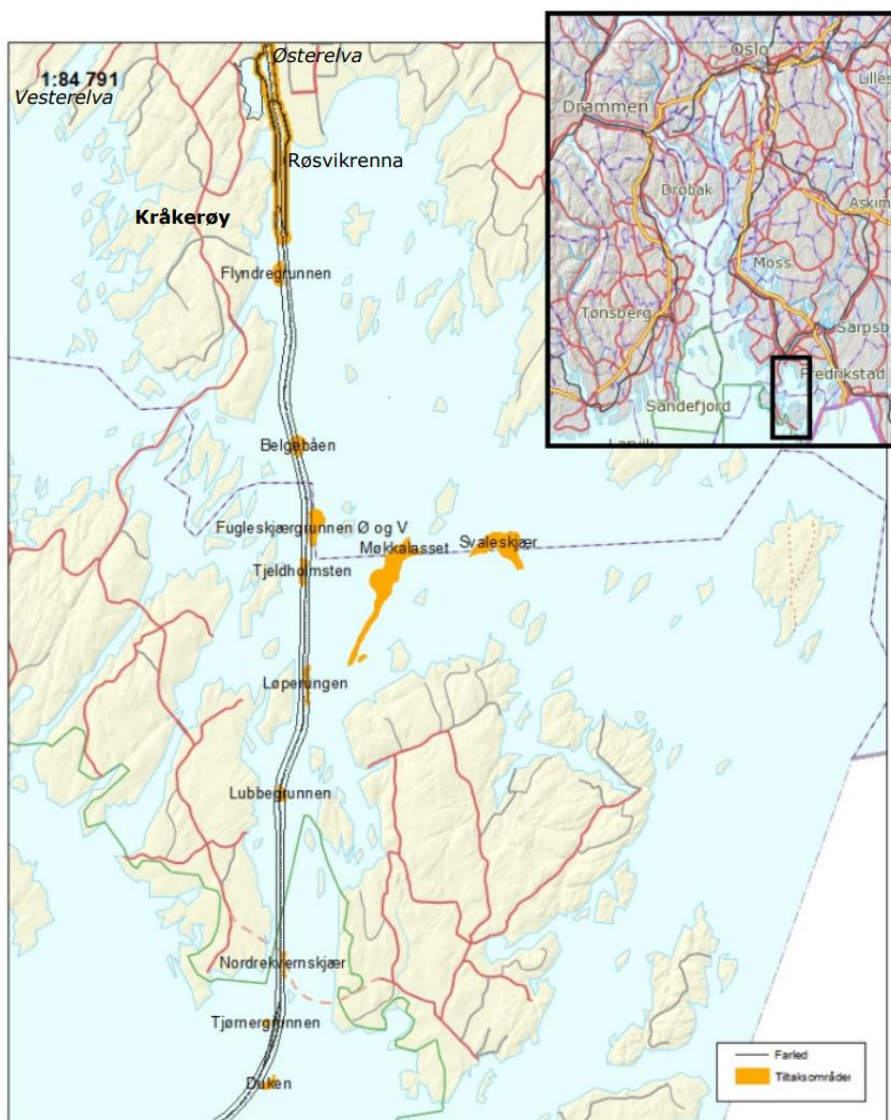
For vannutvekslingen til de gitte gyteområdene til torsken er det minimal endring i det stående vannet, -saltet og -varmen i massebudsjettene.

1 Introduksjon

Kystverket planlegger å forbedre hovedleden inn til Glomma ved Røsvikrenna og etablering a snuplass ved å mudre området. Planen er å utvide og utdype leden fordi dette er en smal og grunn del av innselingen til Fredrikstad og Sarpsborg. Dette er vist som Borg 1 i Figur 1.1.

I tillegg ser også Kystverket på mudring/sprengning av seks (6) grunner fra Flyndregrunnen til Lubbegrunnen. Tiltakene er vist i Figur 1.1. I dette tiltaket er det kun mudring/sprengning/deponering på Flyndregrunnen, Belgebåen, Tjeldholmsten, Løperungen og Lubbegrunnen som er inkludert.

Dette er et oppdrag DNV GL gjør for Kystverket, hvor DHI er underleverandør til DNV GL. I denne rapporten vil det bli gjort en utredning av om mudring/sprengning av grunner og utdypning av Glomma vil kunne endre vannutveksling mellom «utsiden» og «innsiden» av Hvalerøyene, som skal brukes til å se om området potensial som gytefelt kan forringes.



Figur 1.1 Tiltaksområde Borg. (Helland, et al., 2018)

2 Modelloppsett og - kalibrasjon

Området av hovedinteresse for analysen er de indre delene av Hvalerskjærgården, som er området fra ytterkant av Hvalerøyene og inn mot Fredrikstad, for å se om vannutskiftningen i dette området vil endres. Dette systemet er koblet sammen oppstrøms til Østerelva (østre del av Glomma etter at den splitter seg) og nedstrøms til Skagerrak (åpent hav). For å modellere interesseområdet er en liten del av Glomma samt en del av havområdet utenfor Hvalerøyene inkludert i modellen, se Figur 2.1. Dette sikrer at innflytelsen på skjærgården fra elven og havet er godt representert av modellen.

Når det gjelder modellen er det viktig at denne kan beskrive en rekke hydrodynamiske prosesser som strekker seg fra elvevannføring, stratifisering av vannsøylen, innblanding, estuarin sirkulasjon, fra vindgenerert sirkulasjon, tidevann og stormflo, til kystsirkulasjon.

For å sjekke dette har DHI har etablert en tredimensjonal strømningsmodell (hydrodynamisk modell) som inkluderer Hvalerskjærgården fra Glomma helt ut til Tisler, inklusiv Iddefjorden. Modellen inkluderer grensebetingelser fra en av DHIs regionale modeller som dekker Skagerrak, slik at offshore-effekter, stormflo og relevante sirkulasjonsmønstre beskrives for hele modellsystemet.

2.1 Modellsystem

Modellen er satt opp ved bruk av DHI sitt eget modelleringsverktøy, MIKE powered by DHI, som også benyttes av 95% av de største, globale rådgivende konsulentfirmaene som arbeider med miljøkonsekvensvurderinger.

Den hydrodynamiske modellen er basert på modelleringsprogramvaren MIKE 3 FM (versjon 2020) utviklet av DHI. MIKE 3 FM er basert på en fleksibel beregningsnett-tilnærming og er utviklet for applikasjoner innen oseanografiske, kystnære og estuarine miljøer.

Modellsystemet er basert på numeriske løsninger av tredimensjonale (3D) inkompressible Reynolds-gjennomsnittlige Navier-Stokes ligninger, under forutsetning av Boussinesq og hydrostatisk trykk. Dermed består modellen av kontinuitet, momentum, temperatur, saltholdighet og tetthetsligninger, og den lukkes av et turbulent lukkeskjema. Den frie overflaten anses ved hjelp av en sigma-koordinat-transformasjonsmetode. Den vitenskapelige dokumentasjonen til MIKE 3 FM er gitt i (DHI, 2020).

2.2 Modellberegningsnett

I strømningsmodellen er det benyttet et fleksibelt beregningsnett til å beskrive vannmassene. Dette gjør det mulig å modellere områder med ulik oppløsning avhengig av lengdeskalaene fra de viktigste hydrodynamiske prosessene og detaljeringsgrad. For Hvalerskjærgården er det satt opp et beregningsnett som har relativt grov oppløsning i de ytre områdene (Ytre Hvaler Nasjonalpark), men med fin oppløsning i indre Leira og på innsiden av Hvalerøyene der det er viktig å få med detaljene i vannutskiftningen. Modellområdet er vist i Figur 2.1 og modellopløsningen i interesseområdet er vist i Figur 2.2.

Det horisontale beregningsnettet består av både rektangulært og et triangulært nett. Rektangulært beregningsnett er brukt i smale kanaler og deler av Glomma, ellers er resten triangulært. I indre deler av Hvalerskjærgården og Leira lengden på siden av elementene på 60m-110m for å få med havbunnstopografitrekene og de mindre horisontale skalaene til de hydrodynamiske prosessene som forekommer her. I de ytre

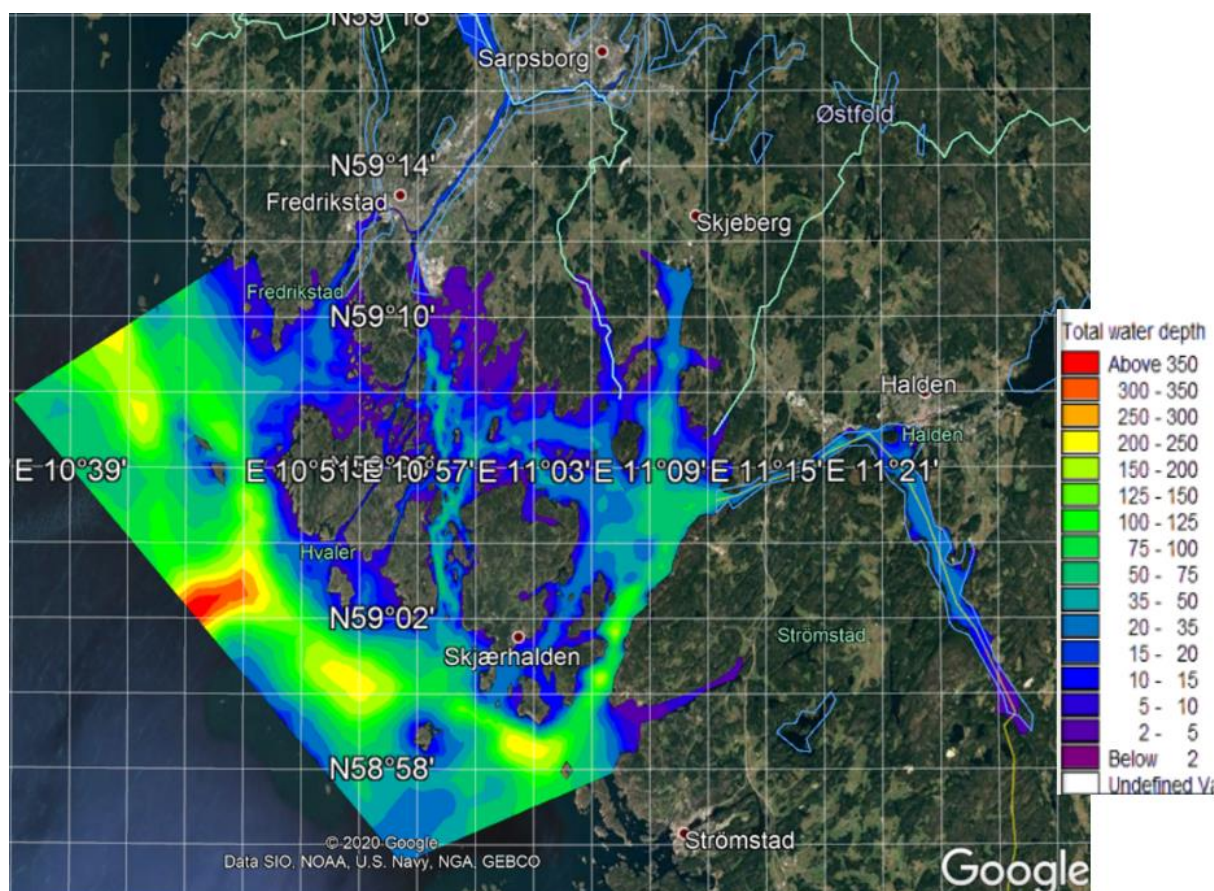
delene av Hvaler hvor den horisontale skalaen til de hydrodynamiske prosessene er større, varierer elementstørrelsene mellom 200-1000m. Detaljene i modellopløsningen kan ses i Figur 2.3 og Figur 2.4.

Havbunnstopografidataene som er brukt for det horisontale modellnettet er basert på de 50m x 50m og 1mx1m (i Glomma) gitrete havbunnstopografidataene fra Kystverket og data fra digitale navigasjonskart fra C-Map Norge.

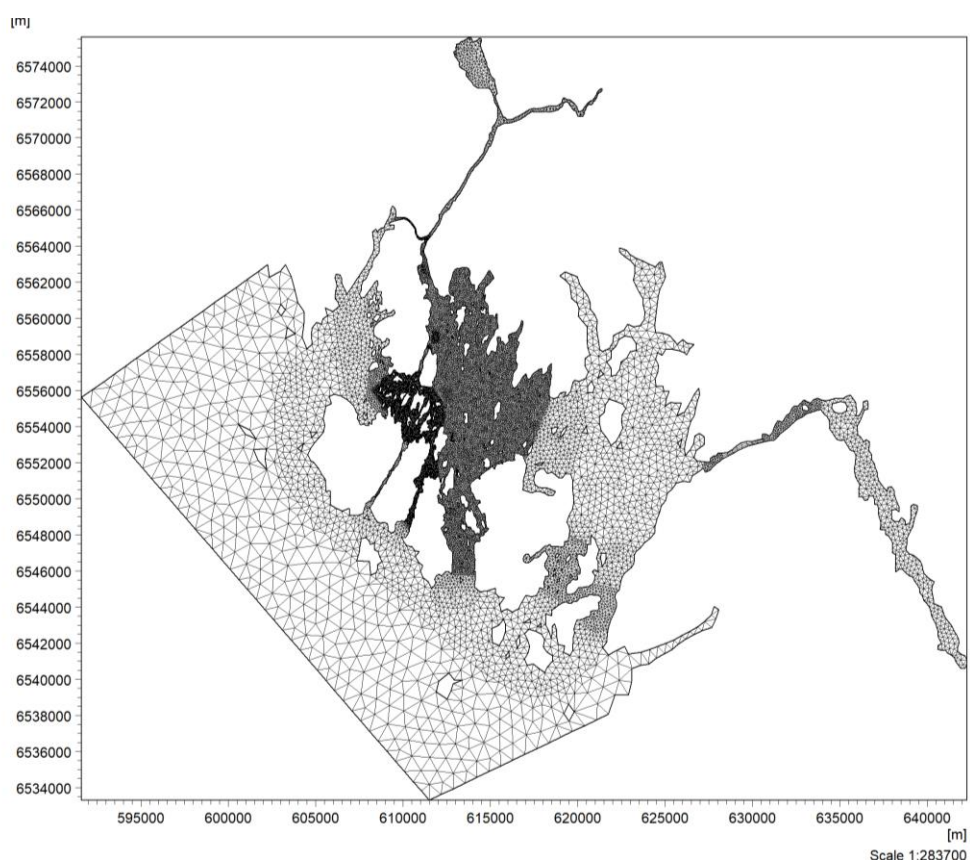
I tillegg er det benyttet dybde data fra GEONORGE, som er en løsning fra Kartverket: <https://kartkatalog.geonorge.no/metadata/kartverket/dybde data-terrengmodeller-50-meters-grid-landsdekkende/bbd687d0-d34f-4d95-9e60-27e330e0f76e>. Dette er en terrengmodell i 50x50m oppløsning som viser terrengvariasjon på havbunnen for norske sjø- og havområder. Terrengmodellen har blitt skapt ved bruk av interpolering og har derfor varierende nøyaktighet med hensyn til pålitelighet i posisjon og dybde. Datasettene er laget på bakgrunn av moderne data, det vil si data innsamlet ved bruk av multistråle ekkolodd. Disse dataene er kun brukt der Kystverket ikke har oppmålte data tilgjengelig.

Det horisontale nettverket er basert på ETRS 1989-referansen og UTM-32N-kartprojeksjonen. Havbunnstopografien til modellen refererer til middelvann (MSL).

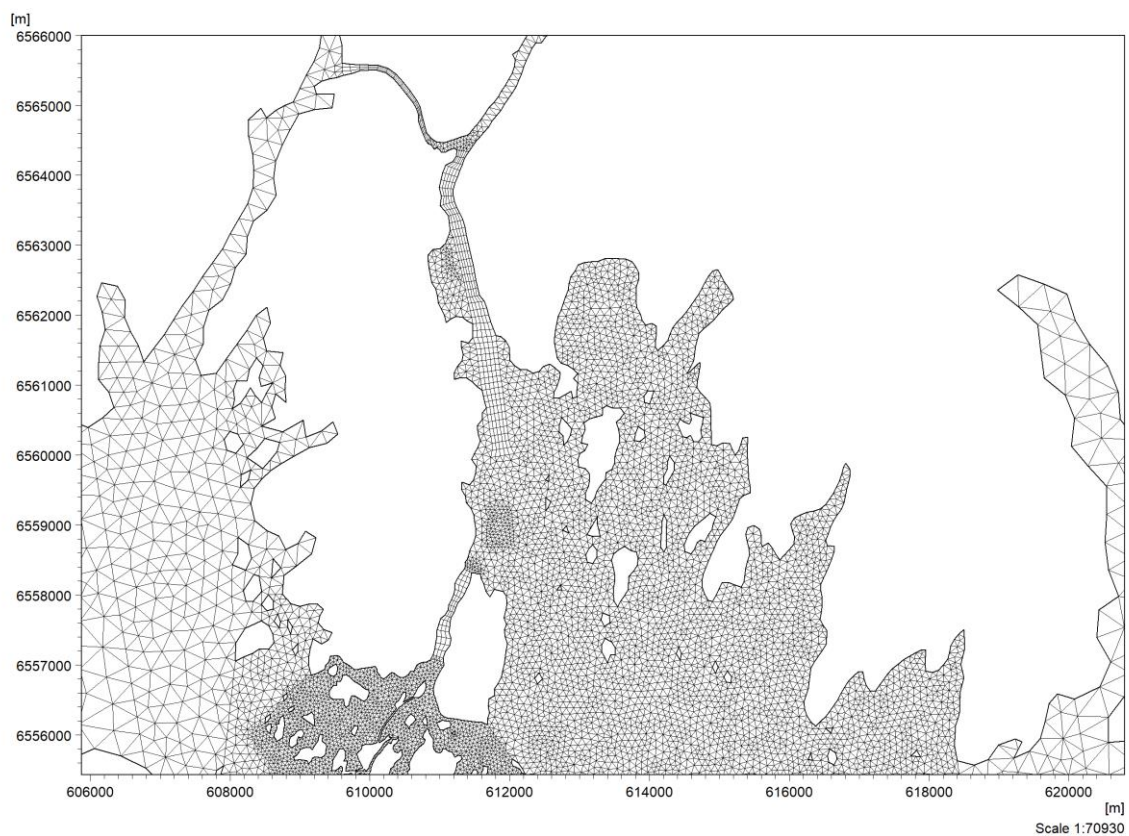
I den vertikale retningen består beregningsnettet av 10 σ -lag ned til -10m og 35 z-lag fra -10m til havbunnen. Tykkelsen på z-lagene er 2m ned til -62m, 5m ned til -92m og 10m fra -92m til -120m, det siste laget er dybdetilpasset og går fra 120m til havbunnen (dette gjelder få elementer). Den vertikale modellopløsningen er vist i Figur 2.5.



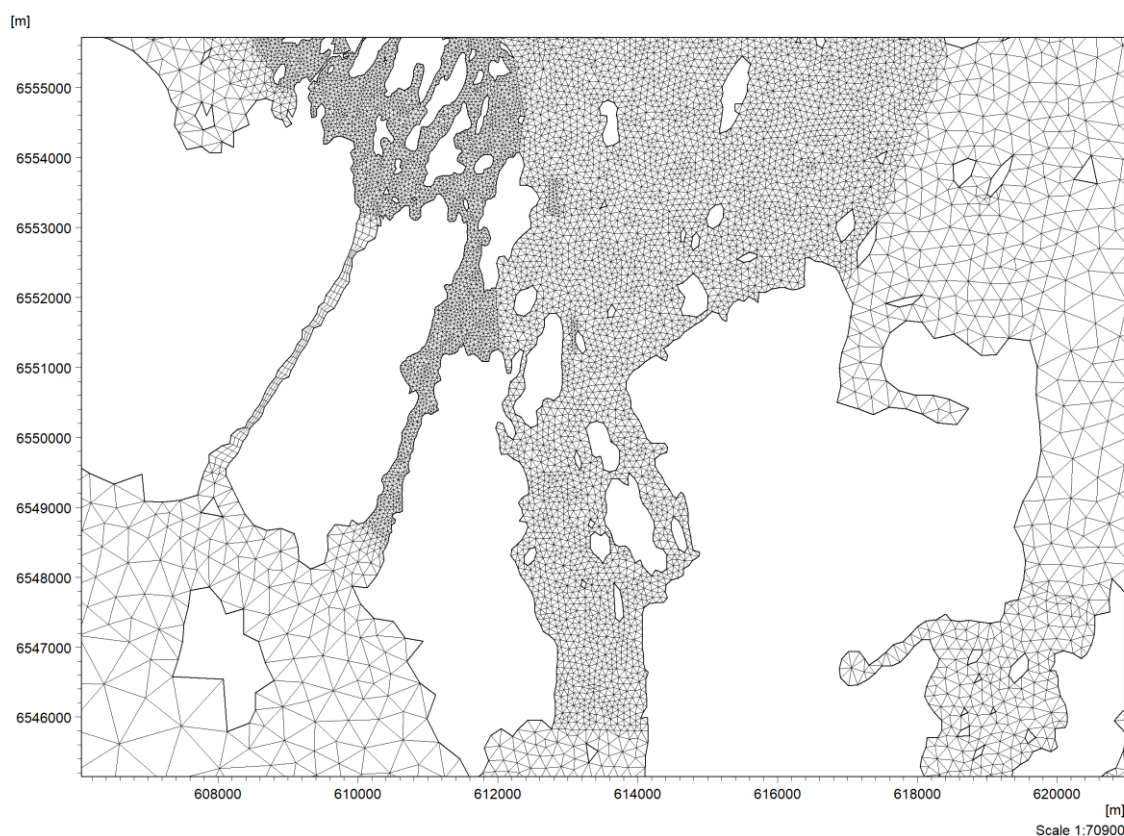
Figur 2.1 Modellområdet, som viser vanddybdene, over satellittbilde fra Google Earth



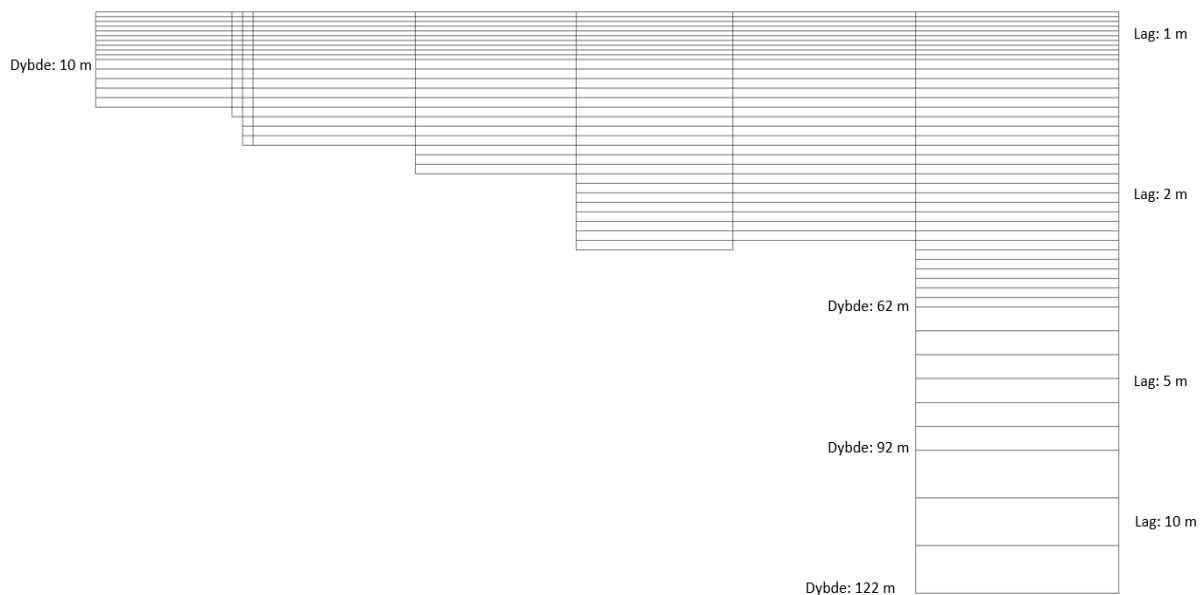
Figur 2.2 Horizontal modelopløsningen av domenet



Figur 2.3 Horizontal modelopløsning for den nordre delen av interesseområdet



Figur 2.4 Horisontal modeloppløsning for den sørlige delen av interesseområdet

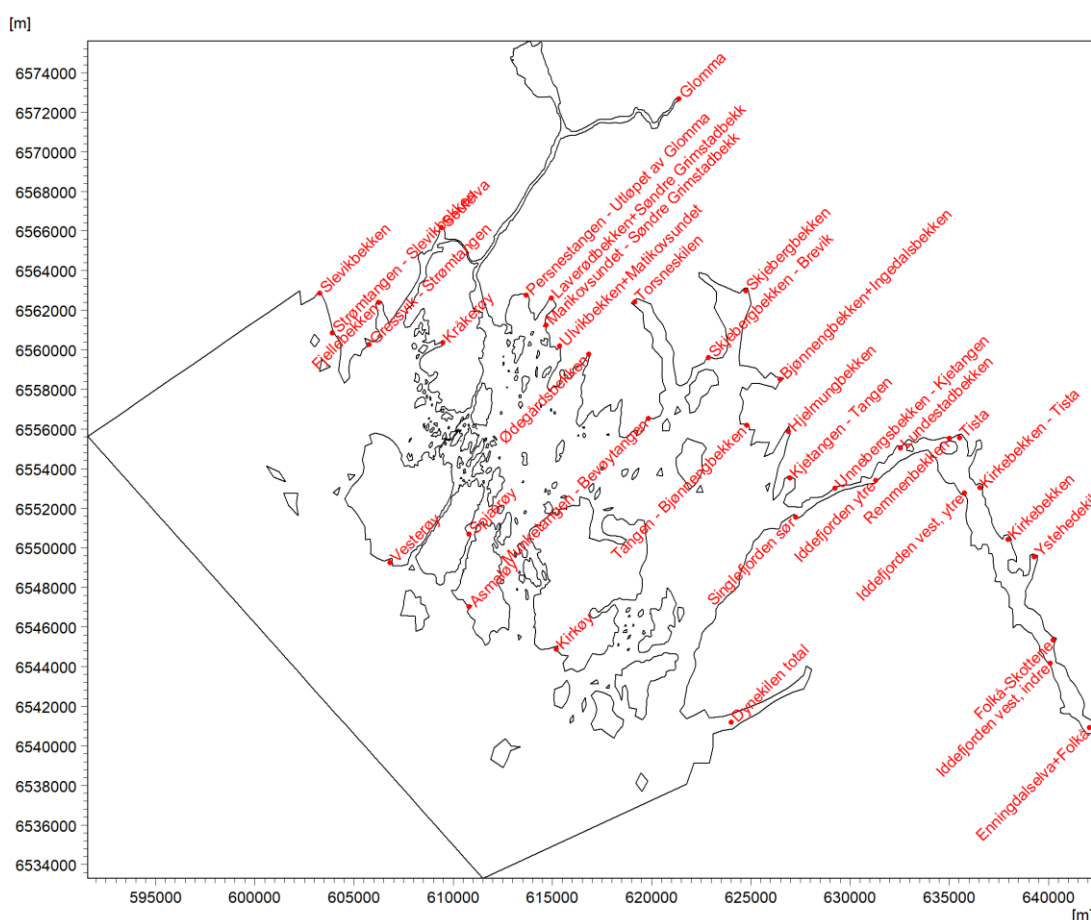


Figur 2.5 Vertikal modeloppløsning fra kysten på Vesterøy (fra venstre) i offshore retning

2.3 Elvekilder

Den generelle sirkulasjonen i Hvalerskjærgården er sterkt påvirket av vannføringen fra elvene i domenet; spesielt Glomma, som er Norges største elv og er vesentlig større enn de andre elvene i domenet. Den store ferskvannstilstrømningen fra spesielt Glomma skaper et brakkvannslag i den øverste delen av vannsøylen i systemet og opprettholder en sterk stratifisering av vannsøylen. Alle kilder og deres lokasjoner er vist i Figur 2.6.

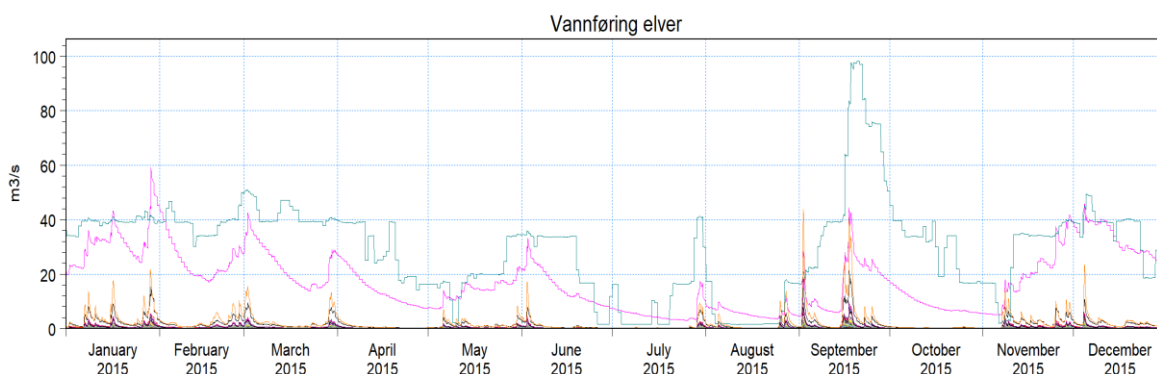
Elvene er inkludert i modellen som såkalte punktkilder. I hver punktkilde er både vannføring, temperatur og salinitet spesifisert enten som en tidsserie eller som en konstant. Vannføringen for alle elvene bortsett fra Glomma er vist i Figur 2.7, vannføringen i Glomma er vist i Figur 2.8. Totalt er det 38 punktkilder som representerer vannføring fra elver. Temperaturen i alle elvene satt til å være lik temperaturen til Glomma, se Figur 2.9, og saliniteten er satt til 0 psu (ferskvann) i alle kildene.



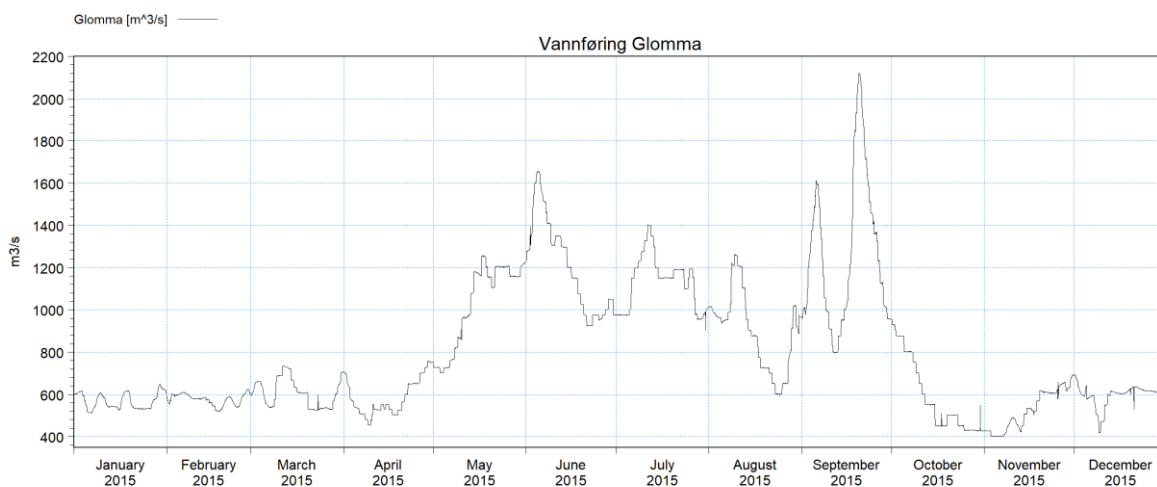
Figur 2.6 Lokasjon på alle elvekildene

Tidsseriene for vannføring og vanntemperatur er hentet ut fra NVEs database Hydra II og VattenInformasjonsSystem Sverige (VISS). Data for Tista ble gitt av Haldenvassdragets Brukseierforening. Mange av elvene i modellen har ingen målte data på vannføring og for disse er det konstruert kunstige tidsserier basert på data fra nærliggende målestasjoner. Følgende målestasjoner er benyttet: 2.605 Solbergfoss (Glomma), 2,1119 Vidnesbekken, 15.174 Istreelv og 2118 Valex. Vanntemperatur er hentet fra målestasjon 2.31 Sarpsfoss. De konstruerte tidsseriene for vannføring introduserer usikkerhet i modellen. Glomma som er den største elva med størst påvirkning på resultatene i interesseområdet har dog observerte data, hvilket representerer en styrke i modellen.

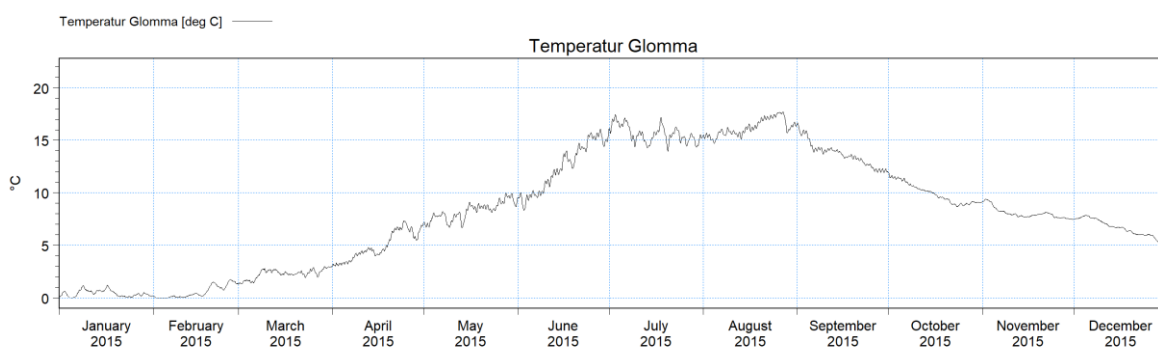
Dynekilien	[m ³ /s]	—
Singlefjorden sør	[m ³ /s]	—
Iddefjorden ytre	[m ³ /s]	—
Iddefjorden vesttre	[m ³ /s]	—
Iddefjorden vest, indre	[m ³ /s]	—
Enningdalselva+Folkå	[m ³ /s]	—
Folkå-Skottene	[m ³ /s]	—
Ystehedekilen	[m ³ /s]	—
Kirkebekken	[m ³ /s]	—
Kirkebekken - Tista	[m ³ /s]	—
Tista	[m ³ /s]	—
Remmenbekken	[m ³ /s]	—
Isebakke	[m ³ /s]	—
Unnebergsbekken - Kjetangen	[m ³ /s]	—
Kjetangen - Tangen	[m ³ /s]	—
Hjelmungbekken	[m ³ /s]	—
Tangen - Bjønnengbekken	[m ³ /s]	—
Bjønnengbekken+Ingedalsbekken	[m ³ /s]	—
Skjebergbekken	[m ³ /s]	—
Skjebergbekken - Brevik	[m ³ /s]	—
Torsneskilen	[m ³ /s]	—
Munketangen - Bevøytangen	[m ³ /s]	—
Ødegårdsbekken	[m ³ /s]	—
Ulvikbekken+Matikovsundet	[m ³ /s]	—
Marikovsundet - Søndre Grimstadbekk	[m ³ /s]	—
Laverødbekken+Søndre Grimstadbekk	[m ³ /s]	—
Persnestangen - Utløpet av Glomma	[m ³ /s]	—
Seutelva	[m ³ /s]	—
Gressvik - Strømtangen	[m ³ /s]	—
Fjellebekken	[m ³ /s]	—
Strømtangen - Slevikbekken	[m ³ /s]	—
Slevikbekken	[m ³ /s]	—
Kirkøy	[m ³ /s]	—
Asmaløy	[m ³ /s]	—
Spjærøy	[m ³ /s]	—
Vesterøy	[m ³ /s]	—
Kråkerøy	[m ³ /s]	—



Figur 2.7 Vannføring i alle elvene bortsett fra Glomma



Figur 2.8 Vannføring Glomma ved vanmerke 2.605 Solbergfoss (kilde: NVE Hydra II)



Figur 2.9 Temperatur Glomma ved målestasjon 2.31 Sarpsfoss m (kilde: NVE Hydra II)

2.4 Atmosfærisk forsering

Atmosfæriske forhold påvirker Hvalerskjærgården-systemet både regionalt og lokalt; regionalt gjennom de åpne grensene (Skagerrak) og lokalt gjennom vindspenning, lufttrykkvariasjoner, nedbør / fordampning og varmevekslingsprosesser som virker direkte på vannoverflaten og påvirker dermed sirkulasjon, blanding, stratifisering og vannbalanse.

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

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

Merk at den hydrodynamiske modellen beregner fordampningen internt i varmevekslingsmodulen.

De meteorologiske dataene kommer fra:

- StormGeo (regional WRF-modell med en oppløsning på 1 time i tid og 0,1 ° i det geografiske domenet)

2.5 Modellgrensene

Modellen har tre åpne grenser mot Skagerrak (se Figur 2.1). Skagerrak-grensene er definert som såkalte Flather-grenser (Flather, 1976) hvor både vannstand og strømhastighet er spesifisert.

Videre krever alle åpne grenser saltholdighets- og temperaturgrenseforhold.

Grensedataene for de tre Skagerrak-grensene når det gjelder vannstand (1D), strømhastigheter (2D), saltholdighet (2D) og temperaturer (2D) er hentet fra DHIs regionale modell av Østersjøen, Beltet, Kattegat og Skagerrak (kalt DKBS2-modellen).

2.6 Initial betingelser

Hvalermodellen er initiert av en såkalt «kaldstart». Dette betyr at vannet først er stillestående uten strøm. Umiddelbart etter at simuleringen er startet, begynner vannet å bevege seg under påvirkning av modellforsering, og etter kort tid har modellen «varmet opp».

Modellen trenger fremdeles innledende saltinnhold og temperatur (3D) felt. Disse feltene er etablert basert på en tidligere simulering som igjen var basert på målte saltholdighets- og temperaturprofiler i fjordene.

2.7 Kalibrering

Etter å ha etablert modellen, gjennomføres prosessen med modellkalibrering. I denne prosessen justeres modellinnstillinger og modellkonstanter til man oppnår godt samsvar mellom målinger og modellresultater. I dette tilfellet ble modellen kalibrert for perioden 01.01.15 – 01.07.15.

I Tabell 2.1 er det gitt et sammendrag av anvendte modellinnstillinger og konstanter.

Tabell 2.1 Sammendrag av anvendte modellinnstillinger og konstanter

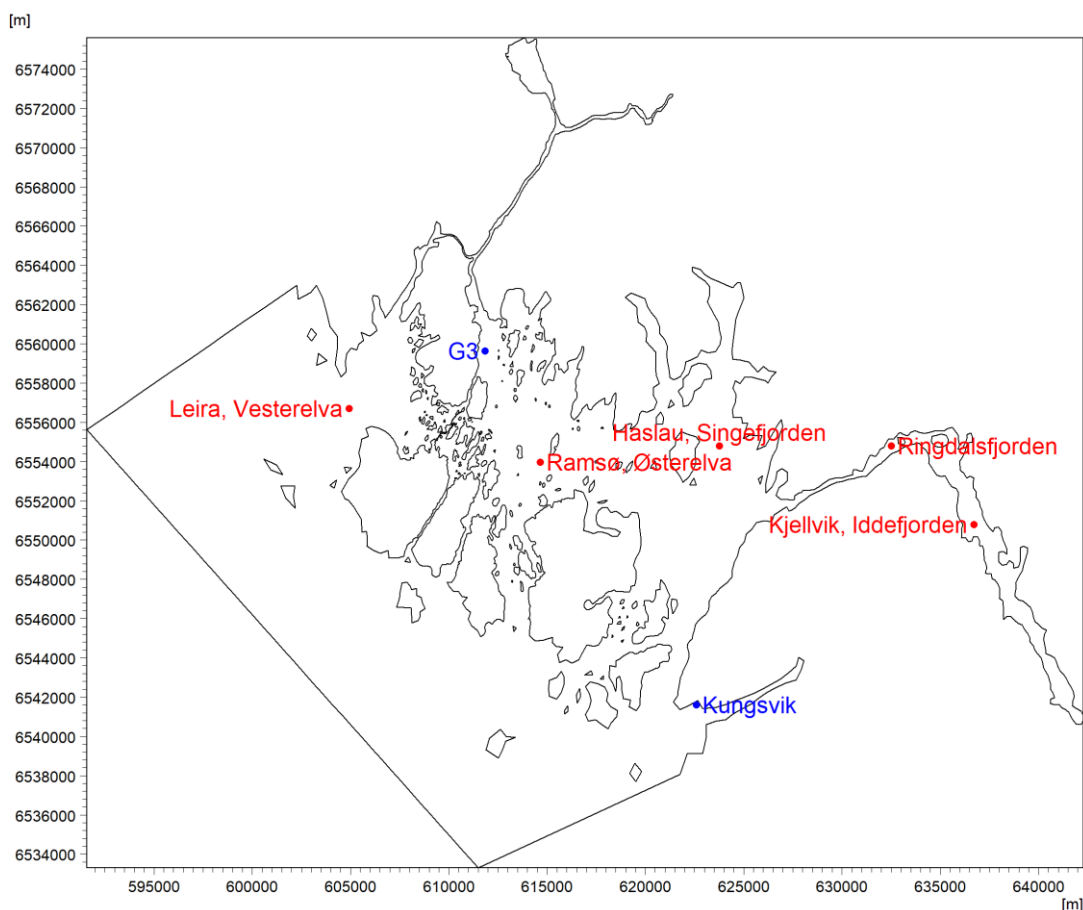
Parameter	Verdi
Vindfriksjonskoeffisient	Konstant 0,001255
Bunnuhet	Konstant 0,05m
Eddy-viskositet	Horisontalt: Smagorinsky formulering, $C_s=0,28$ Vertikalt: k- ϵ modell med standard parametere
Løsningsteknikk	Grunt vann ligninger: Høy anordning Transportligninger: Høy anordning
Overordnet tidssteg	300s
Varmeveksling	Koeffisient for lysutryddelse 0.2, ellers standardparametere

3 Modellvalidering

Strømningsmodellen er kalibrert og validert mot tilgjengelige, relevante målinger for området (vannstand, salt og temperaturmålinger i ulike dybder og posisjoner, og strøm), slik at det sikres at sirkulasjon og vannutskifting for simuleringsperioden beskrives riktig. Modellen settes opp til å simulere en periode på seks måneder, fra 1. januar og til 1. juli i 2015. Denne perioden ble valgt siden gyteperioden er 1. januar – 30. april, og forlenget til 1. juli for å ha flere målinger å validere modellen mot. Merk at noen stasjoner ikke har måledata for hele perioden.

Modellen er validert mot målt vannstand ved Kungsvik (<https://www.smhi.se/vader/prognoser/vattenstand-och-vagor>) og G3 (fra (Staalstrøm & Skogan, 2015)), strømmålinger ved G3 (fra (Staalstrøm & Skogan, 2015)) og mot målt saltinnhold og vanntemperatur for flere dybder på fem stasjoner (<http://www.aquamonitor.no/ytreoslofjord/>) innenfor modelldomenet.

Lokasjonen til stasjonene brukt til validering er vist i Figur 3.1.

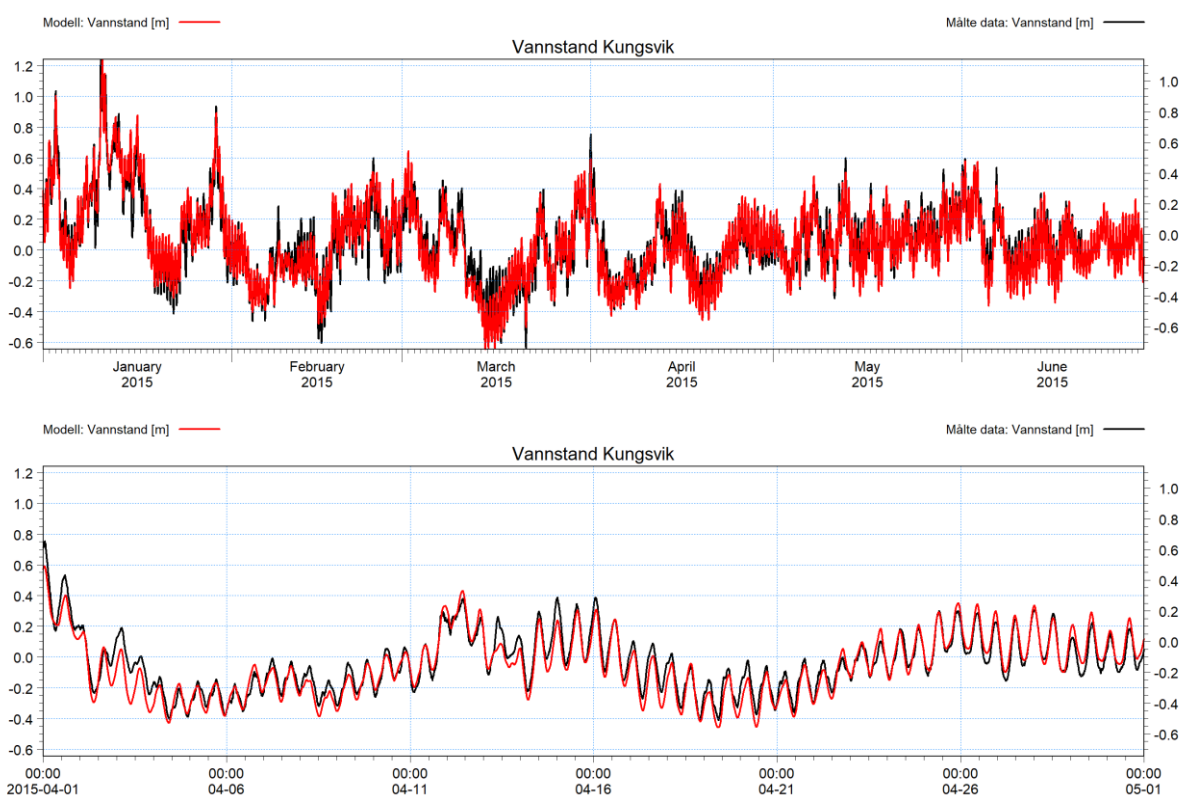


Figur 3.1 Lokasjonene til stasjonene brukt til modellvalidering

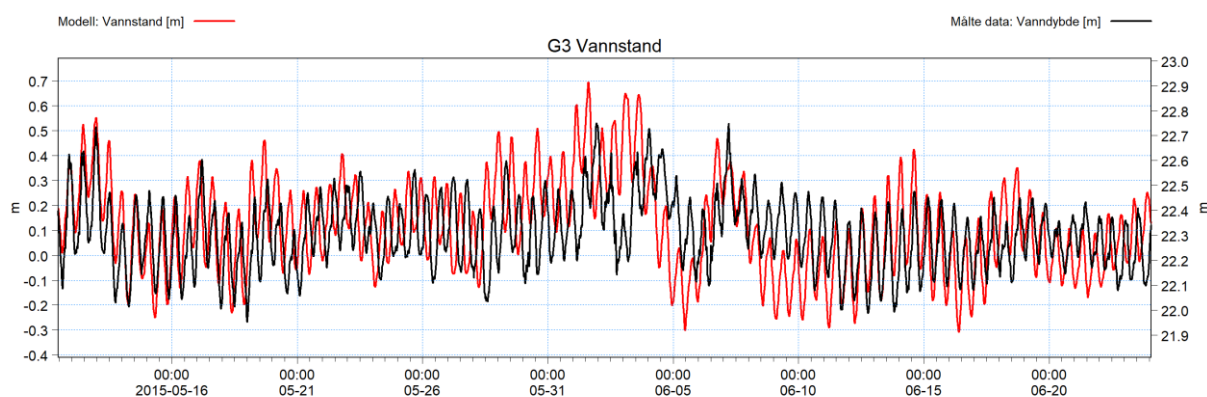
3.1 Vannstand

Vannstandsvariasjonen i indre farvann følger i stor grad vannstanden på den åpne kysten, som styres av regionale havprosesser som tidevann, stormflod og invers barometereffekt i Skagerrak og videre ut.

I Figur 3.2 og Figur 3.3 er sammenligningen mellom målt og modellert vannstand ved Kungsvik og G3 presentert. Det er observert i Figur 3.2 at modellen sammenligner seg godt med målingene fra Kungsvik både når det gjelder tidevann (amplituder og faser) og når det gjelder residual vannstand (endringer i middelvannstanden forårsaket av vindeffekter og andre prosesser). Dette indikerer at grensebetingelsene har gode data på vannstand. Modellen er nokså god også sammenlignet med G3, vist i Figur 3.3, men her er det noe større differanse. G3 har en måleperiode fra 11.05.15 kl. 09:06 – 23.06.15 12:16. Det skal påpekes at vanddybden i G3 er målt med ADCP-måler (Staalstrøm & Skogan, 2015).



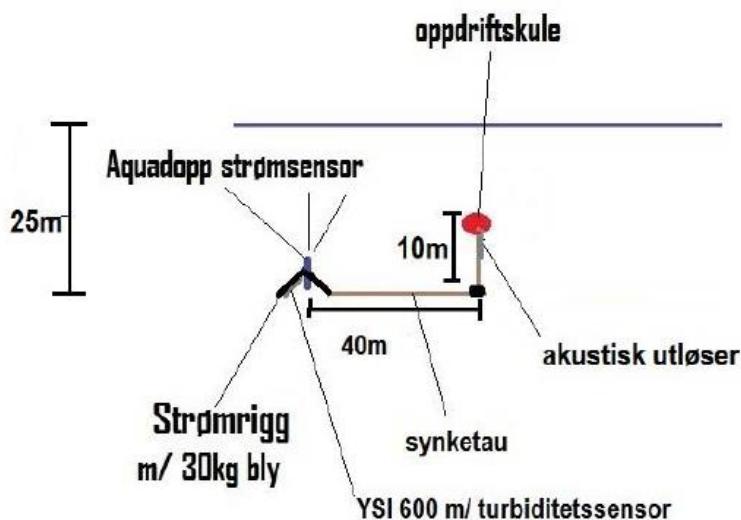
Figur 3.2 Modellert (rød kurve) og målt (sort kurve) vannstand ved Kungsvik. Det øverste panelet viser hele modellperioden, mens det nederste panelet viser et eksempel zoom for april. Merk at modellert vannstand (venstre akse) har blitt oppjustert med 10 cm for å hensynta en liten vertikal datum forskjell mellom de to datasettene



Figur 3.3 Modellert (rød kurve) vannstand og målt (sort kurve) vanndybde ved G3. Merk at figuren har blitt justert så modellert vannstand er vist på venstre akse, mens målt vanndybde er vist på høyre akse

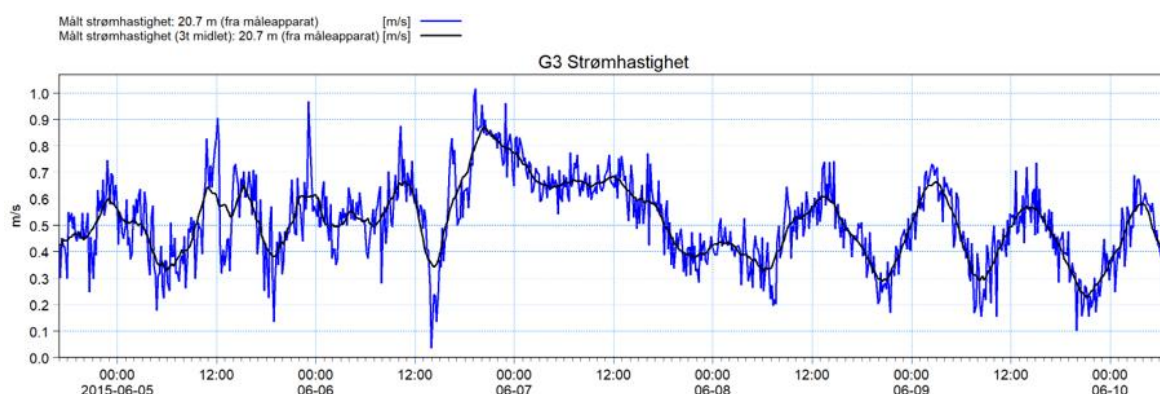
3.2 Strøm

Det er utført strømmålinger ved G3, som har en måleperiode fra 11.05.15 kl. 09:06 – 23.06.15 12:16 (Staalstrøm & Skogan, 2015). Dette er gjort med en ADCP-måler, hvor YSI ligger ved 22-23m under havoverflaten. oppsett av måleren er vist i Figur 3.4. Til å validere modellen er det valgt å se på -1m, som er sammenlignet med +20,7m over YSI i målingene.

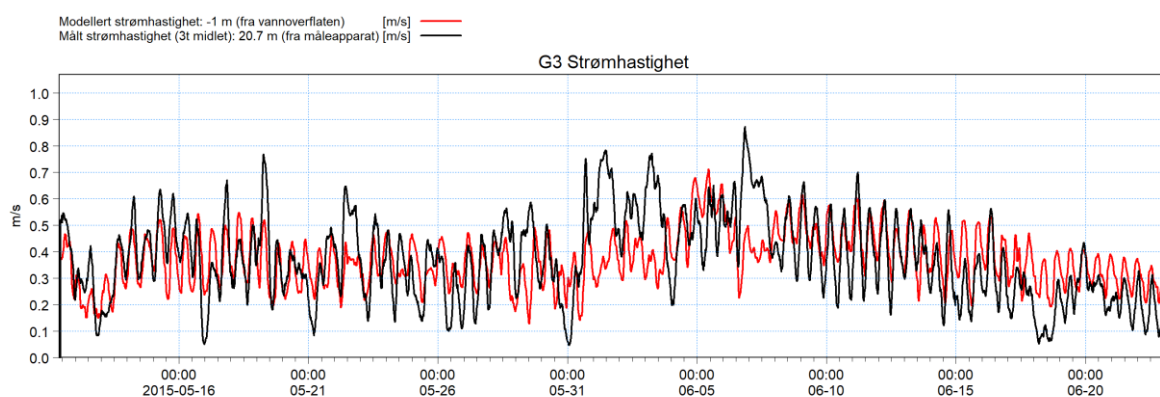


Figur 3.4 Oppsett av stasjon ved G3 for periode 3. Rammen var utstyrt med en tilt-sensor som gjorde det mulig å verifisere at rammen landet riktig, fra (Staalstrøm & Skogan, 2015)

Siden det er en del støy i målingene ble målingene midlet over 3 timer for å fjerne støy, og er vist i Figur 3.5. I dette området er strømhastighetene dominert av Glommas vannføring gjennom Østerelven, men påvirkes av tidevannets inn- og utstrømning fra Glomma og Gansrødbukta. Denne påvirkningen kan ses som faser og amplituder i hastighetssignalet. Modellert strømhastighet er sammenlignet med de målte midlete strømhastighetene er presentert i Figur 3.6. Her kan en se at trenden er lik for både de målte og modellerte strømhastighetene, tidevannseffekten gjenspeiles godt av modellen, men det er noen hendelser som modellen ikke gjenspeiler.

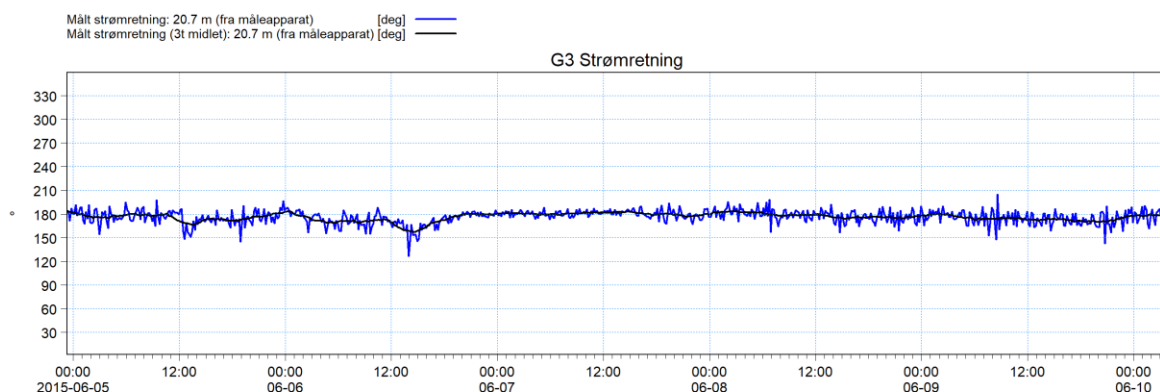


Figur 3.5 Målte strømhastigheter, hvor den blå kurven er rådataen fra målingene, mens den sorte linjen viser strømhastighetenes 3 timers løpende middel

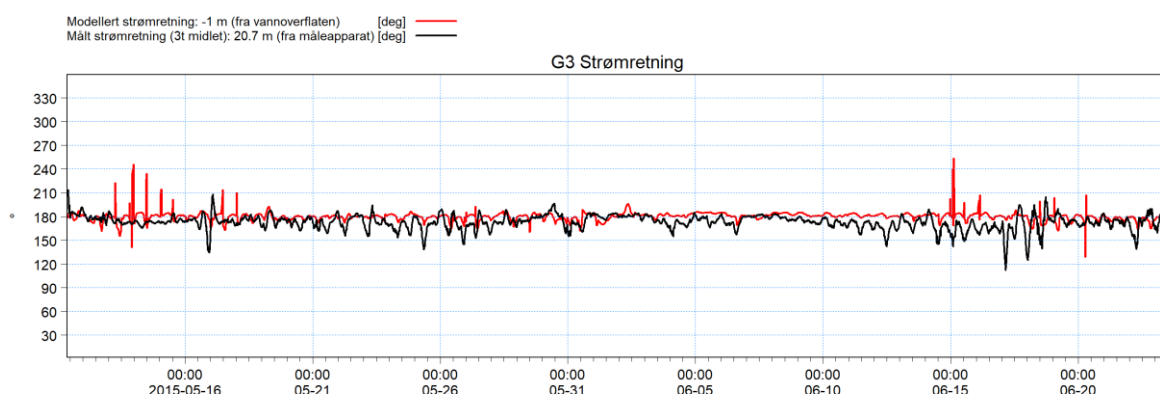


Figur 3.6 Modellert (rød kurve) og 3 t midlete målte (sort kurve) strømhastigheter i overflatelaget (-1 m) ved G3

Samme øvelse er gjort for strømretningen, hvor retningen er blitt midlet over 3 timer for å fjerne støy fra målingene, og er vist i Figur 3.7. Modellert strømretning er sammenlignet med de målte midlete strømhastighetene er presentert i Figur 3.8. Her kan man se at trenden er lik for både de målte og modellerte strømretningene, og at strømmen har en retning mot sør (180°).

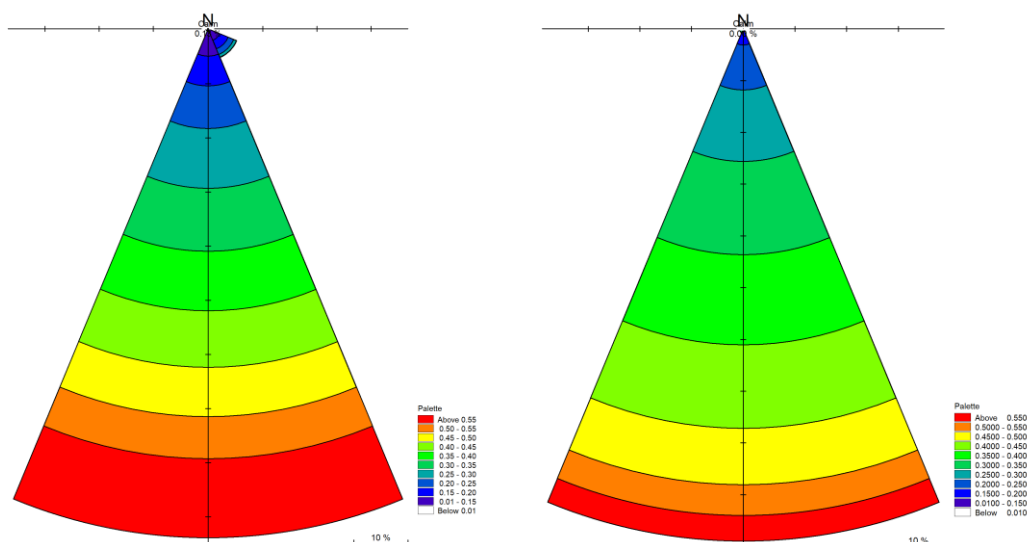


Figur 3.7 Målte strømretning, hvor den blå kurven er rådataen fra målingene, mens den sorte linjen viser strømretningene midlet over 3 timer



Figur 3.8 Modellert (rød kurve) og 3 t midlete målte (sort kurve) strømretninger i overflatelaget (-1 m) ved G3

Strømhastighetene og -retningene er slått sammen og vist i Figur 3.9 i strømrøser. Her kan en se at strømrøsene er relativt like, og at strømmen går mot sør..



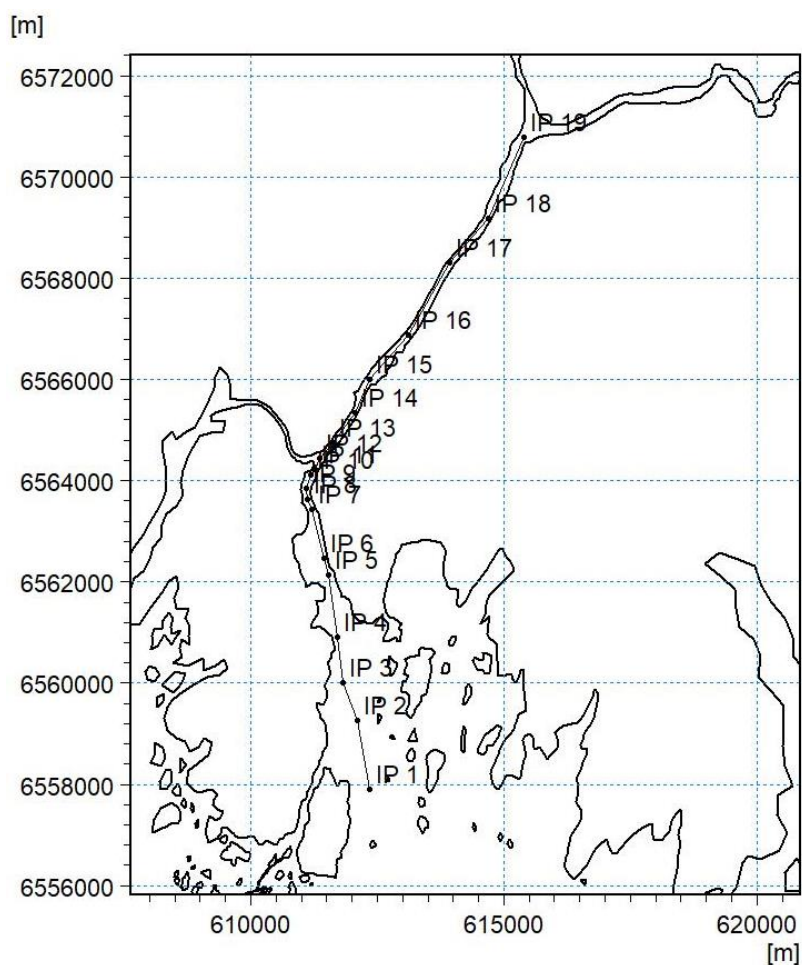
Figur 3.9 Strømrøser i overflatelaget (1 m under havoverflaten) ved G3. Strømrøsen til venstre viser de midlete verdiene fra målingene, mens strømrøsen til høyre viser strømrøsen fra modellen

3.3 Salinitet og temperatur

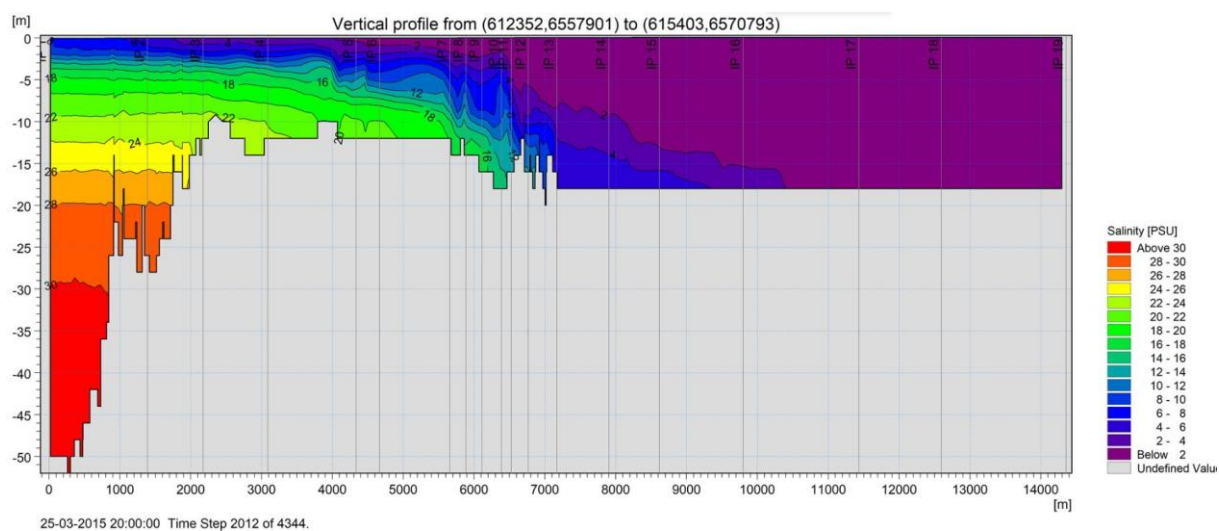
Evnen til modellen å simulere saltinnhold og temperaturvariasjoner i skjærgården er avgjørende, siden den gjenspeiler modellens evne til å beskrive den generelle sirkulasjonen, blandingen og stratifiseringen av systemet.

3.3.1 Saltvannskilen i nedre Glomma

I Figur 3.10 det vist en transekt som er trukket ut fra modellen for å beskrive saltvannsinntrengningen i Glomma. Dette vertikale transektet er vist i Figur 3.11, den viser et øyeblikksbilde av saltvannskilen når havvannet trenger inn i bunnen av Glomma.



Figur 3.10 Transekt for saltvannskile



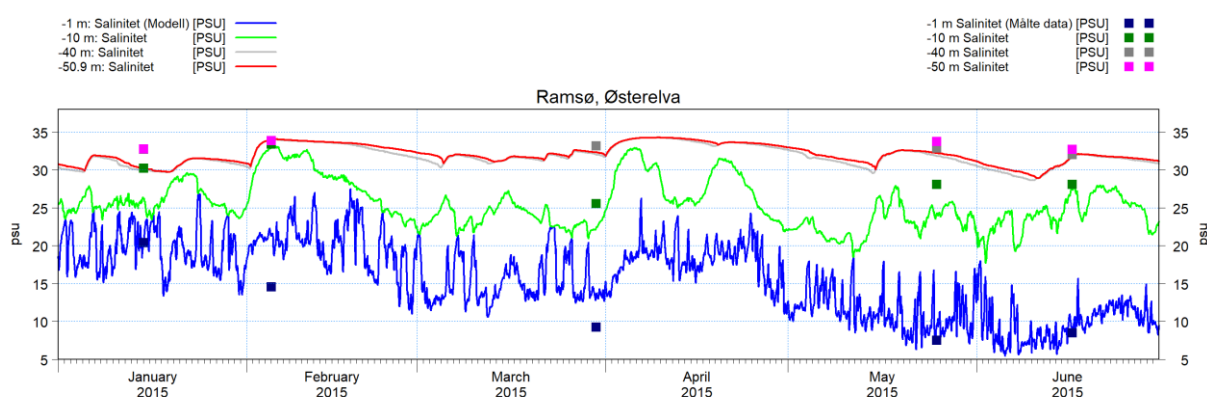
Figur 3.11 Vertikalt transekt av nedre Glomma, som viser et øyeblikksbilde av saltvannskilen når havvannet trenger inn i bunnen av Glomma

3.3.2 Ramsø, Østerelva

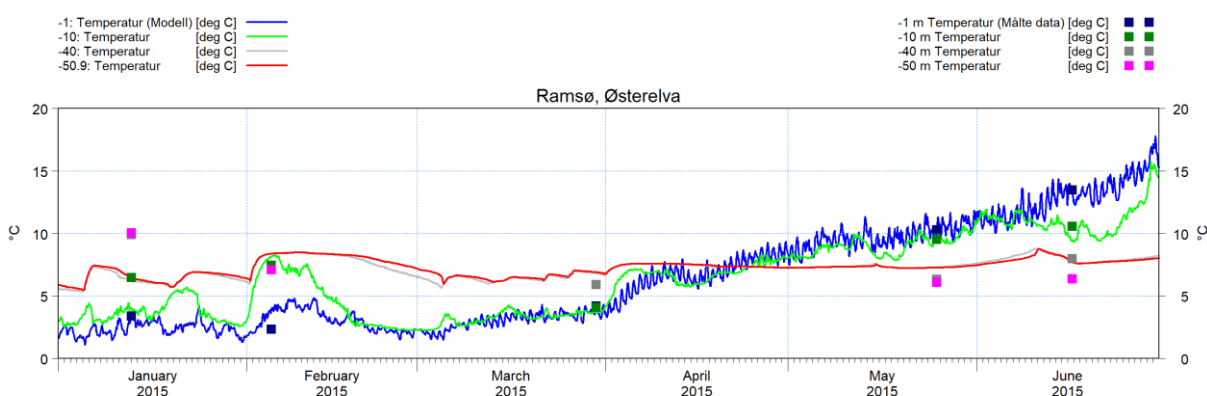
I Figur 3.12 og Figur 3.13 er målt og modellert salinitet og vanntemperatur ved Ramsø-stasjonen sammenlignet. Det er valgt ut forskjellige dybdelag for å sikre at vi får en enhetlig sammenligning: Overflatelag, mellomlag og dyp / bunnlag.

For saliniteten viser figuren et godt samsvar mellom målte og modellerte data. I både målinger og modellresultater observeres den distinkte oppbygningen til vannsøylen i Hvalerskjærgården, med brakk overflatevann, en haloklin og et salt bunnlag påvirket av havvann fra Skagerak. Figurene viser at modellen gjengir saltoppløsning, inkludert de absolute verdiene på forskjellige dybder og variasjonen godt.

Figuren viser også et godt samsvar mellom målt og modellert vanntemperatur ved Ramsø. I motsetning til saltinnholdet har temperaturstratifikeringen en klar sesongvariasjon. Om vinteren er overflatelaget avkjølt, mens om sommeren blir overflatevannet varmet opp. Dette viser store sesongmessige temperaturvariasjoner i overflaten mens dypvannstemperaturen er nesten konstant. Figuren viser at modellen gjengir temperaturdynamikken til de forskjellige vannmassene godt.



Figur 3.12 Målt (symbol) og modellert (kurve) salinitet ved forskjellige dybder ved Ramsø gjennom modellperioden

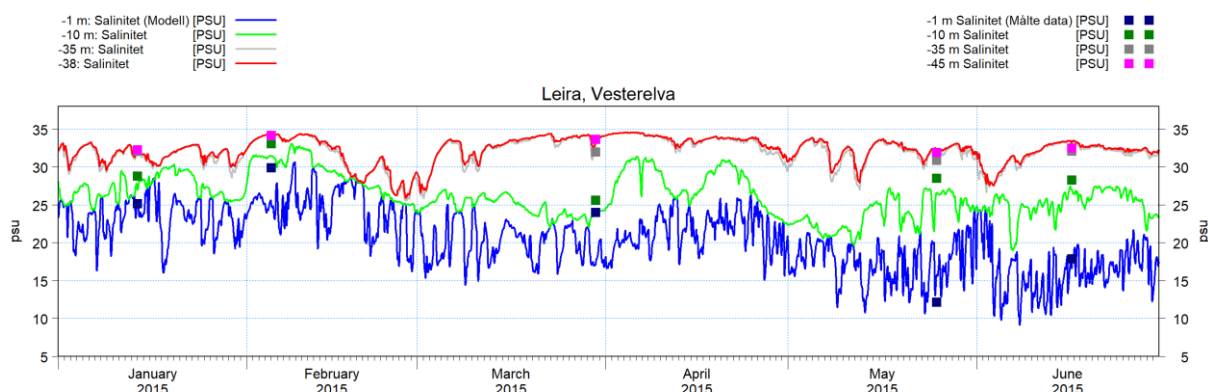


Figur 3.13 Målt (symbol) og modellert (kurve) temperatur ved forskjellige dybder ved Ramsø gjennom modellperioden

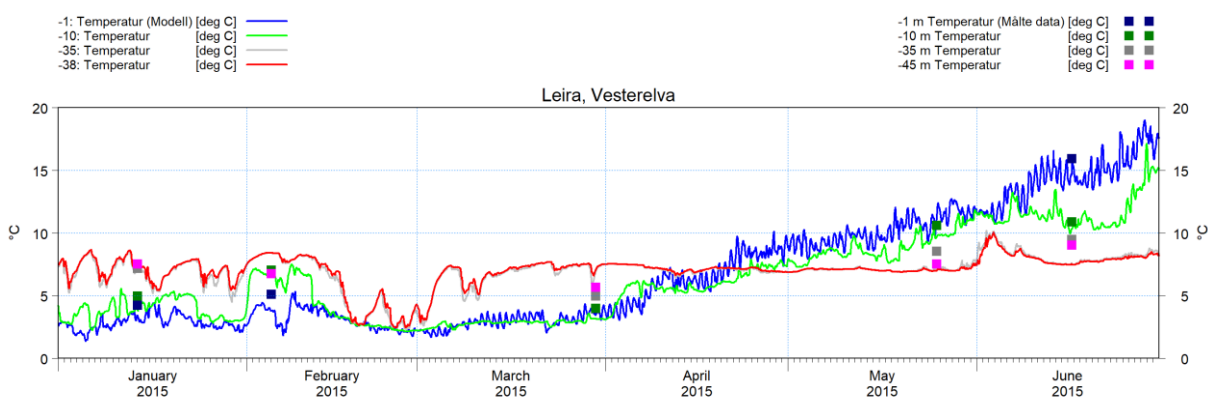
3.3.3 Leira, Vestrelva

I Figur 3.14 og Figur 3.15 er målt og modellert salinitet og vanntemperatur ved Leira sammenlignet. Disse figurene viser også gode sammenligninger mellom målinger og modellresultater. Også i denne delen av skjærgården er vannsøylen stratifisert i

forskjellige vannmasser, og modellen er i stand til å reprodusere stratifiseringen, de absolutte nivåene og variasjonen i saltinnholdet og vanntemperaturen.



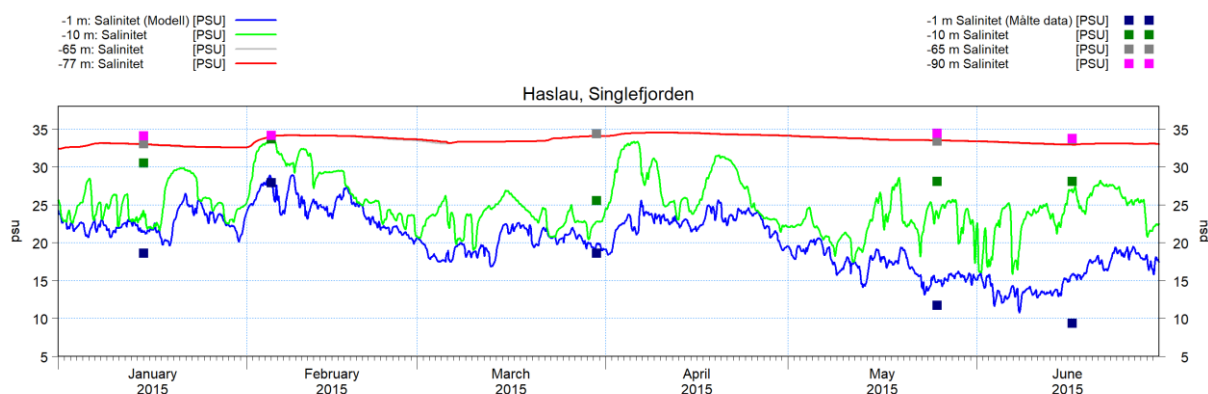
Figur 3.14 Målt (symbol) og modellert (kurve) salinitet ved forskjellige dybder ved Leira gjennom modellperioden



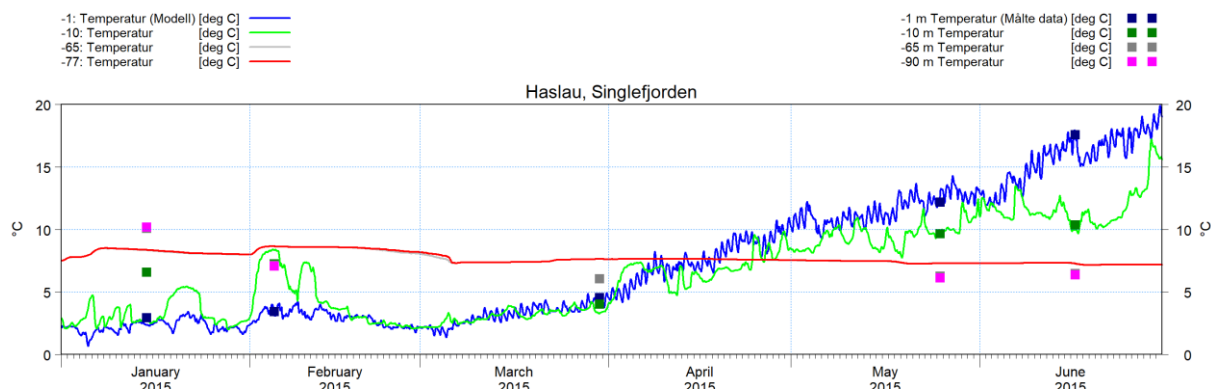
Figur 3.15 Målt (symbol) og modellert (kurve) temperatur ved forskjellige dybder ved Leira gjennom modellperioden

3.3.4 Haslau, Singlefjorden

I Figur 3.16, Figur 3.12 og Figur 3.17 er målt og modellert salinitet og vanntemperatur ved Haslau sammenlignet. Disse figurene viser også gode sammenligninger mellom målinger og modellresultater. Også i denne delen av skjærgården er vannsøylen stratifisert i forskjellige vannmasser, og modellen er i stand til å reprodusere stratifiseringen, de absolutte nivåene og variasjonen i saltinnholdet og vanntemperaturen.



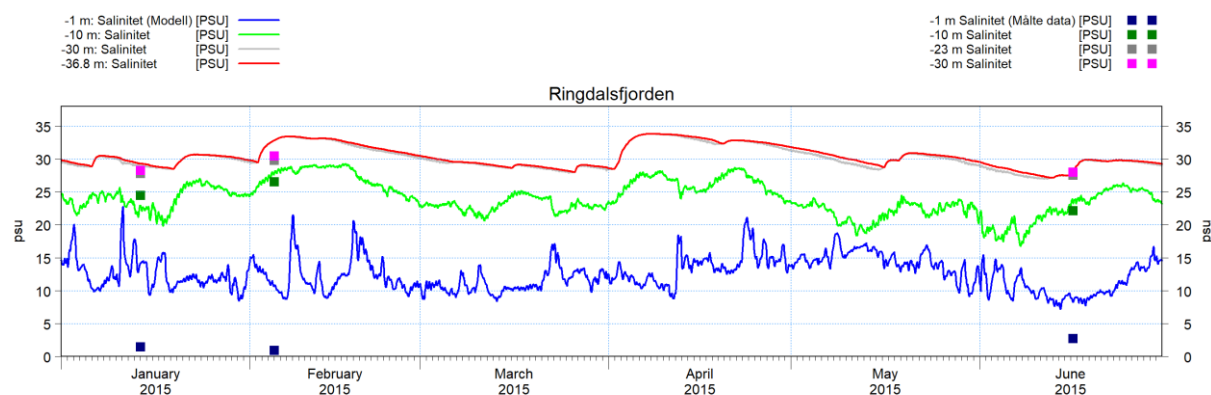
Figur 3.16 Målt (symbol) og modellert (kurve) salinitet ved forskjellige dybder ved Haslau gjennom modellperioden



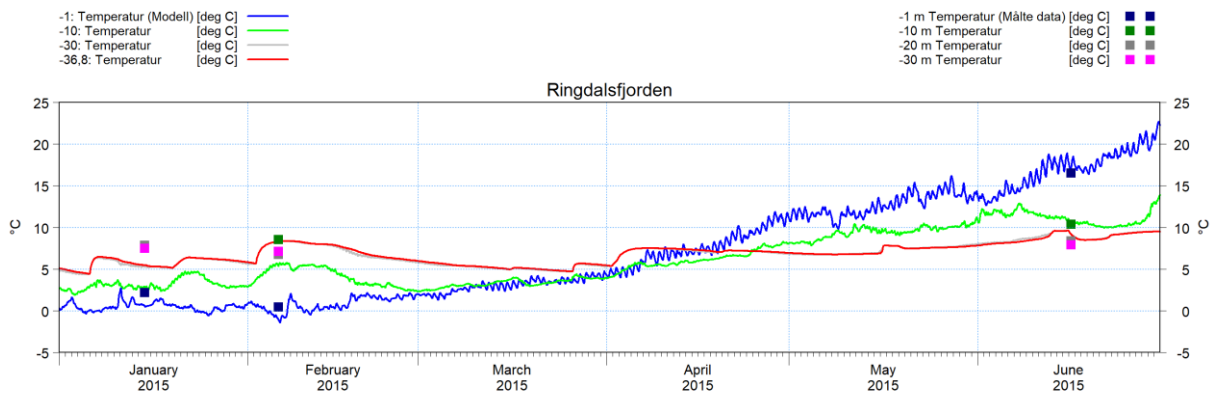
Figur 3.17 Målt (symbol) og modellert (kurve) temperatur ved forskjellige dybder ved Haslau gjennom modellperioden

3.3.5 Ringdalsfjorden og Iddefjorden

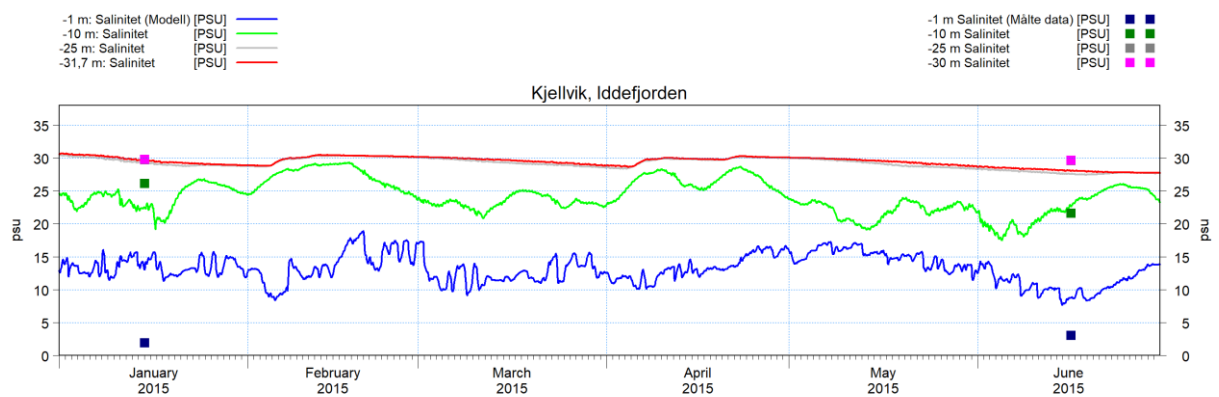
I Figur 3.18, Figur 3.12 og Figur 3.19 er målt og modellert salinitet og vanntemperatur ved Ringdalsfjorden sammenlignet og i Figur 3.20, Figur 3.12 og Figur 3.21 er målt og modellert salinitet og vanntemperatur ved Iddefjorden sammenlignet. Selv om dette området ikke høyoppløst og kalibrert mot målinger viser figurene også ganske gode sammenligninger mellom målinger og modellresultater her. Merk at det var noen færre målepunkter her.



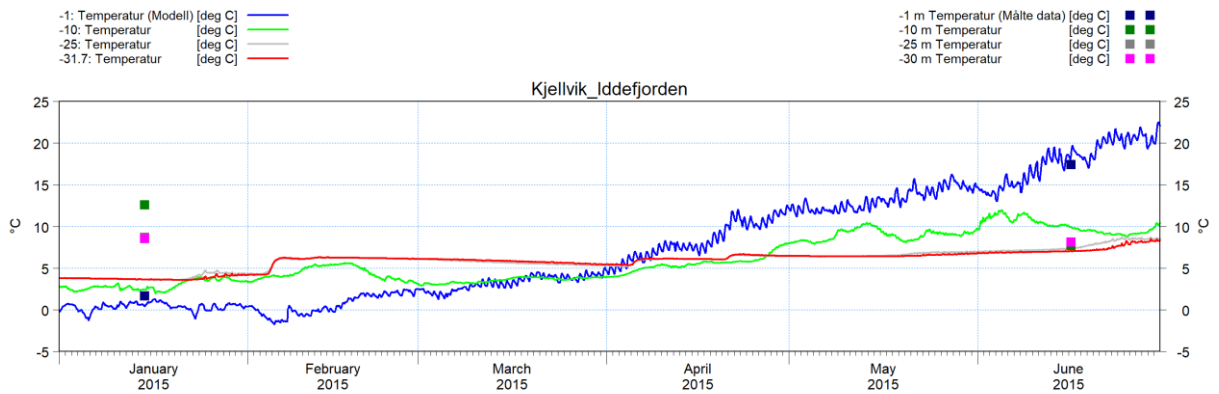
Figur 3.18 Målt (symbol) og modellert (kurve) salinitet ved forskjellige dybder ved Ringdalsfjorden gjennom modellperioden



Figur 3.19 Målt (symbol) og modellert (kurve) temperatur ved forskjellige dybder ved Ringdalsfjorden gjennom modellperioden



Figur 3.20 Målt (symbol) og modellert (kurve) salinitet ved forskjellige dybder ved Iddefjorden gjennom modellperioden



Figur 3.21 Målt (symbol) og modellert (kurve) temperatur ved forskjellige dybder ved Iddefjorden gjennom modellperioden

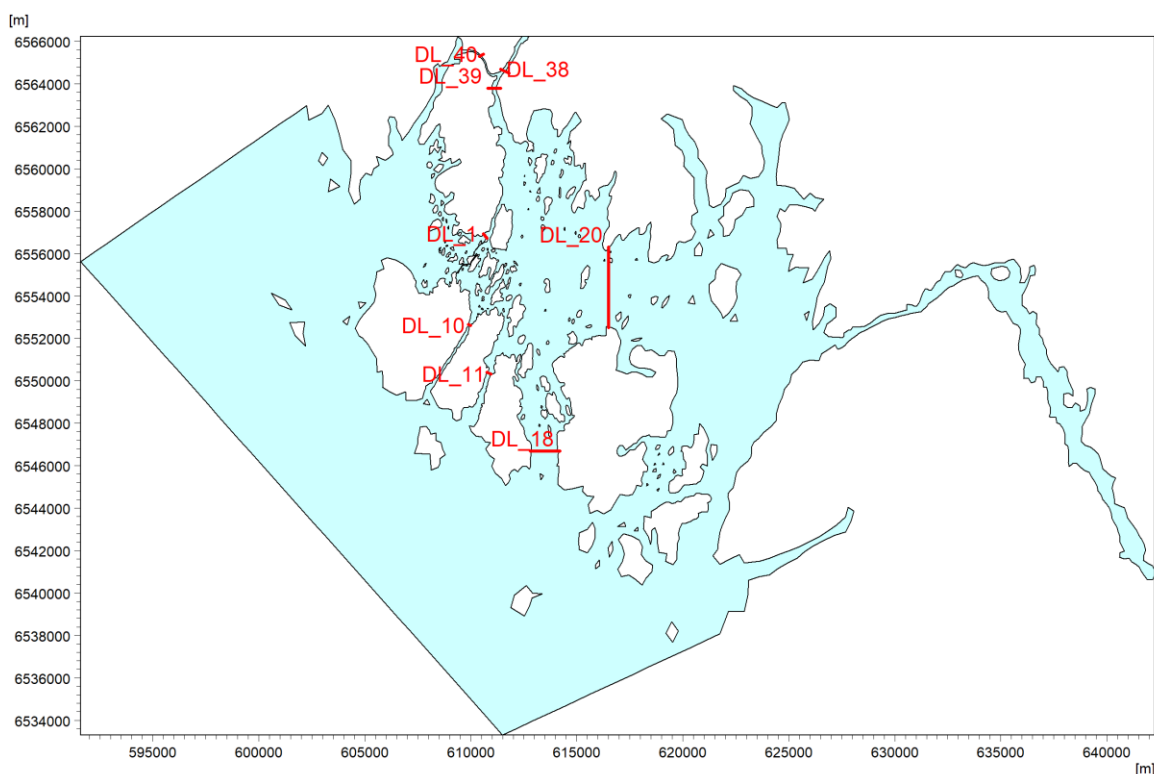
4 Vannutskifting

Etter at modellen er satt opp, kalibrert og validert er modellen klar til å bli brukt til å undersøke vannutskiftningsforholdene. For å undersøke om sprengning/mudring av grunner vil endre vannutvekslingen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene er det satt opp inn- og utstrømningslinjer og massebudsjetter for torskegyttingsområde i modellen.

4.1 Inn- og utstrømningslinjer

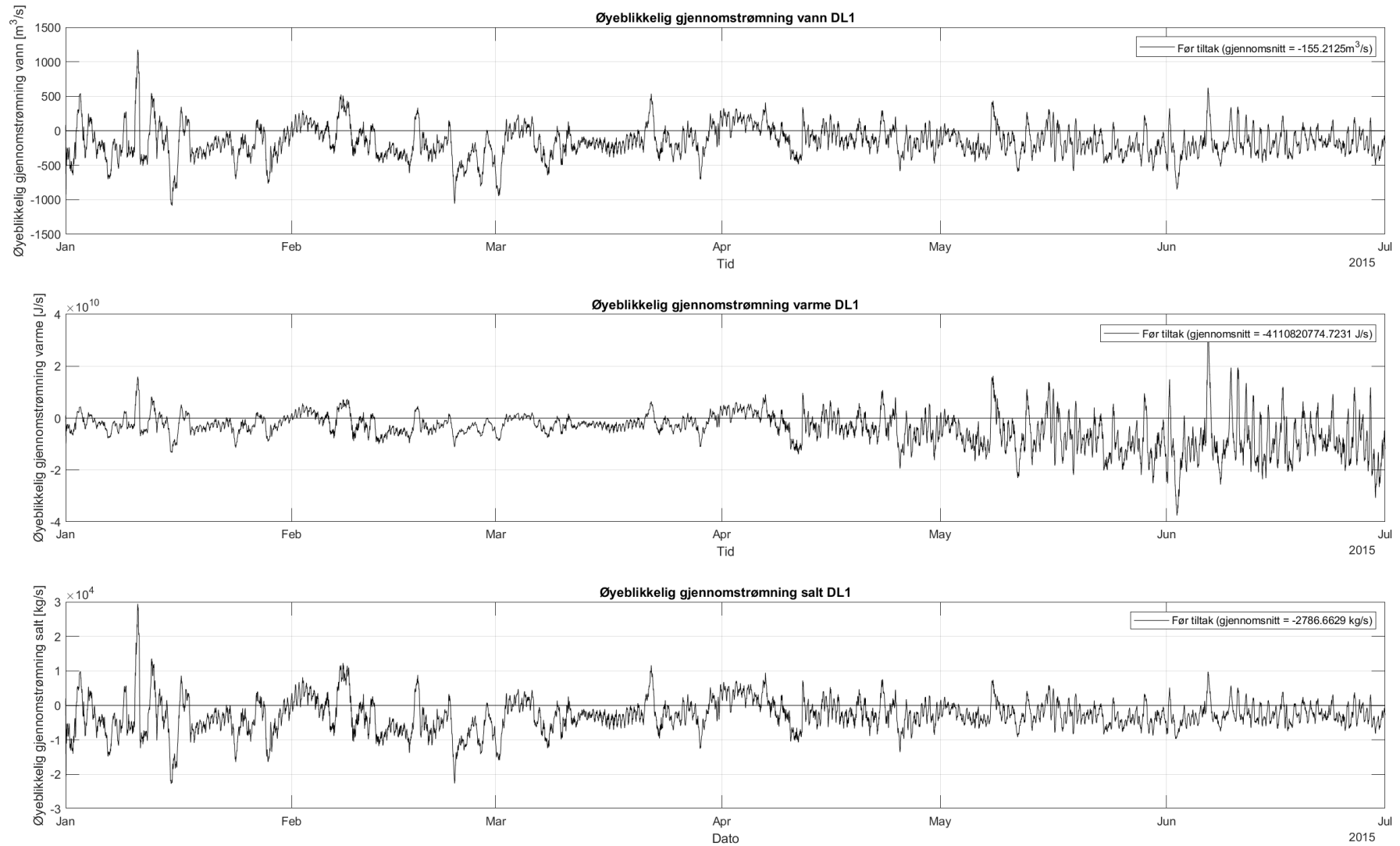
Inn- og utstrømningslinjer beskriver gjennomstrømningen gjennom tverrsnittet for vannvolum, salt og relativ varme for hvert tidssteg.

Totalt er det satt opp 40 linjer, for å ha fullstendig kontroll på alt vannet. For en overordnet oversikt over vannutskiftningen av den indre skjærgården er det fokusert på dette området og analysen er gjort på DL1, DL10, DL11, DL18, DL20 og DL39 vist i Figur 4.1.



Figur 4.1 Utvalgte inn- og utstrømningslinjer i den indre skjærgården i modellen

Inn- og utstrømningslinjen for DL1 er vist i Figur 4.2. For alle inn- og utstrømningslinjene er positiv retning inn mot skjærgården, bortsett fra DL40; som ikke er med i analysen men som en kan finne i Vedlegg A. I inn- og utstrømningslinjen for DL1 kan en se hvordan gjennomstrømningen varierer gjennom modellperioden, i tillegg til hva netto gjennomstrømning (gjennomsnittlig gjennomstrømning) er.



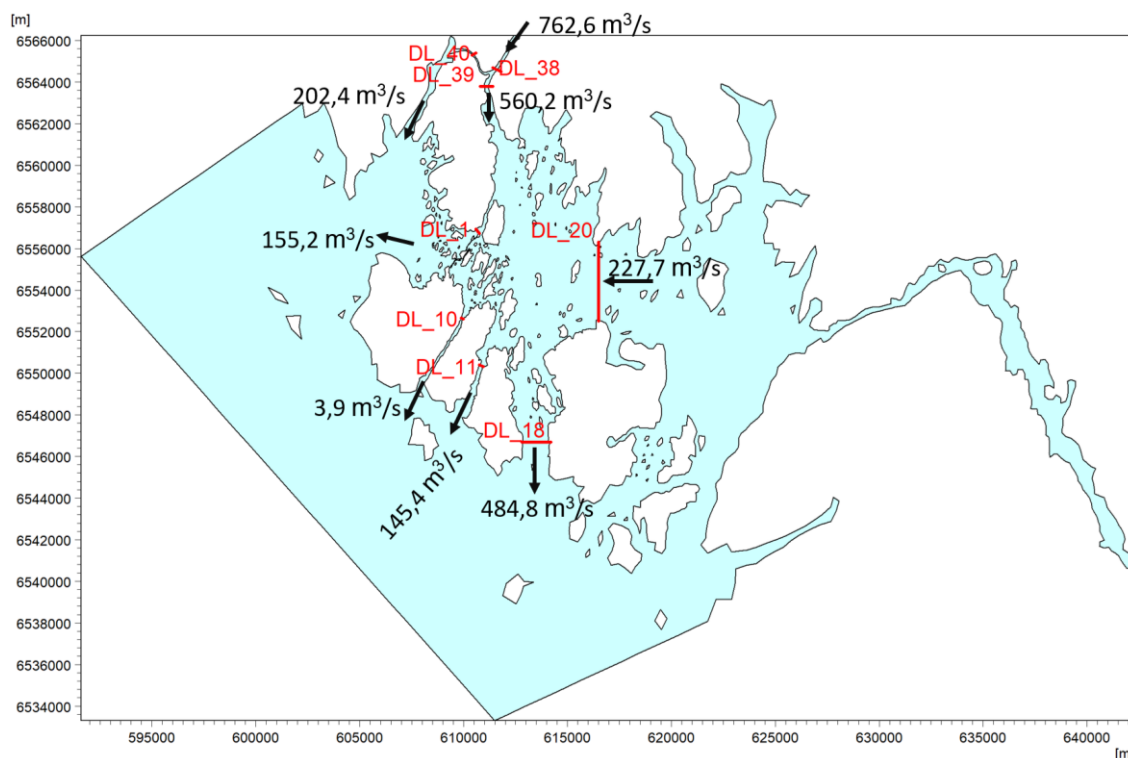
Figur 4.2 Inn- og utstrømningslinjer for gjennomstrømning vann, varme og salt for DL1 (positivt rettet inn mot skjærgården)

Basert på inn- og utstrømningslinjen ble det dannet et bilde av netto gjennomstrømning av vannvolum og salt i Hvalerskjærgården; dette er vist i Figur 4.3 og Figur 4.4.

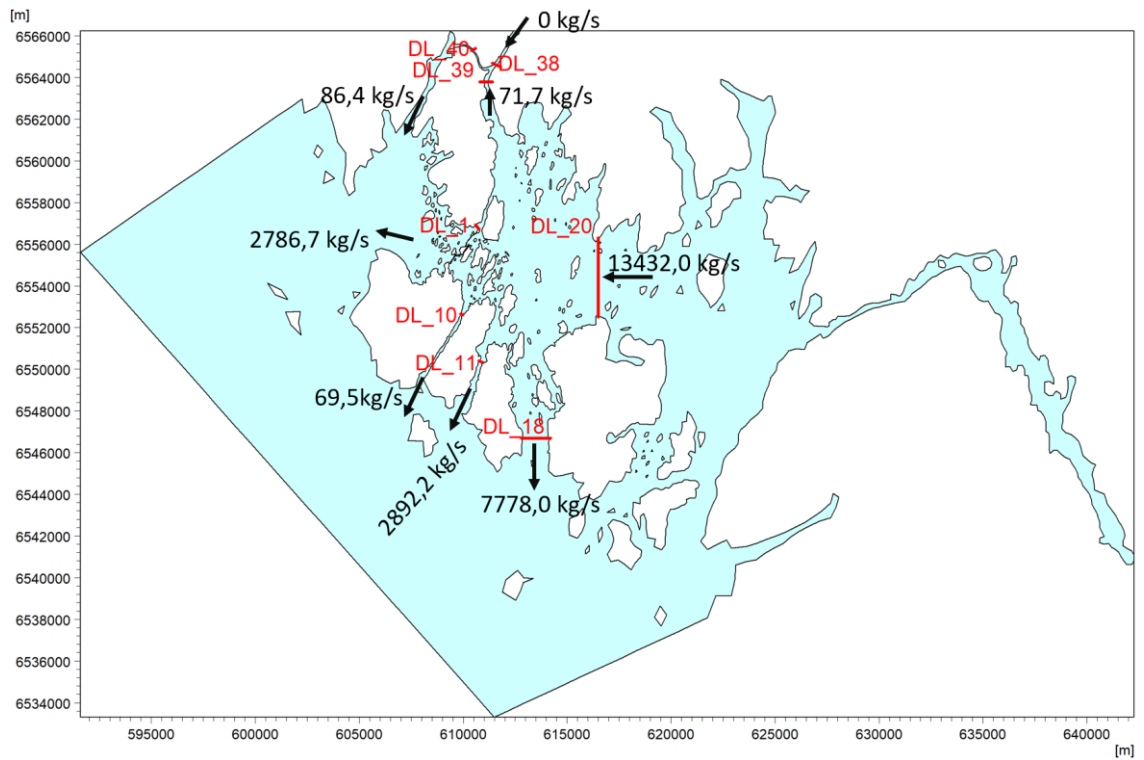
En kan se at det er en netto tilstrømning av volum vann fra havet i øst ved DL20 og fra Glomma DL39. Netto utstrømning fra Hvalerskjærgården skjer i den vestlige delen ved DL1, DL10, DL11 og DL18. For salt kan en se at det kun er netto innstrømning ved DL20, for de andre linjene som avgrenser området er det utstrømning. Det er verdt å merke seg at ved DL39 (Østerelva) går det tidevann opp i Glomma og at noe av dette går ut i DL40 (Vesterelva). Dette skyldes en asymmetri i tidevannet slik at mer tidevann strømmer opp i Glomma fra Østerelva enn det som renner ut, og omvendt for Vesterelva. Når en ser nærmere på inn- og utstrømningslinjene kan en se at mesteparten av denne effekten hender i perioden 01.01-01.05, og at vårfloppen (01.05-01.07) har stor påvirkning på tidevannet opp i Glomma.

Hvis man legger alt sammen finner man en liten differanse, som trolig skyldes en ubalanse i vannstanden, regn og fordampning på start- og slutt tidspunktet. Disse tallene er for hele modellperioden, og vil trolig være annerledes hvis man hadde sett på 01.01-01.05 og 01.05-01.07 som to separate episoder, pga. vårfloppen.

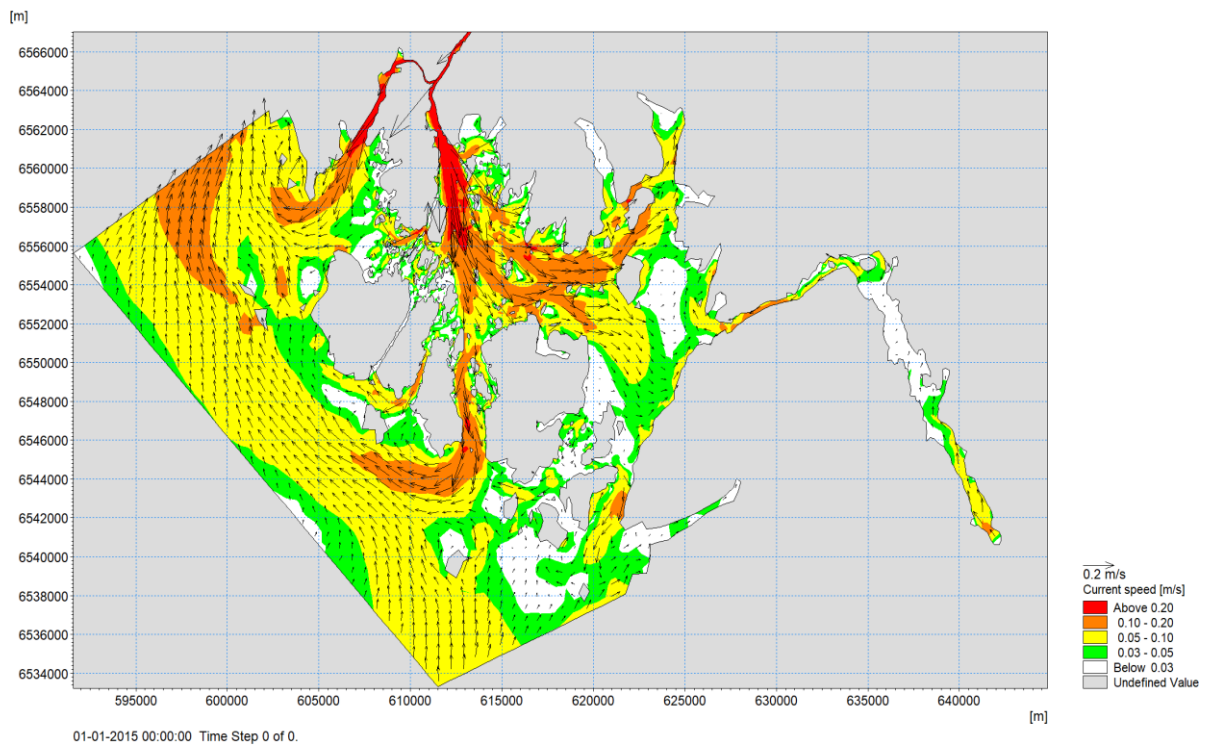
Figur 4.5 og Figur 4.6 viser en netto strømhastighet gjennom hele modellperioden for henholdsvis dybde 0-1 m og 8-9 m. En kan se at det i topplaget er en klar netto strøm ut av den indre skjærgården mot det åpne havet. Litt dypere på en dybde mellom 8 og 9 m, er det lavere strømhastigheter, og en kan se en kompensasjonsstrøm inn mot Glomma i indre Hvalerskjærgården (drevet av medring).



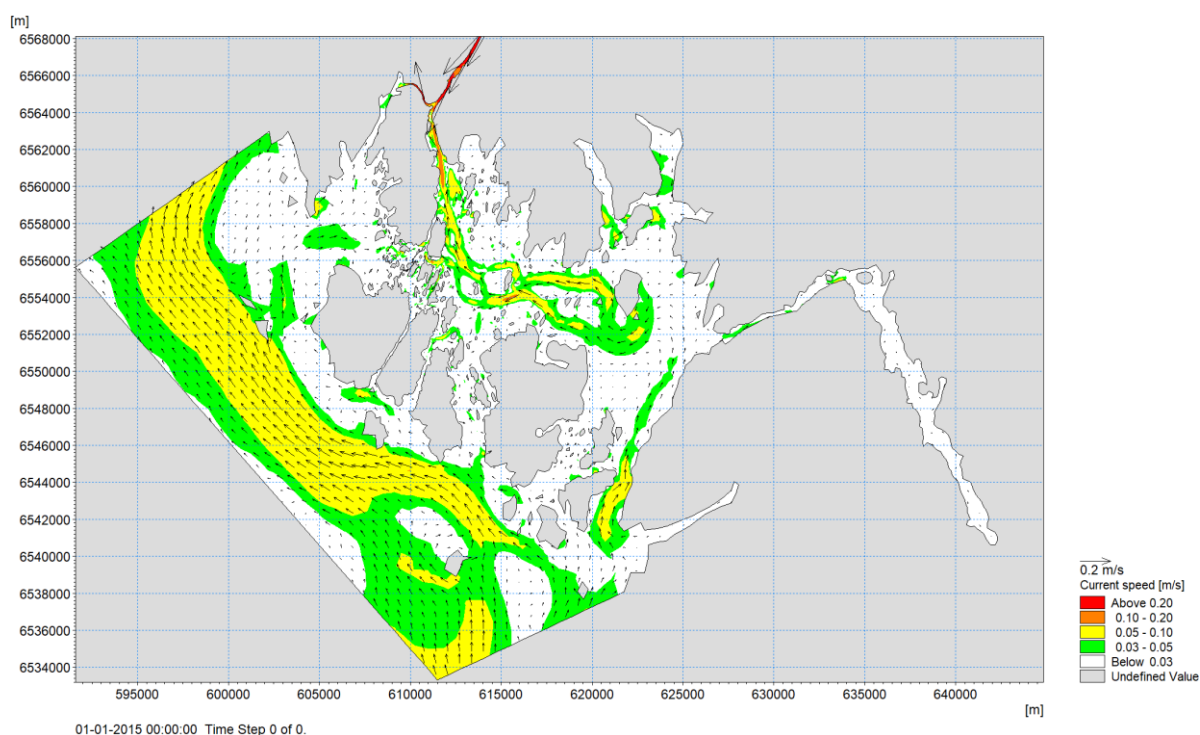
Figur 4.3 Netto vannvolum gjennomstrømning i modellperioden. Pilene peker i positiv retning



Figur 4.4 Netto salt gjennomstrømning i modellperioden. Pilene peker i positiv retning



Figur 4.5 Netto strøm mellom 0-1 m



Figur 4.6 Netto strøm mellom 8-9 m

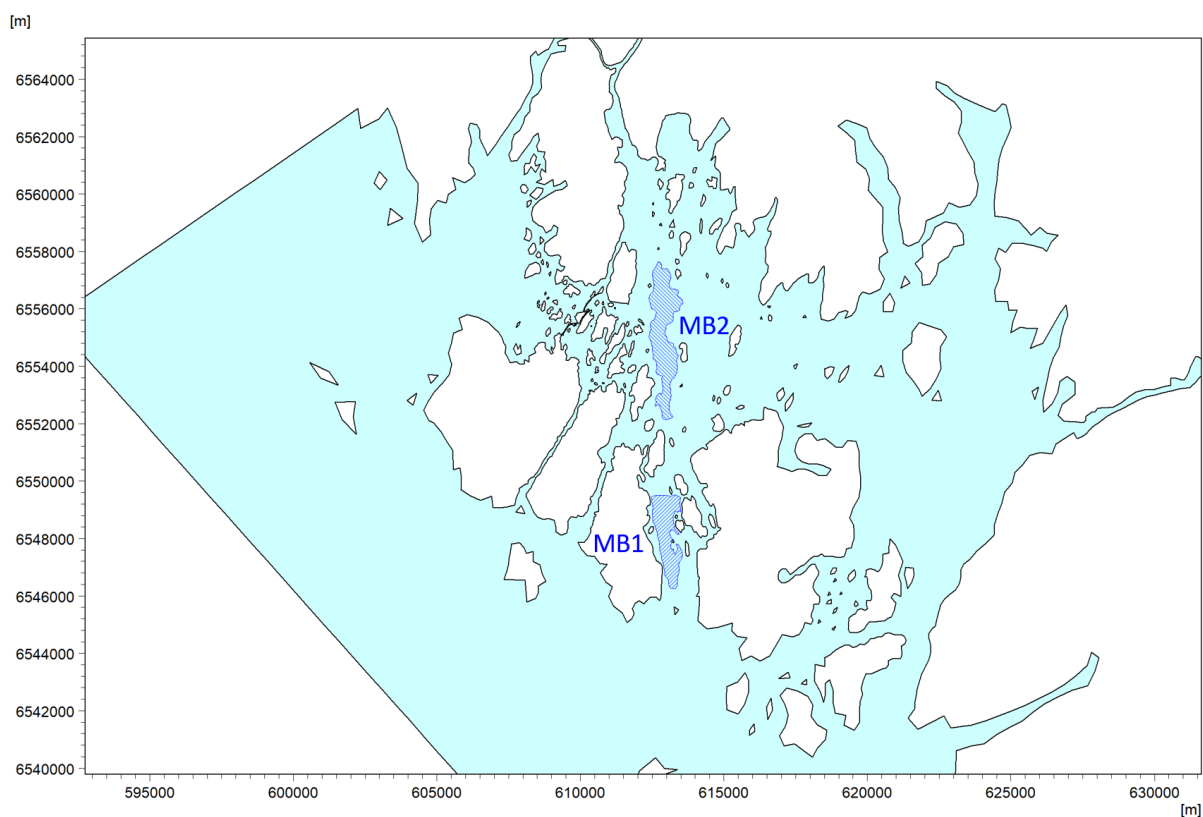
4.2 Massebudsjett

Massebudsjettet beskriver budsjettet for det stående vannvolumet, -saltet og varmen innenfor et avgrenset område, inklusiv transporten over grensene til det avgrensede området for hvert tidssteg. I Hvalerskjærgården er det to gyteområder for torsken (gitt av Kystverket), disse er vist i Figur 4.7. I modellen er to massebudsjetter (modell output) definert for de to gyteområdene. I Figur 4.8 kan en se massebudsjettet for vannvolum, salt og relativ varme for det nordlige gyteområdet (MB2) og hvordan det varierer gjennom modellperioden.

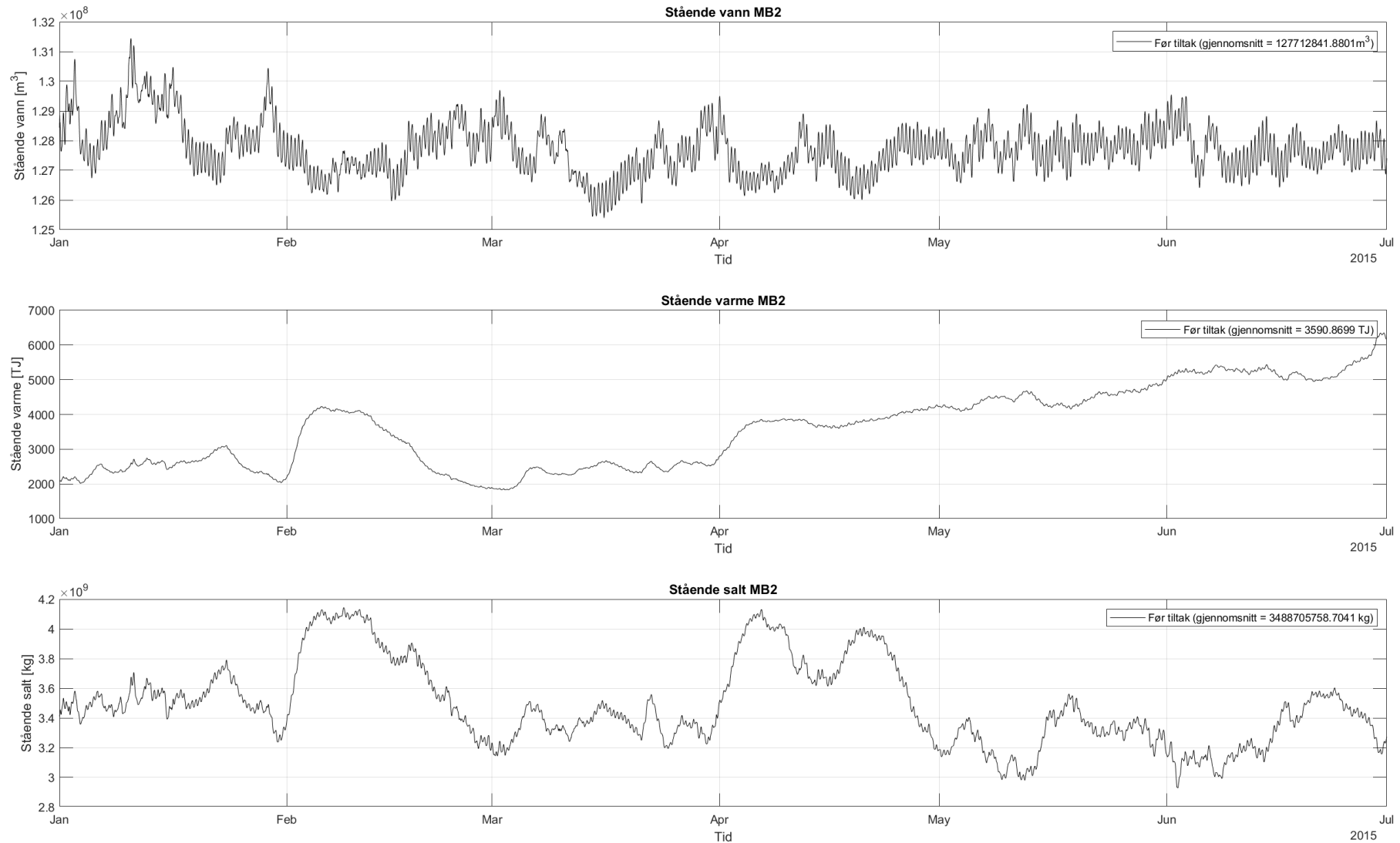
Vannvolumet er summen av volumene i alle modellelementer innenfor MB2-området. Variasjonen i vannvolumet som er observert i figuren skyldes vannstandsvariasjonen i området.

Saltmassen beregnes ut fra saltinnholdet, volumet og tettheten til vannet, og summeres over alle modellelementer avgrenset i området. Det kan sees i figuren at saltmengden varierer på en annen måte enn vannvolumet, noe som indikerer at saltmengden påvirkes av skiftende vannmasser og av plasseringen av brakvannfronten.

Til slutt beregnes den relative mengden varme ut fra vanntemperaturen, volumet, tettheten av vannet og den spesifikke varmen av vann, og summeres over modellelementene avgrenset i området. Det kan ses i figuren at mengden varme i MB2-området øker i modellperioden på grunn av overflatelagets oppvarming på våren.



Figur 4.7 Masebudsjettene avgrensner området for de to gyteområdene angitt av Kystverket



Figur 4.8 Massebudsjett for stående vannvolum, -varme og -salt i det nordlige gyteområdet MB2

5 Tiltaksanalyse

Kystverket ønsker en utredning om sprengning og mudring av grunner vil endre vannutvekslingen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene for å passe på at områdets potensial som gytefelt ikke forringes.

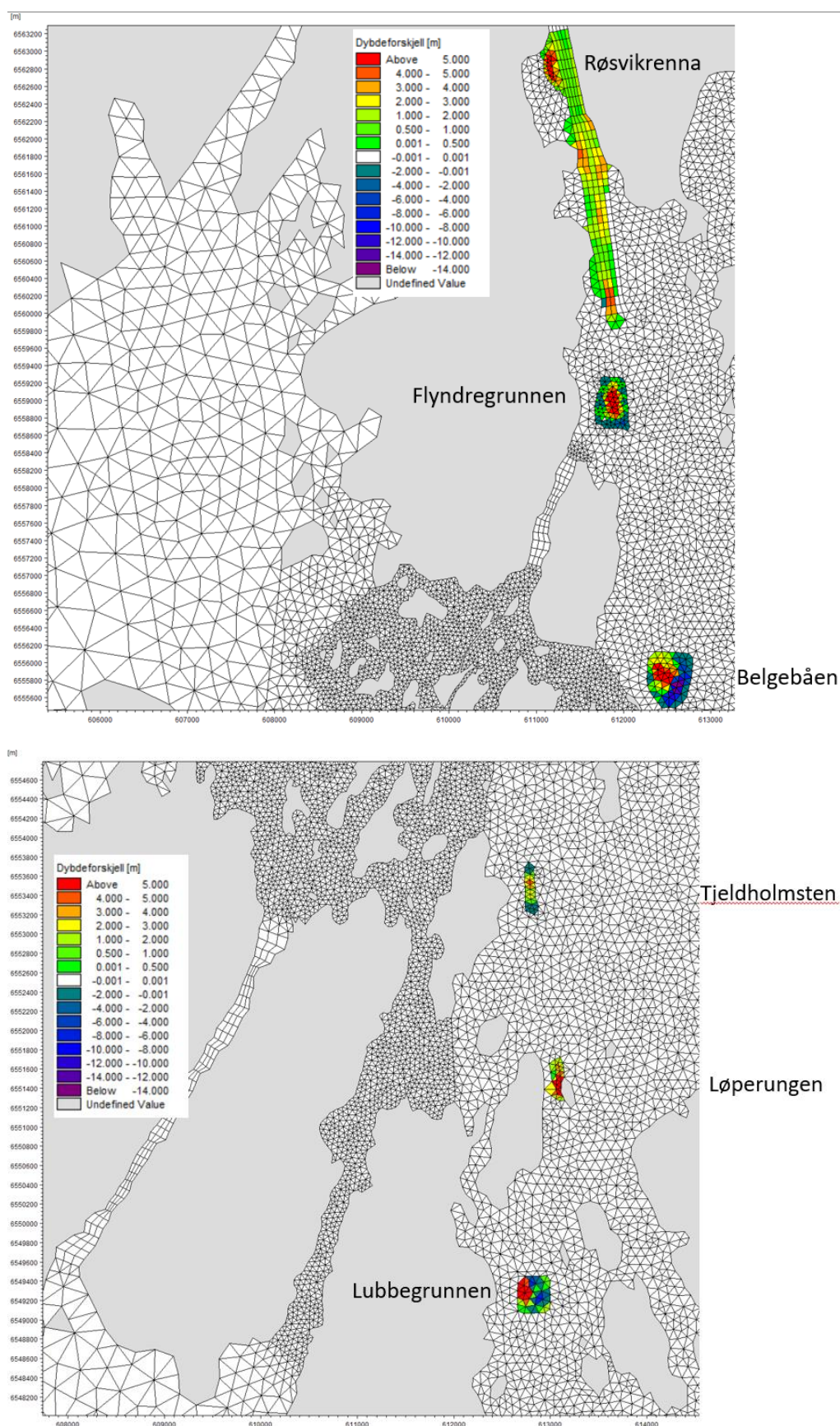
5.1 Tiltaksbeskrivelse

For å undersøke om tiltakene Kystverket ønsker å utrede vil endre vannutvekslingen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene har det, i tillegg til å bli opprettet en modell før tiltak, blitt opprettet en modell for situasjonen etter tiltakene. Det eneste som er endret i den andre modellen er dybdene i tiltaksområdet.

Som nevnt tidligere består tiltakene av mudring/sprengning av seks (6) grunner fra Flyndregrunnen til Lubbegrunnen i tillegg til Røsvikrenna. Tiltakene er vist i Figur 1.1. I denne rapporten er det kun mudring/sprengning/deponering i Røsvikrenna, Flyndregrunnen, Belgebåen, Tjeldhomsten, Løperungen og Lubbegrunnen som er inkludert.

Dybdene for tiltaksområdene etter tiltak ble gitt av Norconsult i xyz-format (Breyholtz, et al., 2020). I elementene i beregningsnettets blir dybdene interpolert på bakgrunn av disse dybde-dataene. Dette gjorde at noen av elementene var noe grunnere enn kriteriene for planlagt mudringsdybde gitt i (Kystverket, 2018). Det ble derfor satt som et kriteriene at dybdene skulle være minimum planlagt mudringsdybde.

Det endte dermed med at endringene ble som vist i Figur 5.1. Her ser en dybdeforskjellene mellom før- og etter tiltak. Der figuren viser en høyere vanndybde har modellen blitt dypere etter tiltak, mens der den har negative verdier har den blitt grunnere. Det vil si at der det er positive verdier vil havbunnen bli mudret/sprengt til et dypere nivå, mens der det er negative verdier vil det deponeres og bli grunnere.



Figur 5.1 Dybforskjellen (etter- minus før tiltak); en økning i vanddybde viser hvor mye dypere det elementet er blitt, og vice versa for en negativ verdi

5.2 Endring vannutskiftning

For å se på vannutskiftningen er de tidligere beskrevet i inn- og utstrømningslinjer og massebudsjetter vist i Figur 4.1 og Figur 4.7 brukt. Det er da sett på vannutskiftningen for vannutvekslingen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene og vannutskiftningen for de gitte gyteområdene.

I kapittel 4 er vannutskiftningen før tiltak beskrevet, mens det her vil bli sett på endring i vannutskiftning etter tiltak.

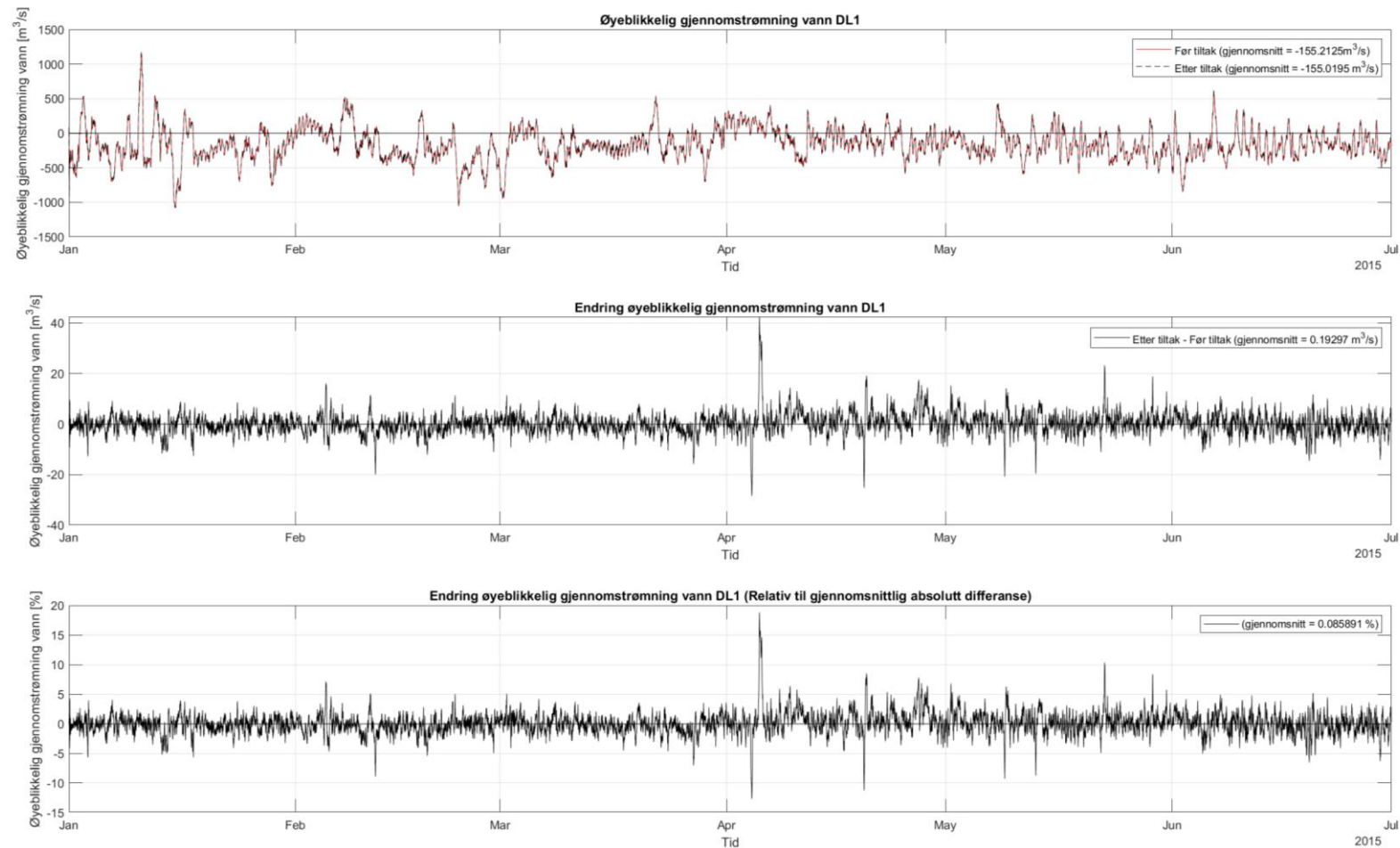
5.2.1 Inn- og utstrømningslinjer

Vannutskiftningen mellom utsiden og innsiden av Hvalerøyene kan bli funnet ved å undersøke inn- og utstrømningslinje DL_1, DL_10, DL_11, DL_18, DL_20 og DL_39.

Resultatene fra disse inn- og utstrømningslinjene er både presentert som grafer og i tabellform. Grafen for DL_1, gjennomstrømning vann, er vist i Figur 5.2, mens resterende inn- og utstrømningslinjer er presentert i Vedlegg A. Figuren er tredelt, der øverste delfigur viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før- og etter tiltak sammen. Her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste delfiguren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter- minus før tiltak), der gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser den relative endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter- minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse. Gjennomsnittene er regnet ut mellom 01.01 20:30, når modellen er blitt stabil (se kapittel 2.6), til 29.06:15:00, når vannstanden er lik som i startpunktet.

I Tabell 5.1 - Tabell 5.3 er alle de gjennomsnittlige tallene presentert for alle de avgrensede inn- og utstrømningslinjene for vann, varme og salt.

Sammenlignet med forholdene i Figur 4.4 kan en se fra tabellene at det overordnede strømningsmønsteret endres i liten grad. Den største endringen er at det går mer tidevann opp i Østerelven, som trolig delvis går ut i Vestelven, men endringen av den totale vannføringen i de to elvene er minimal. En kan se fra figurene i Vedlegg A at endringen før- og etter tiltak er noe som hender i januar-april, men når vårfloppen kommer i mai-juni er det så og si ingen differanse før- og etter tiltak. For endring gjennomstrømningen for de andre inn- og utstrømningslinjene kan en se at differansen mellom før- og etter tiltak varierer mellom 0,1 – 1,3 %.



Figur 5.2 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning vann for DL1, posisjonen til linjene er vist i .Figur 4.1. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann for før- og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter- minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også den relative endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter- minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne

Tabell 5.1 Øyeblikkelig gjennomstrømning vann i inn- og utstrømningslinjene som avgrensar utsiden og innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning» betyr at gjennomsnittlig gjennomstrømning er rettet inn mot innsiden av Hvalerøyene. For «gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning» vil positivt tall vil si at det er mer gjennomstrømning etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall

Inn- og utstrømningslinje	Etter tiltak Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning vann [m ³ /s]	Før tiltak Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning vann [m ³ /s]	Etter tiltak - Før tiltak Gjennomsnittlig endring i øyeblikkelig gjennomstrømning vann [m ³ /s]	Gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning vann [%] (relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse)
DL_1	-155,0	-155,2	0,2	0,1
DL_10	-3,9	-3,9	-0,1	-0,9
DL_11	-145,2	-145,4	0,2	0,1
DL_18	-483,5	-484,8	1,3	0,2
DL_20	229,3	227,7	1,6	0,3
DL_39	557,1	560,2	-3,2	-0,6

Tabell 5.2 Øyeblikkelig gjennomstrømning salt i inn- og utstrømningslinjene som avgrensner utsiden og innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning» betyr at gjennomsnittlig gjennomstrømning er rettet inn mot innsiden av Hvalerøyene. For «gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning» vil positivt tall vil si at det er mer gjennomstrømning etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall

Inn- og utstrømningslinje	Etter tiltak Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning salt [kg/s]	Før tiltak Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning salt [kg/s]	Etter tiltak - Før tiltak Gjennomsnittlig endring i øyeblikkelig gjennomstrømning salt [kg/s]	Gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning salt [%] (relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse)
DL_1	-2 795,7	-2 786,7	-9,0	-0,2
DL_10	-71,1	-69,5	-1,6	-1,3
DL_11	-2 892,2	-2 892,2	0,0	0,0
DL_18	-7 736,8	-7 778,0	41,1	0,2
DL_20	13 434,3	13 432,0	2,3	0,0
DL_39	-101,8	-71,7	-30,1	-7,3

Tabell 5.3 Øyeblikkelig gjennomstrømning varme i inn- og utstrømningslinjene som avgrensner utsiden og innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning» betyr at gjennomsnittlig gjennomstrømning er rettet inn mot innsiden av Hvalerøyene. For «gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning» vil positivt tall vil si at det er mer gjennomstrømning etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall

Inn- og utstrømningslinje	Etter tiltak Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning varme [J/s]	Før tiltak Gjennomsnittlig øyeblikkelig gjennomstrømning varme [J/s]	Etter tiltak - Før tiltak Gjennomsnittlig endring i øyeblikkelig gjennomstrømning varme [J/s]	Gjennomsnittlig endring øyeblikkelig gjennomstrømning varme [%] (relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse)
DL_1	-4 102 854 780,5	-4 110 820 774,7	7965994,2	0,1
DL_10	-101 615 837,2	-100 302 627,6	-1313209,6	-0,7
DL_11	-4 148 582 242,2	-4 154 239 082,1	5656839,9	0,1
DL_18	-14 169 850 009,6	-14 219 313 513,7	49 463 504,1	0,2
DL_20	5 838 968 372,7	5 794 243 358,0	44 725 014,7	0,2
DL_39	14 858 918 985,6	14 952 207 930,1	-93 288 944,5	-0,6

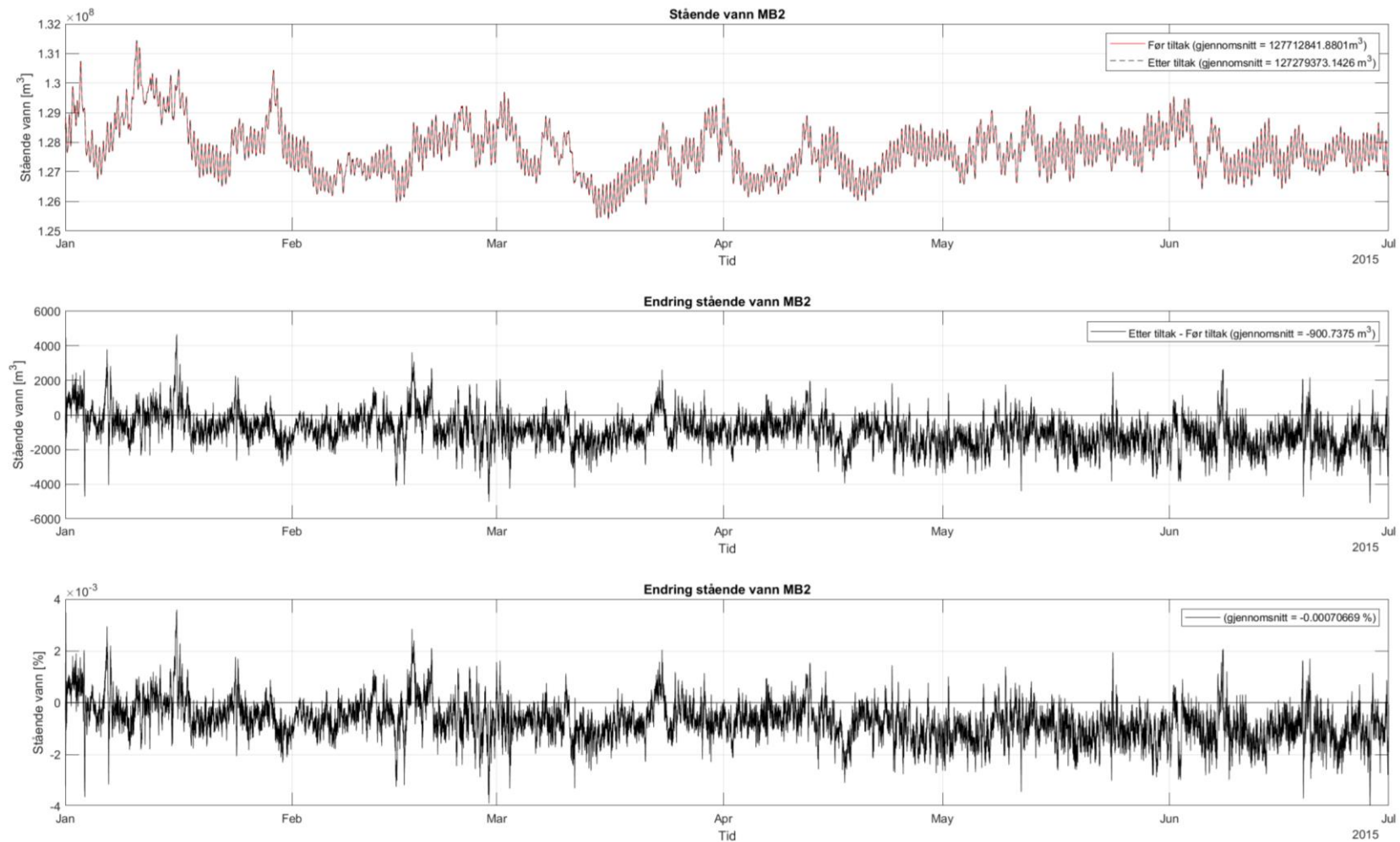
5.2.2 Massebudsjett

Endring i vannutskiftningen i de gitte gyteområdene er funnet ved å undersøke massebudsjettet før- og etter tiltak. Resultatene fra de to massebudsjettene er både presentert som grafer og i tabellform. Grafen for MB2, stående vann, er vist i Figur 5.3, resten er presentert i Vedlegg A.

Figuren er tredelt, øverste del viser stående vann før- og etter tiltak, her er også det gjennomsnittlige stående vannet i MB2 for de to tilfellene presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i stående vann (etter- minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i stående vann er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også den relative endringen i stående vann (etter- minus før tiltak), her presentert i prosent, gjennomsnittlige endring i stående vann er presentert oppe i høyre hjørne. De initiale forskjellene på bakgrunn av endret dybde er fjernet i «Gjennomsnittlig endring i stående vann».

I Tabell 5.4 - Tabell 5.6 er alle de gjennomsnittlige tallene presentert for alle de avgrensede inn- og utstrømningslinjene for vann, varme og salt.

En ser fra tabellene at endringen i den stående massen før- og etter tiltak er mellom 0.0 – 0.1%.



Figur 5.3 Massebudsjett for stående vann for MB2. Den øverste figuren viser stående vann før- og etter tiltak, her er også det gjennomsnittlige stående vannet i MB2 presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i stående vann (etter- minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i stående vann er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også den relative endringen i stående vann (etter- minus før tiltak), her presentert i prosent, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne.

Tabell 5.4 Stående vann i gitte gyteområder på innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig stående vann» betyr at gjennomsnittlig stående vann er rettet inn mot gyteområdet. For «gjennomsnittlig endring stående vann» vil positivt tall vil si at det er mer stående vann etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall. De initiale forskjellene på bakgrunn av endret dybde er fjernet i «Gjennomsnittlig endring i stående vann»

Massebudsjett	Etter tiltak Gjennomsnittlig stående vann [m ³]	Før tiltak Gjennomsnittlig stående vann [m ³]	Etter tiltak - Før tiltak Gjennomsnittlig endring i stående vann [m ³]	Gjennomsnittlig endring stående vann [%]
MB1	82 054 116,8	81 906 044,5	-63,7	0,0
MB2	127 279 373,1	127 712 841,9	-900,7	0,0

Tabell 5.5 Stående salt i gitte gyteområder på innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig stående salt» betyr at gjennomsnittlig stående salt er rettet inn mot gyteområdet. For «gjennomsnittlig endring stående salt» vil positivt tall vil si at det er mer stående salt etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall. De initiale forskjellene på bakgrunn av endret dybde er fjernet i «Gjennomsnittlig endring i stående salt»

Massebudsjett	Etter tiltak Gjennomsnittlig stående salt [kg]	Før tiltak Gjennomsnittlig stående salt [kg]	Etter tiltak - Før tiltak Gjennomsnittlig endring i stående salt [kg]	Gjennomsnittlig endring stående salt [%]
MB1	2 327 834 652,3	2 322 547 989,3	1 128 199,0	0,0
MB2	3 477 700 217,8	3 488 705 758,7	2 167 451,1	0,1

Tabell 5.6 Stående varme i gitte gyteområder på innsiden av Hvalerøyene. Positive tall for «gjennomsnittlig stående varme» betyr at gjennomsnittlig stående varme er rettet inn mot gyteområdet. For «gjennomsnittlig endring stående varme» vil positivt tall vil si at det er mer stående varme etter at tiltakene er gjennomført, vice versa for negative tall. De initiale forskjellene på bakgrunn av endret dybde er fjernet i «Gjennomsnittlig endring i stående varme»

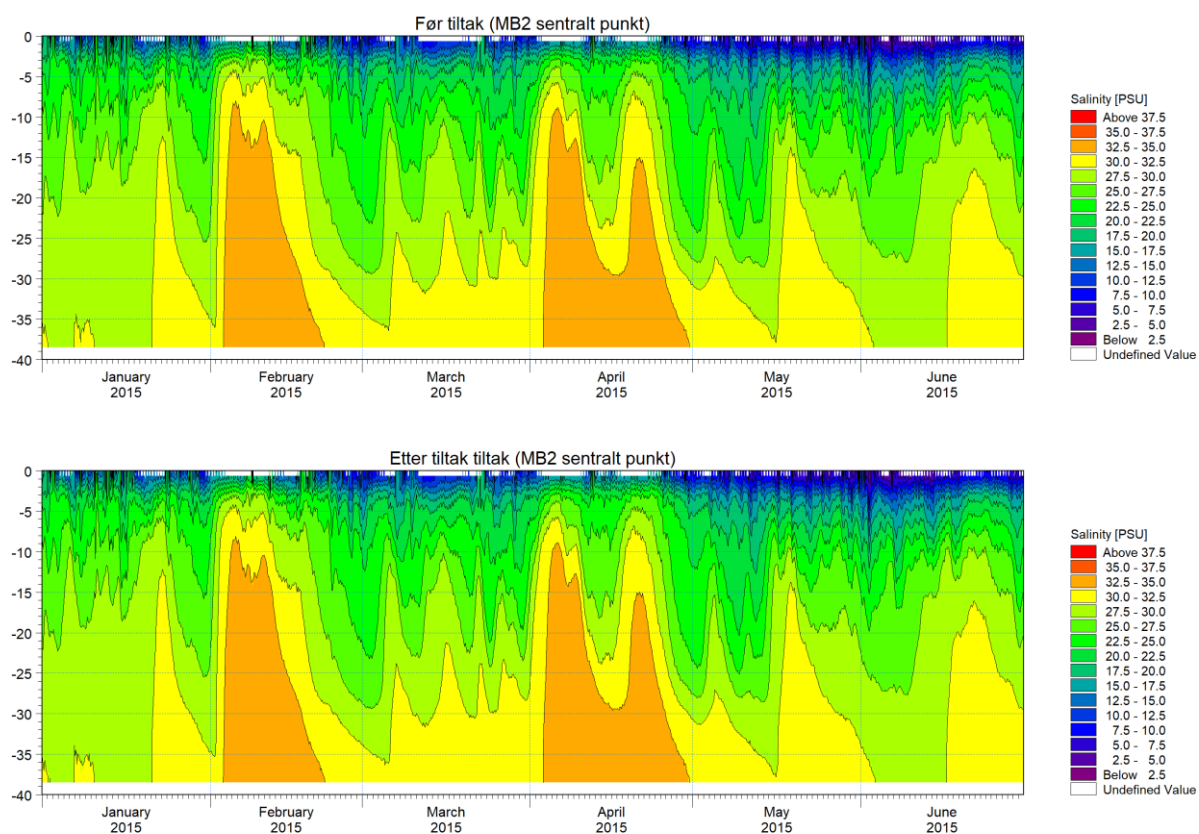
Massebudsjett	Etter tiltak Gjennomsnittlig stående varme [TJ]	Før tiltak Gjennomsnittlig stående varme [TJ]	Etter tiltak - Før tiltak Gjennomsnittlig endring i stående varme [TJ]	Gjennomsnittlig endring stående varme [%]
MB1	2 348,8	2 344,4	1,6	0,1
MB2	3 578,1	3 590,9	-3,0	-0,1

5.2.3 Lagdeling

Fra de to foregående kapitlene er det sett at det ikke er en stor endring i vann-, salt- eller varmeutvekslingen. For å være sikker på at det ikke bare er netto endring som er liten, mens lagdelingen forandres, er det laget en isoplett figur av saliniteten i et sentralt punkt i MB2 for å sikre at lagdelingen ikke er forandret etter gjennomført tiltak. Dette er vist i Figur 5.4, hvor en kan se at lagdelingen av saliniteten gjennom hele modellperioden er nesten identisk før- og etter tiltak.

I figuren kan man tydelig identifisere det brakke overflatelaget, et veldig dynamisk mellomlag med haloklin og et salt bunnlag, som også er dynamisk og påvirkes av «innbrudd» av havvann fra Skagerak.

Merk at det i modellperioden har vært to-tre «innbrudd» av havvann med salinitet over 32,5 PSU.



Figur 5.4 Isoplettplot av salinitet gjennom modellperioden i et sentralt punkt i MB2. Den øverste delfiguren er før tiltak mens den nederste delfiguren er etter tiltak. Merk at x-aksen er tid og y-aksen er dybde

6 Konklusjon

I denne rapporten er det undersøkt for Kystverket om mudring/sprengning av fem grunner og Glomma ved Røsvikrenna vil kunne endre vannutveksling mellom «utsiden» og «innsiden» av Hvalerøyene.

Til å undersøke dette har DHI etablert en tredimensjonal strømningsmodell (hydrodynamisk modell) basert på modellsystemet MIKE 3 FM som inkluderer Hvalerskjærgården fra Glomma helt ut til Tisler. Modellen bruker grensebetingelser fra en av DHIs regionale modeller som dekker Skagerrak, slik at offshore-effekter, stormflo og relevante sirkulasjonsmønstre beskrives for hele modellsystemet. Modellen er drevet av meteorologiske felter og ferskvannstilstrømning fra bl.a. Glomma. Den ble validert mot målinger av vannstand, strøm, salinitet og temperatur for perioden 01.01.15 – 01.07.15.

I kapittel 3 er det vist at modellen beskriver tidevann og residual vannstand godt, sammenligningene av strømhastighetene viser en fornuftig overenstemmelse, og at lagdelingen for salinitet og temperatur er godt beskrevet.

Undersøkelsen av vannutvekslingen er basert på inn- og utstrømningslinjer, og massebudsjetter, som beskriver inn- og utstrømning av vann, salt og varme over utvalgte tverrsnitt, og vann, salt og varmebalanse innenfor de to gyteområdene.

Undersøkelsene før- og etter tiltak viser for inn- og utstrømningslinjene at det kun er en liten endring i gjennomstrømningen, som kan sies å være såpass liten at endringen i vann, salt og varmeutvekslingen er minimal. Det skal merkes at det i perioden hvor det er lavere vannføring i Glomma (januar-april), kommer det mer tidevann opp i Glomma fra Østerelven etter tiltak. Dette tidevannet ser ut til å gå delvis ut gjennom Vesterelven, siden mer salt strømmer gjennom her etter tiltak. Den totale vannføringen endres likevel ikke mye. Når vårflommen kommer (mai - juni) er endringen mellom før- og etter tiltak liten.

For vannutvekslingen til de gitte gyteområdene til torsken er det minimal endring i det stående vannet, -saltet og -varmen i massebudsjettene.

Det er også vist at lagdelingen i interesseområdet er tilnærmet uendret før- og etter tiltak.

Vi kan derfor konkludere med at den planlagte mudringen/sprengningen av fem grunner og Glomma ved Røsvikrenna har svært begrenset innvirkning på den samlede vannutvekslingen for Hvalerskjærgården. Med hensyn til vann, varme og saltbalansen i de to gyteområdene, har prosjektet nærmest en ubetydelig effekt.

7 Bibliografi

Breyholtz, B. et al., 2020. *Innseiling Borg - utdyping av farled - Mengdeberegning av tiltaksalternativer*, Sandvika: Norconsult.

DHI, 2020. *MIKE 3 Flow Model FM, Hydrodynamic and Transport Module, Scientific Documentation*. Hørsholm: DHI.

Flather, A., 1976. A tidal model of the northwest European continental shelf. *Memo. Soc. Roy. Sci. Liege.*, pp. (6(10), 141-164.

Helland, A. et al., 2018. *Miljøkonsekvensvurdering*, s.l.: Rambøll.

Kystverket, 2018. *VEDLEGG A TIL SØKNAD OM TILLATELSE TIL MUDRING OG DUMPING AV SEDIMENTER I SJØ OG VASSDRAG - INNSEILINGEN TIL BORG HAVN*, s.l.: s.n.

Staalstrøm, A. & Skogan, O. A., 2015. *Strømførhold og partikkelkonsentrasjoner i nedre del av Glomma*, s.l.: NIVA.

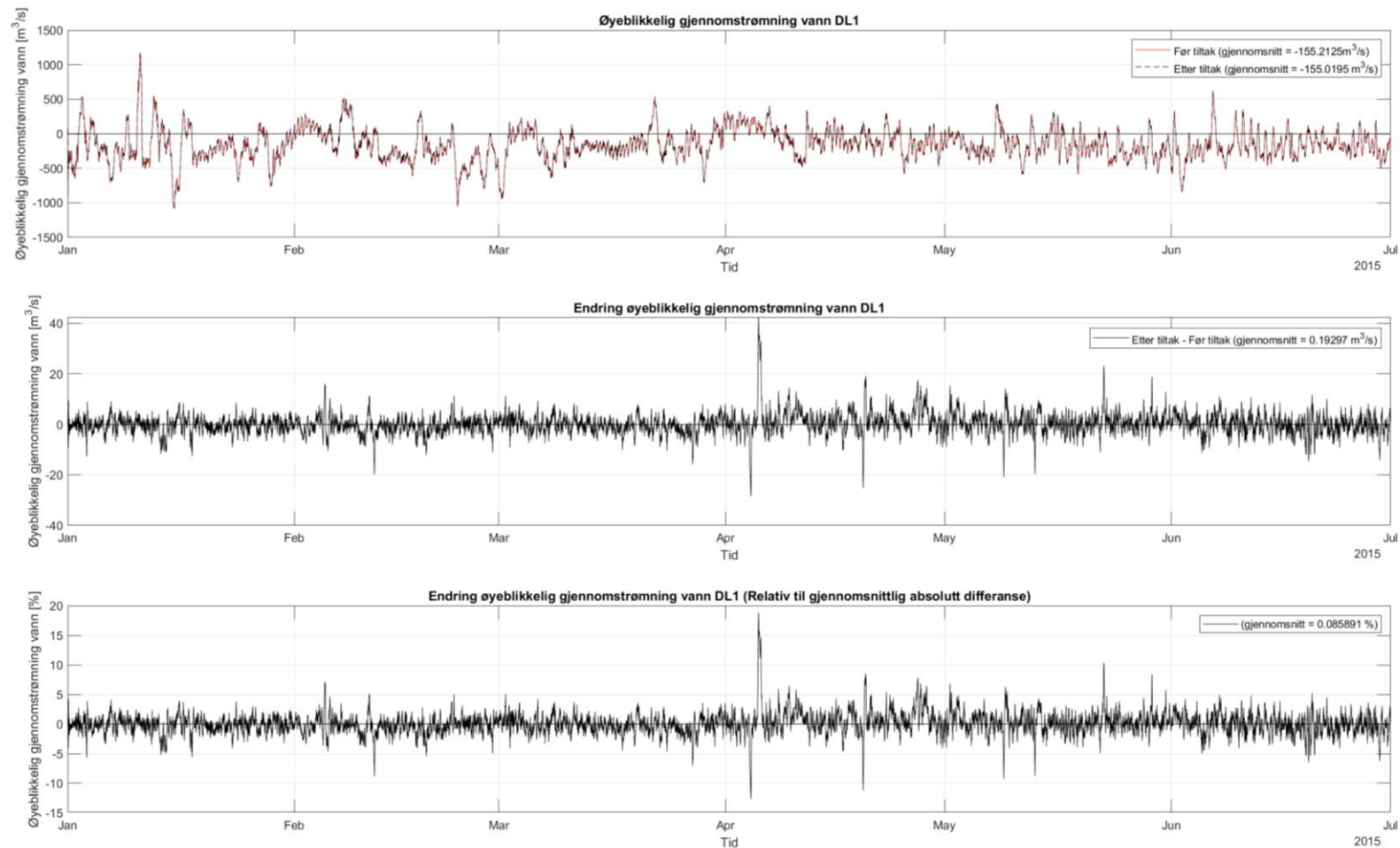
VEDLEGG

VEDLEGG A – Sammenligning Inn- og utstrømningslinjer og massebudsjetter

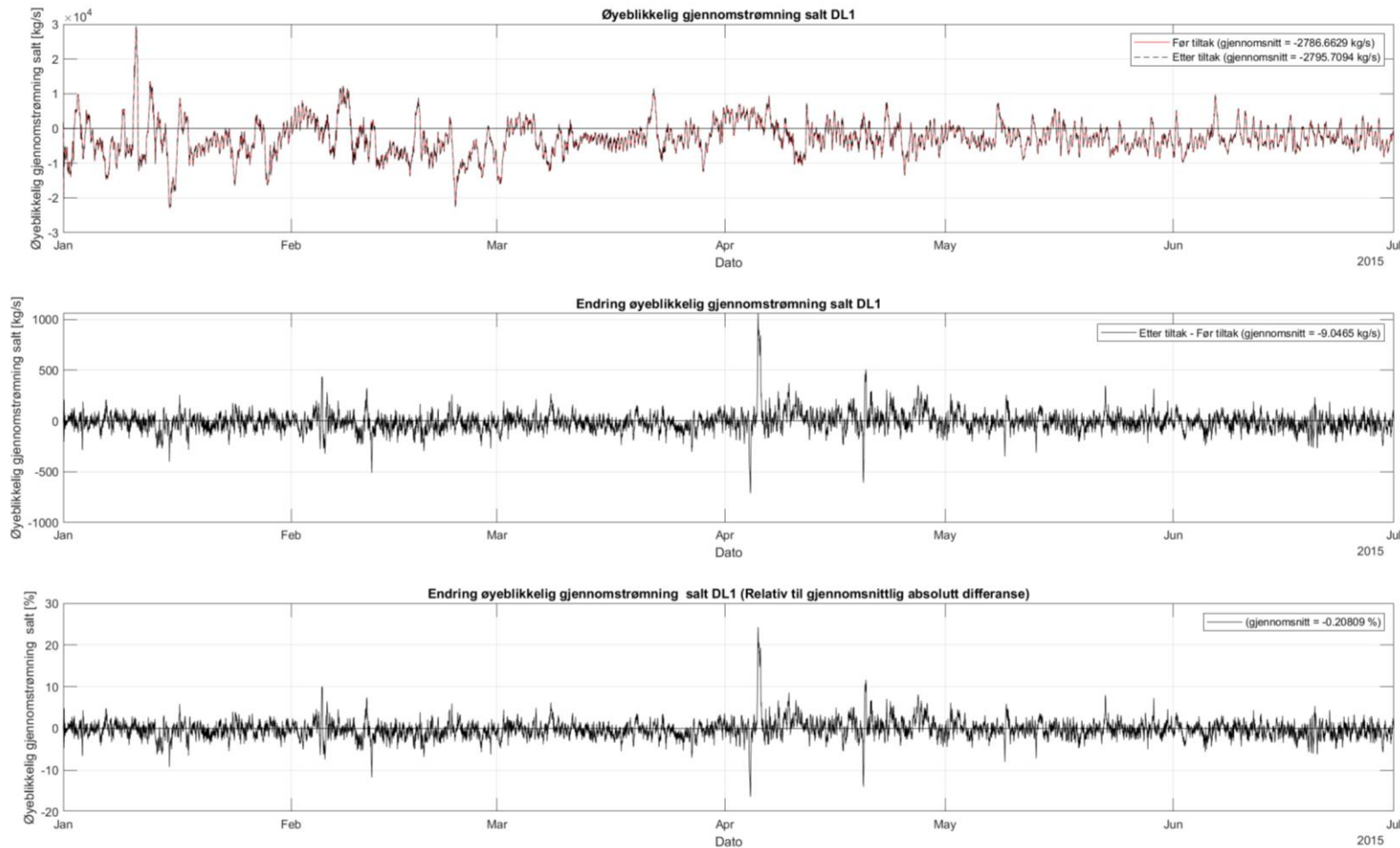
A Inn- og utstrømningslinjer og massebudsjetter

A.1 Sammenligning før- og etter tiltak

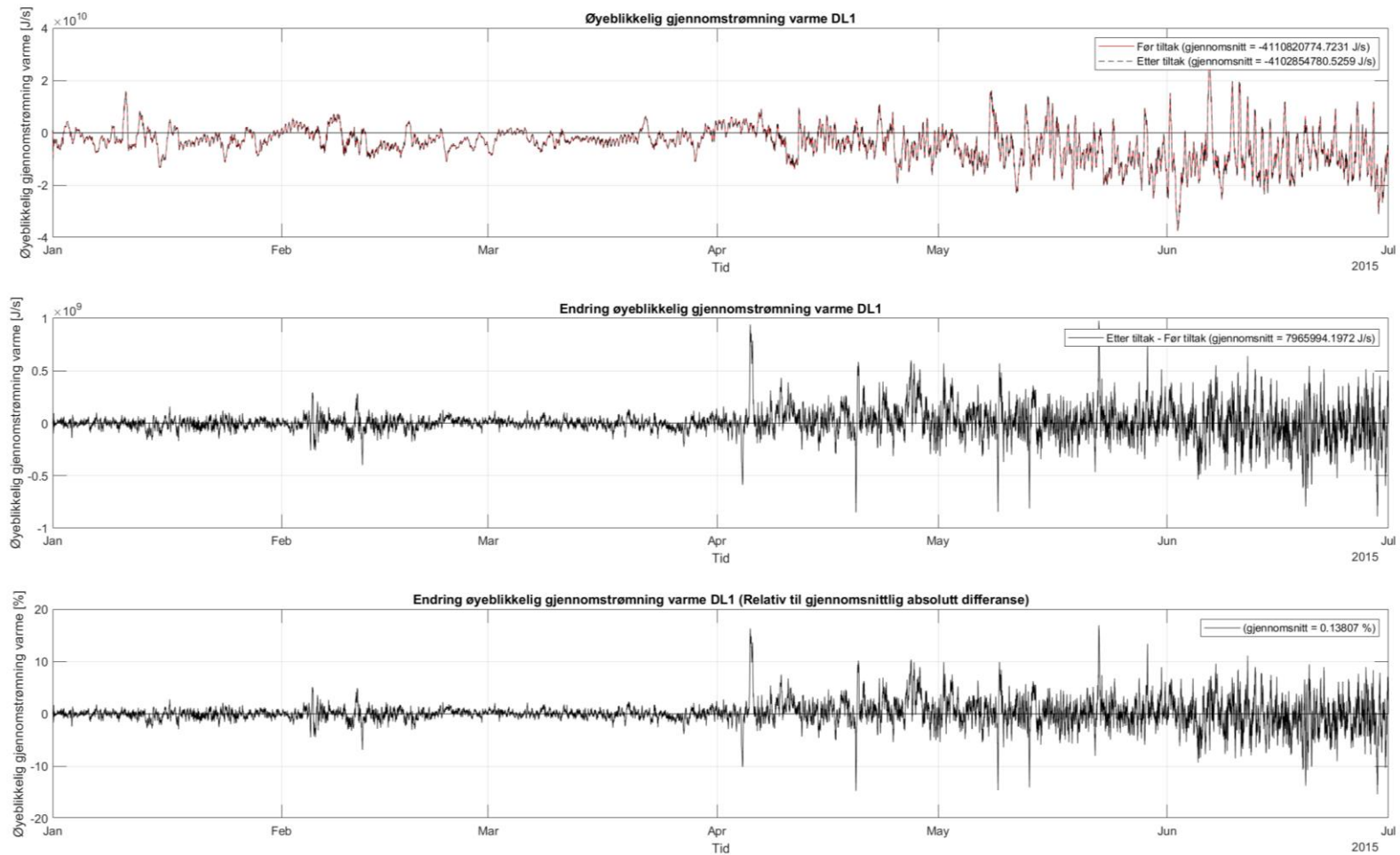
I Figur A- 1 - Figur A- 24Figur A- 30 er sammenligningen for inn- og utstrømningslinjene som avgrensner den indre delen av Hvalerskjærgården, hovedløpet til Glomma før den deler seg og vesterelven presentert. Sammenligningen av massebudsjettene for de gitte gyteområdene før og etter tiltak er presentert i Figur A- 25 - Figur A- 30.



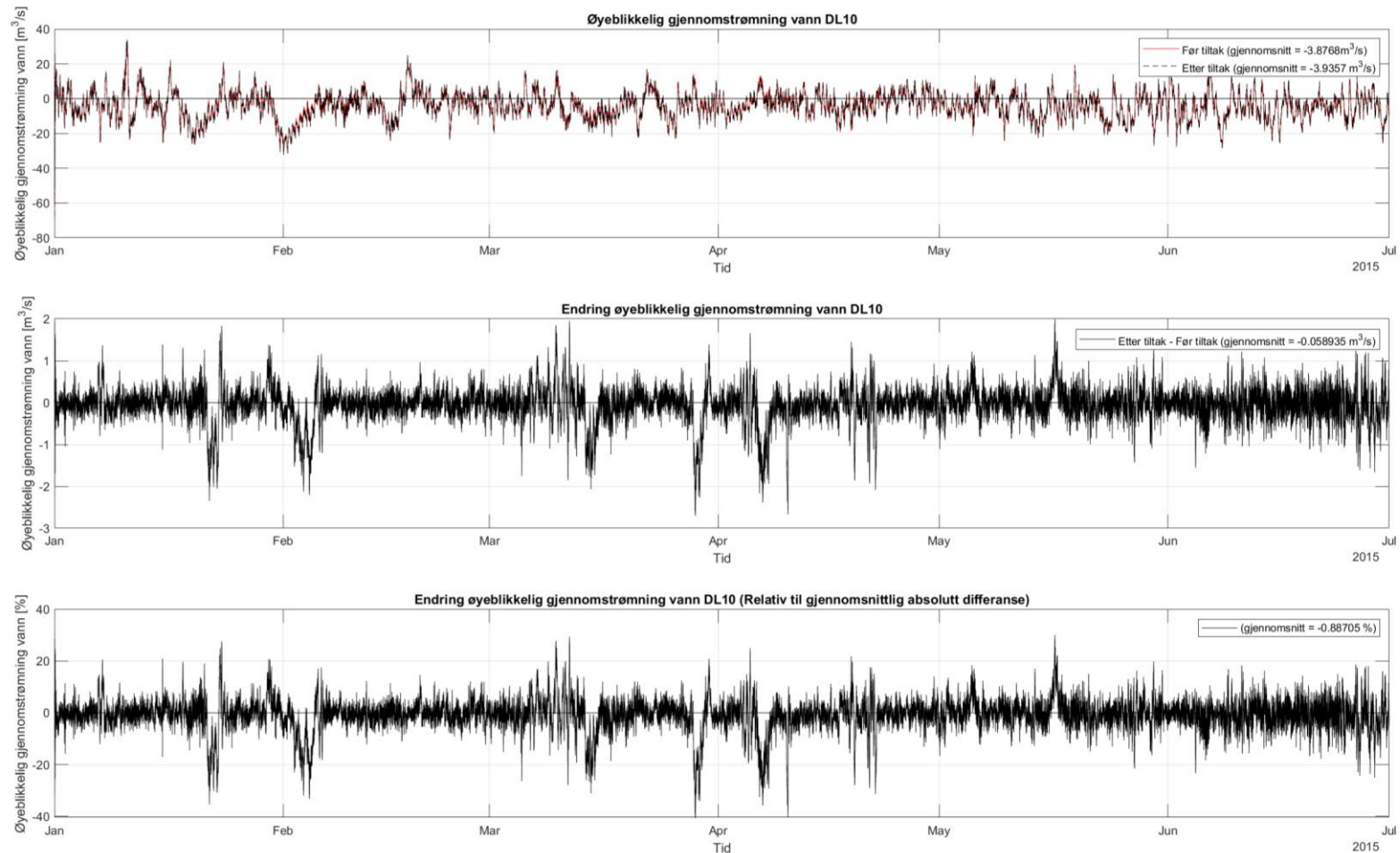
Figur A- 1 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning vann for DL1. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



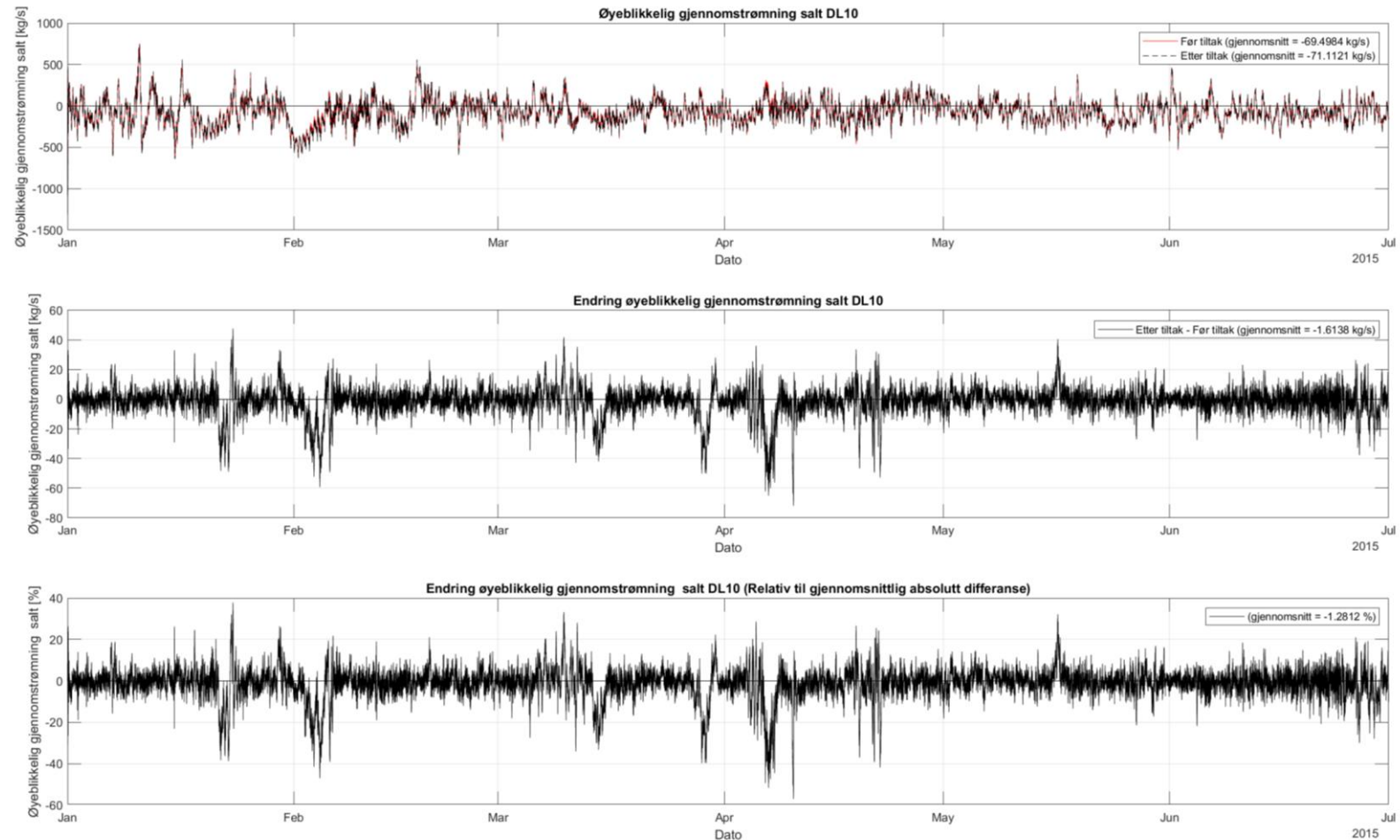
Figur A-2 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning salt for DL1. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



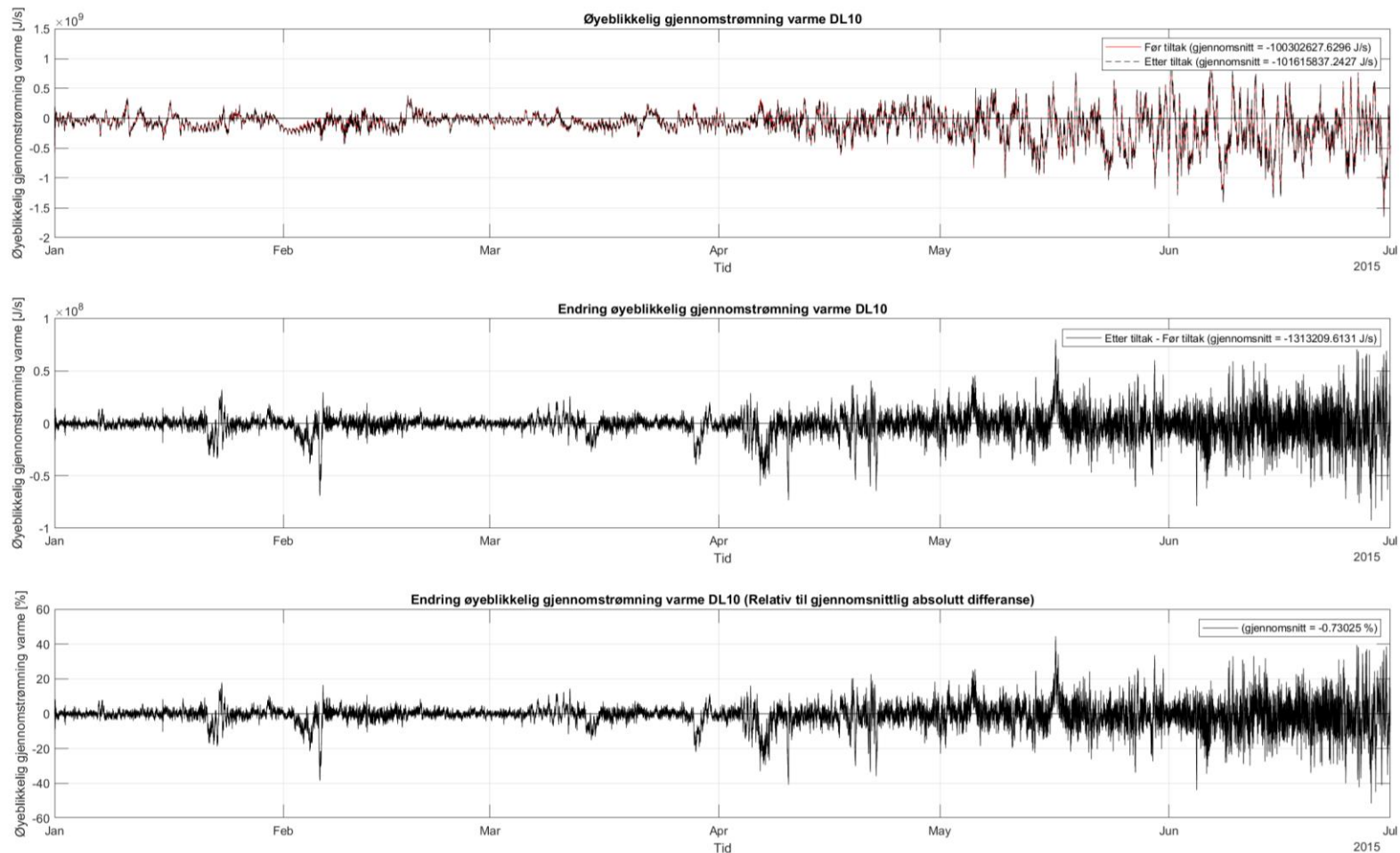
Figur A-3 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning varme for DL1. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



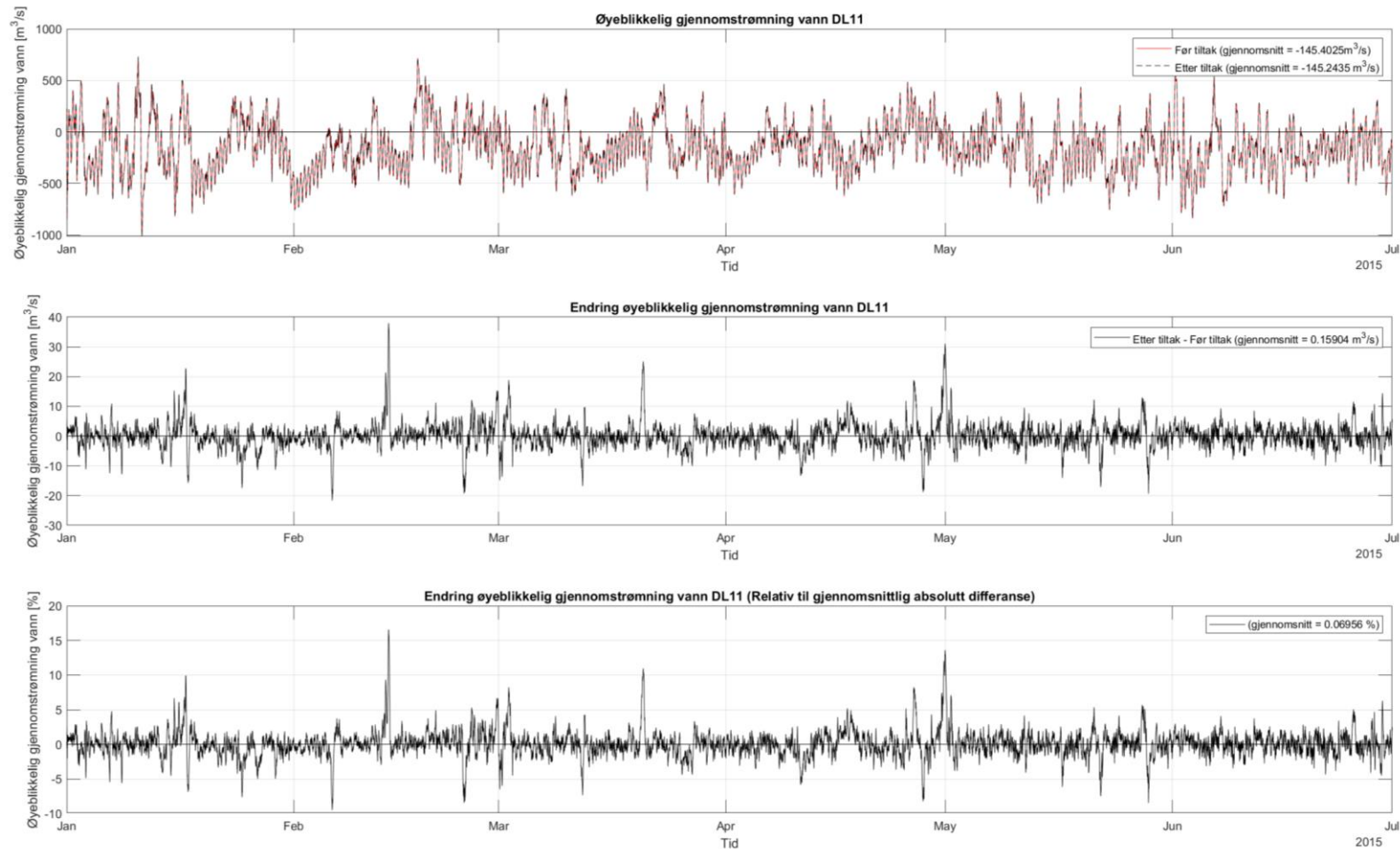
Figur A- 4 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning vann for DL10. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



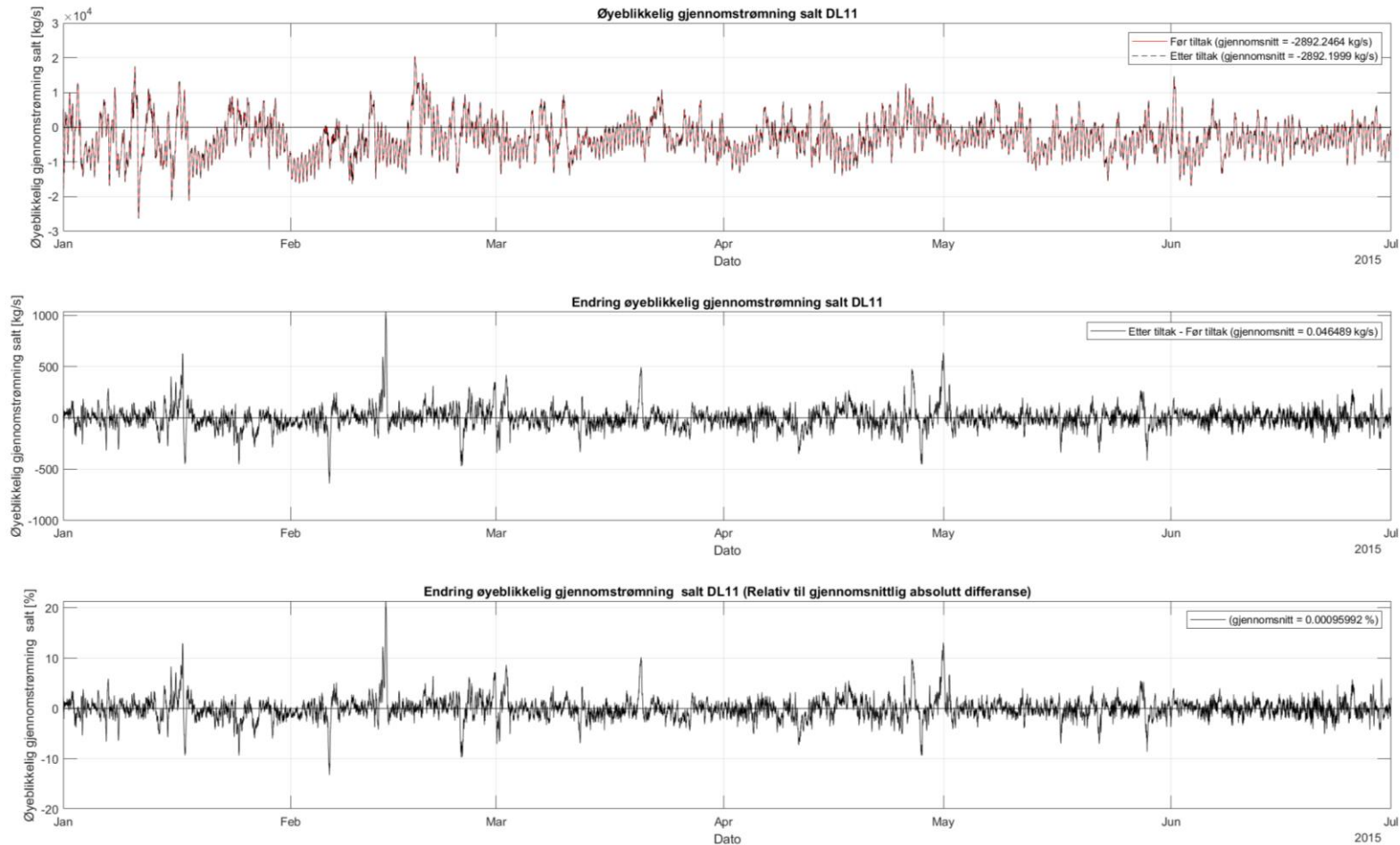
Figur A- 5 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning salt for DL10. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



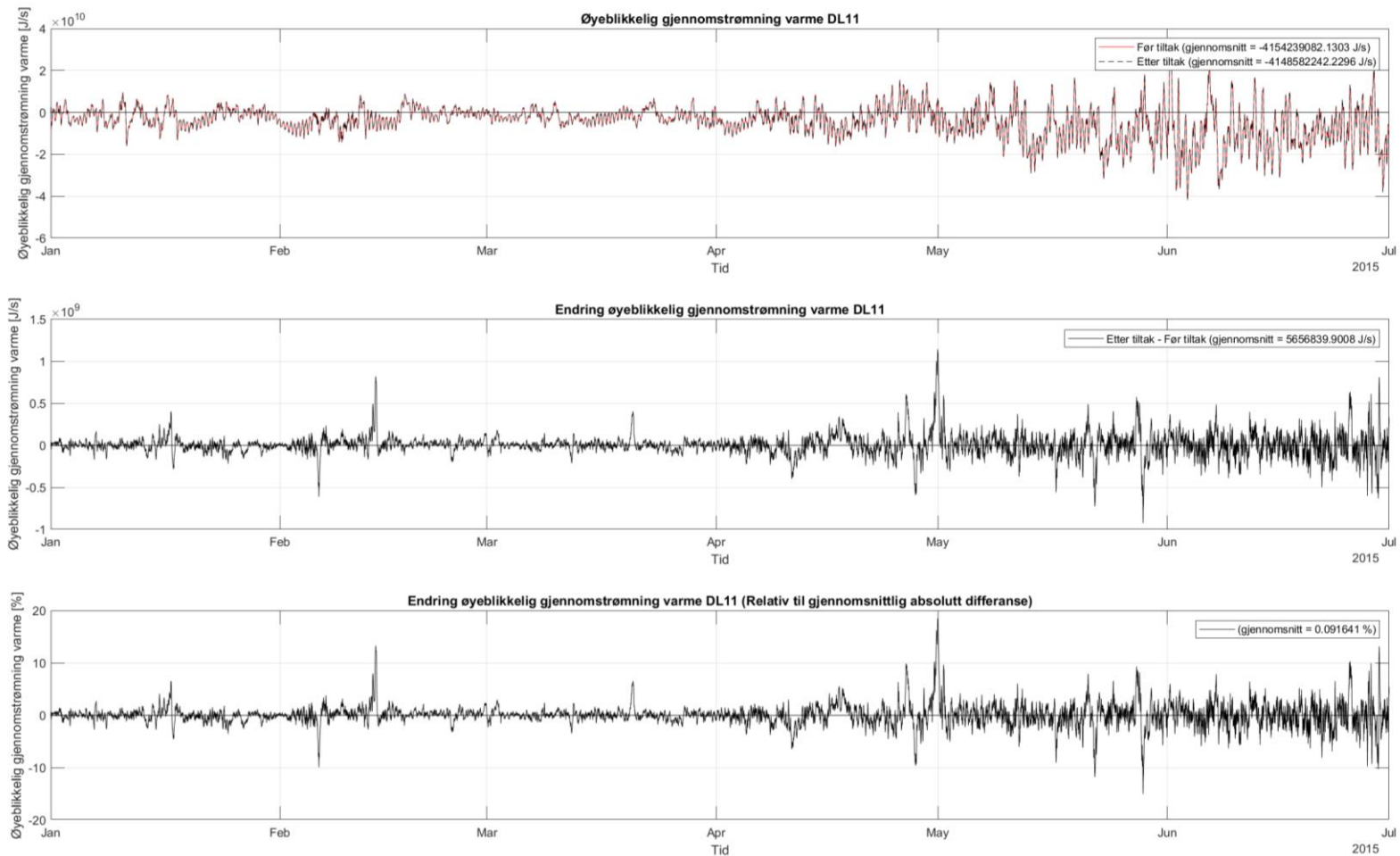
Figur A-6 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning varme for DL10. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



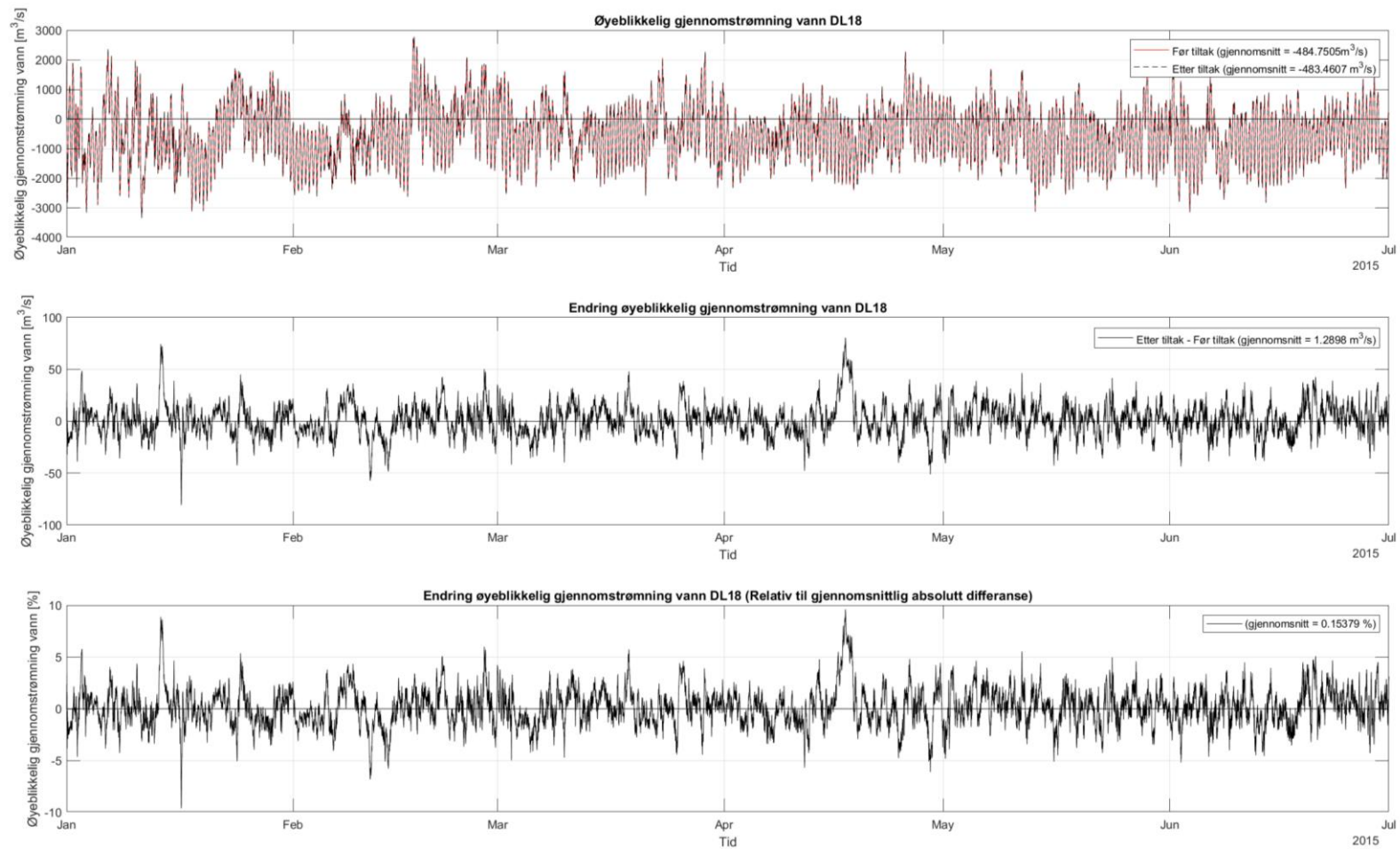
Figur A-7 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning vann for DL11. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



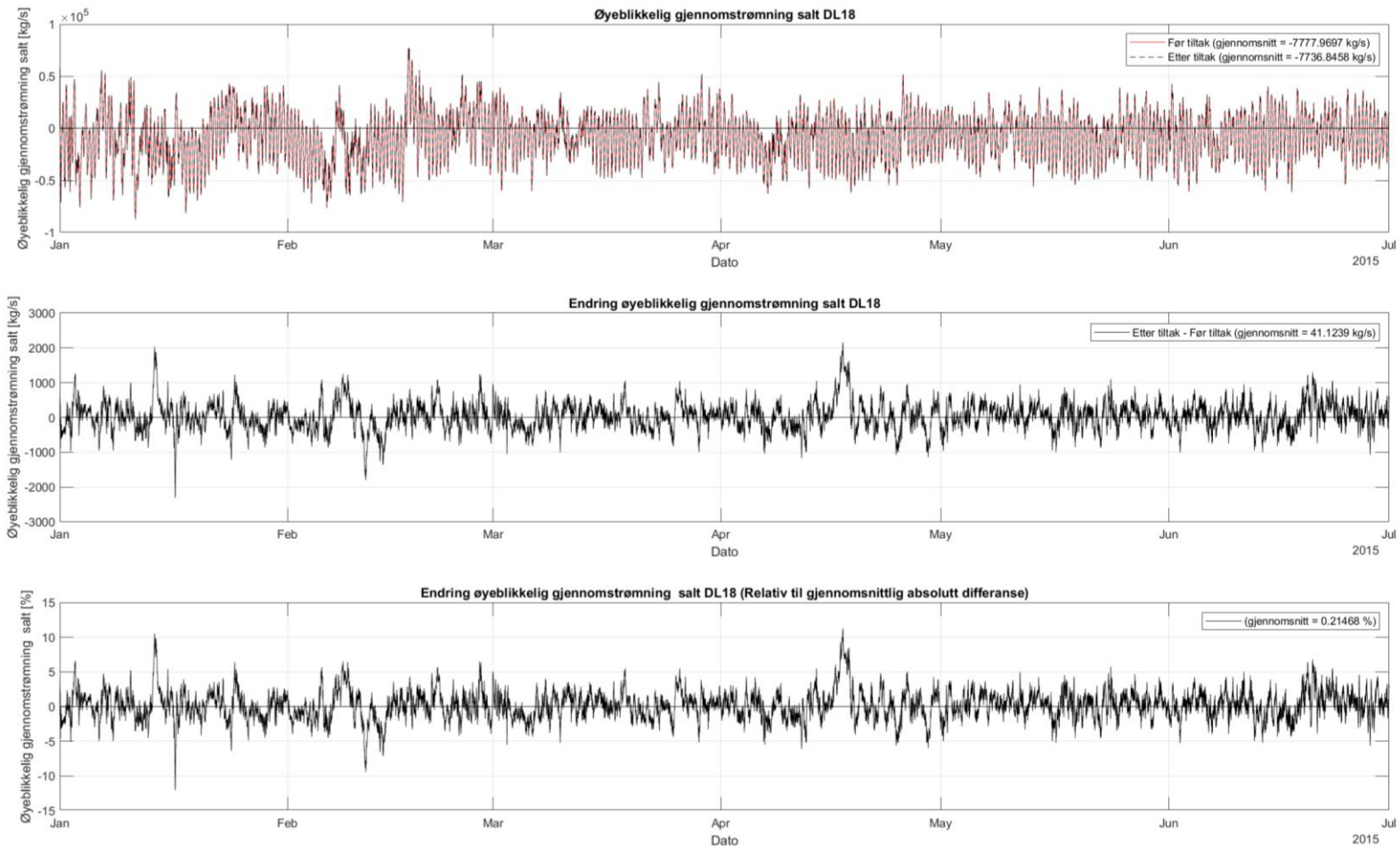
Figur A-8 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning salt for DL11. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



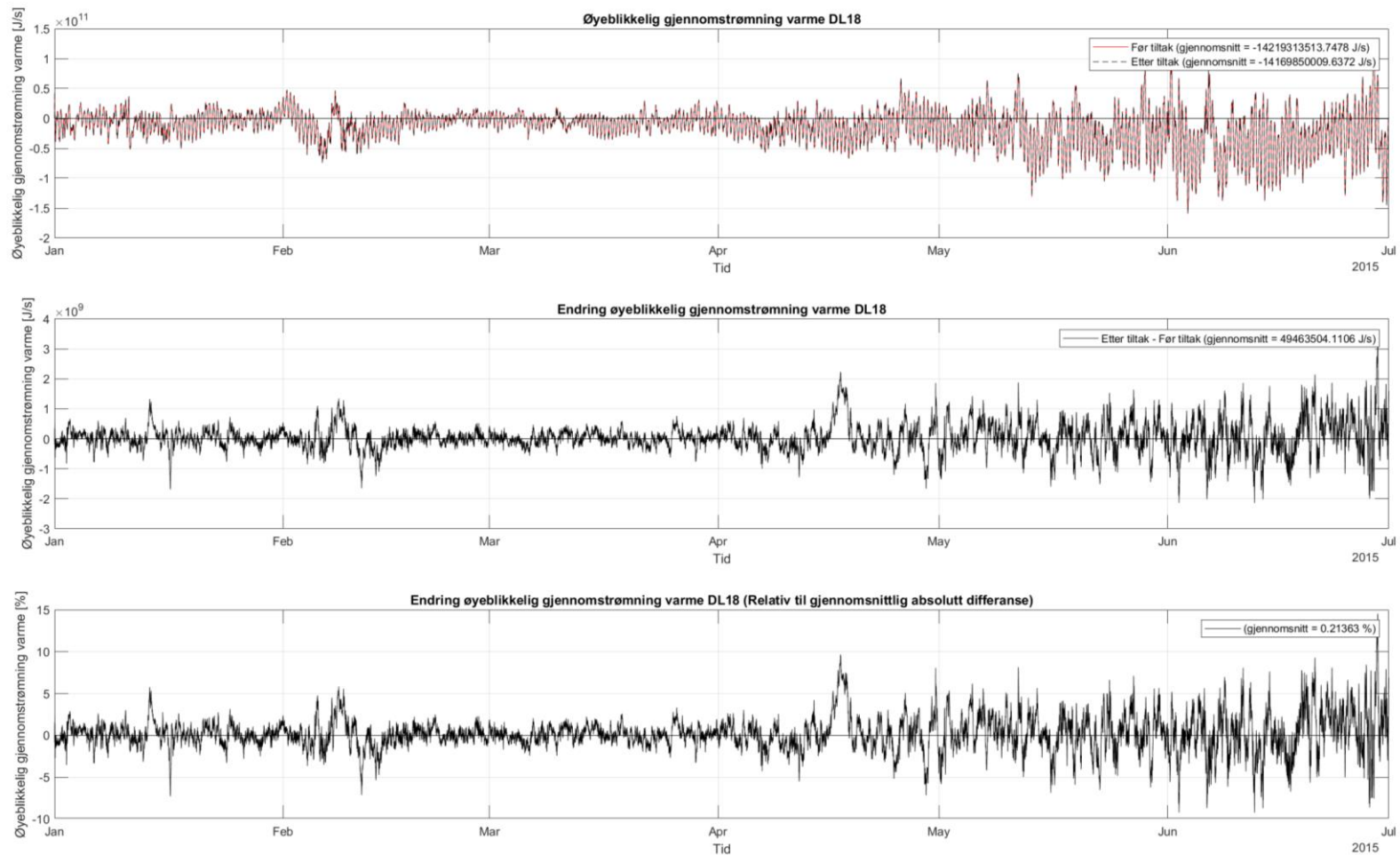
Figur A- 9 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning varme for DL11. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



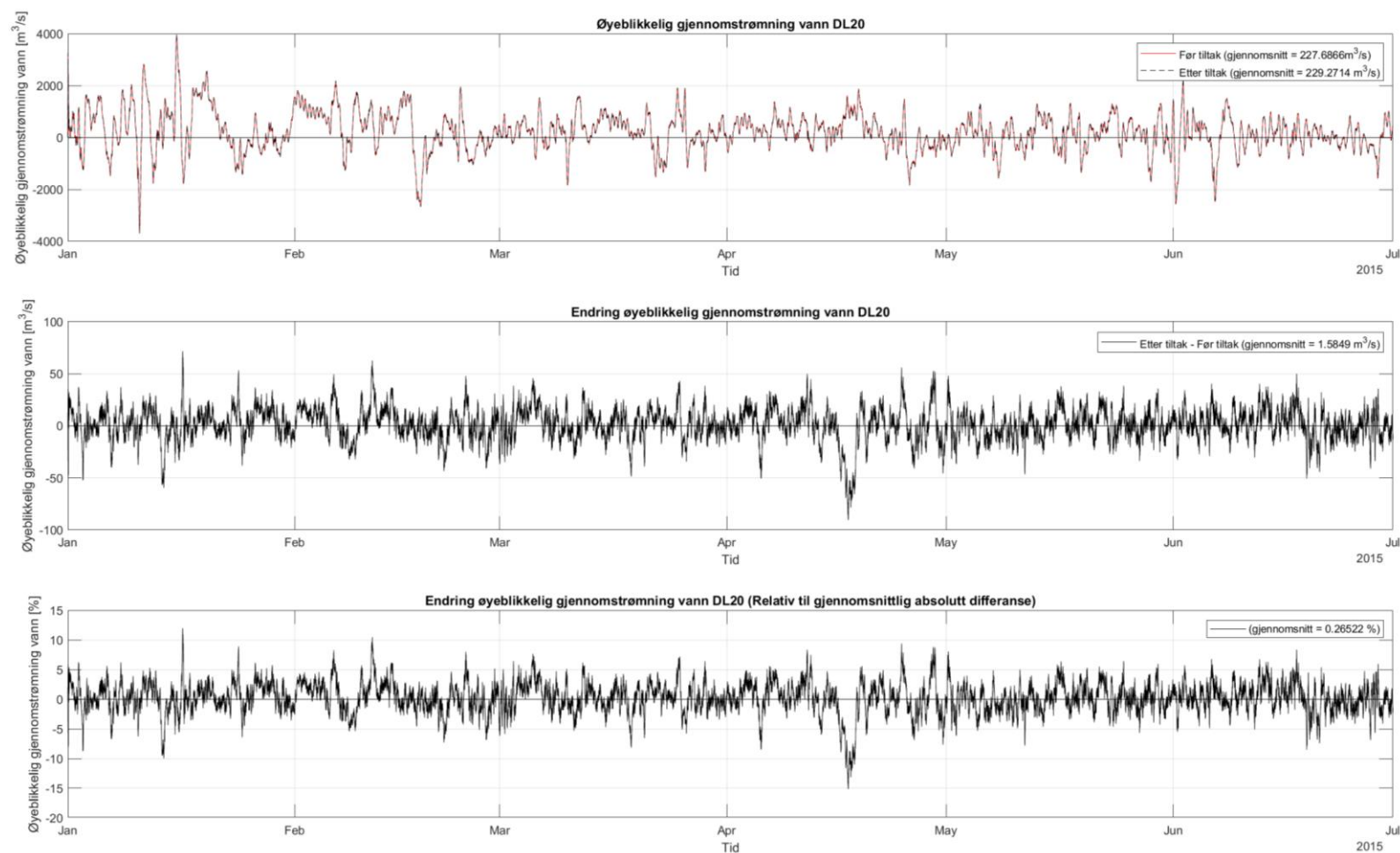
Figur A-10 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning vann for DL18. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



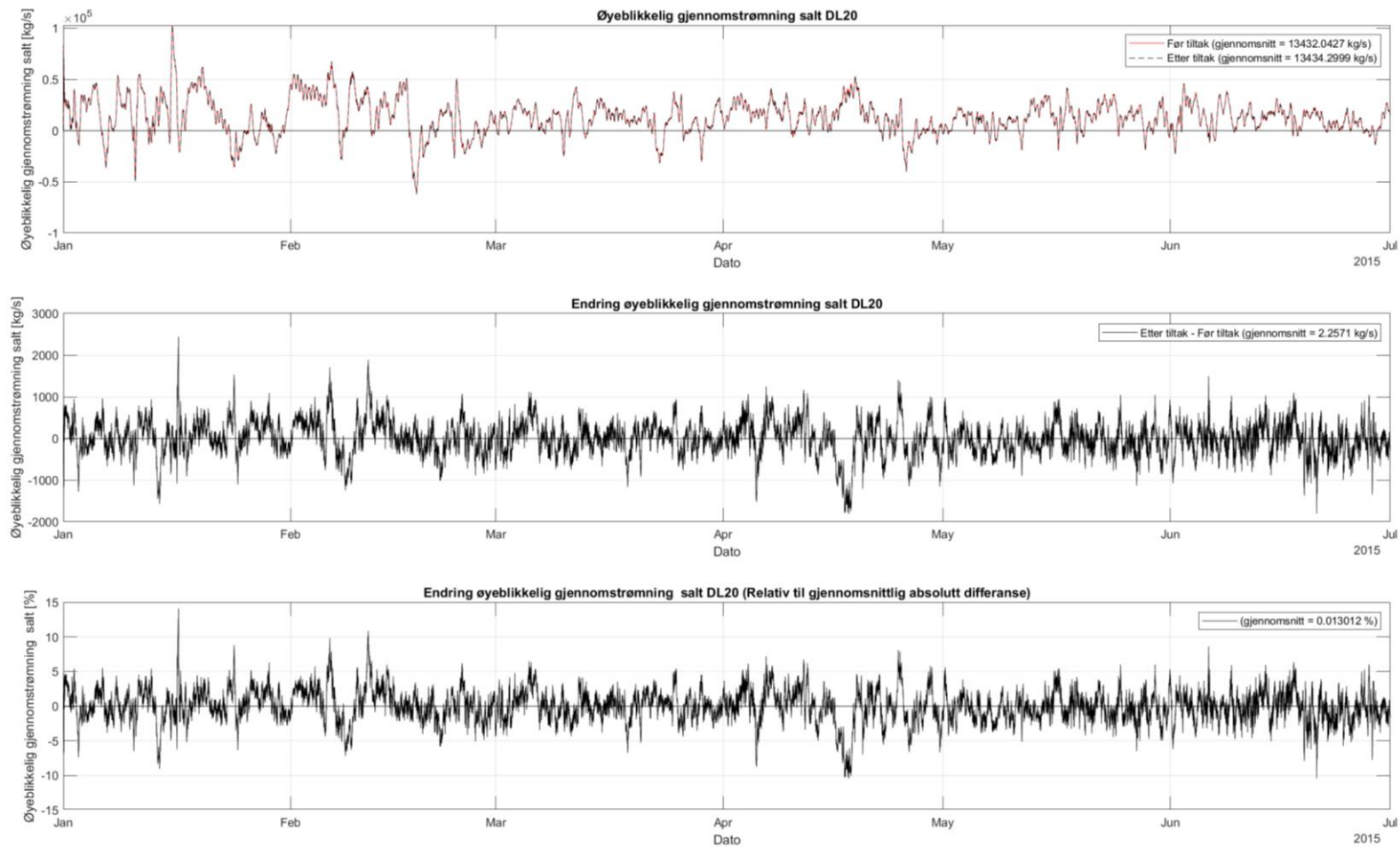
Figur A- 11 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning salt for DL18. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



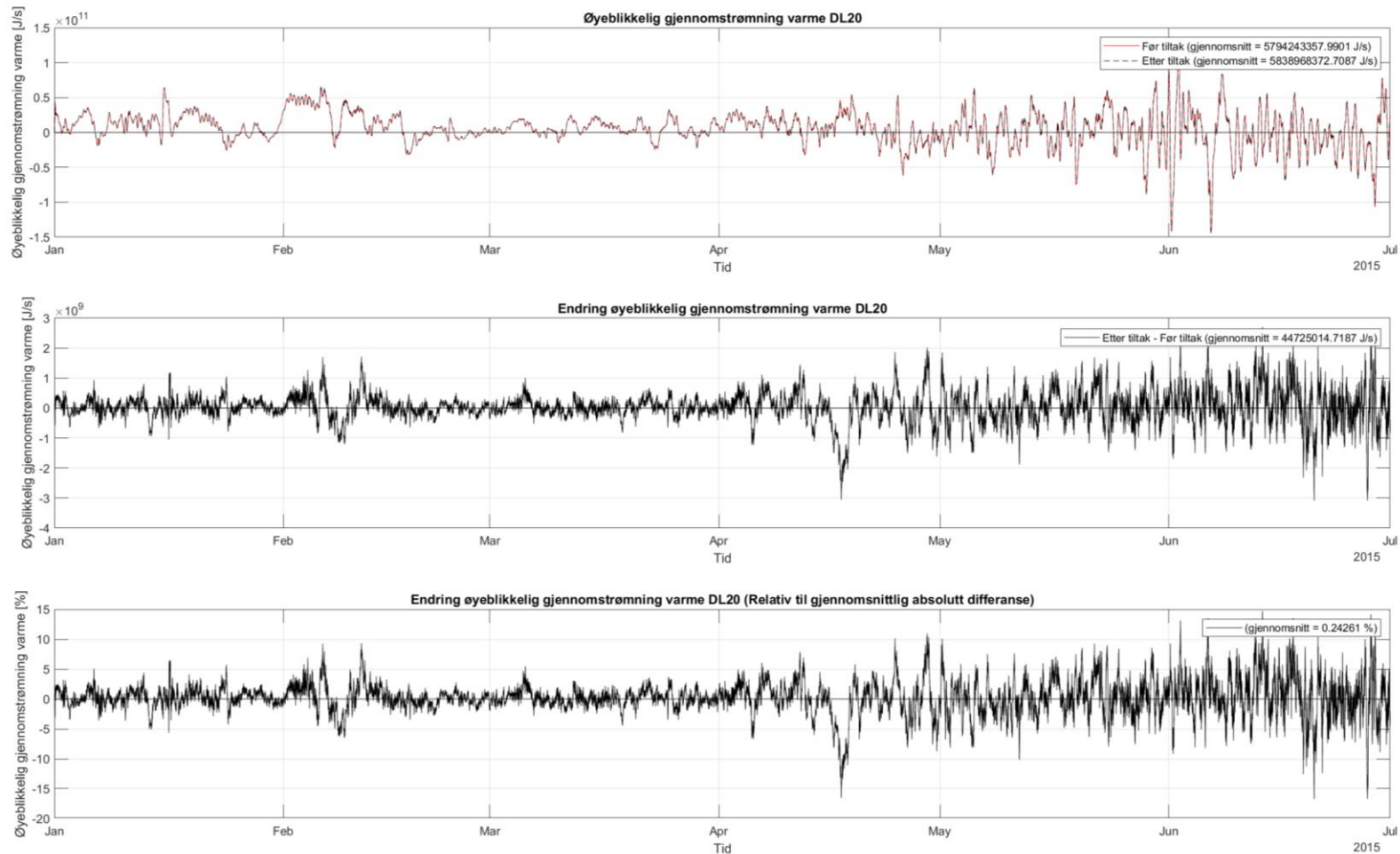
Figur A-12 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning varme for DL18. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



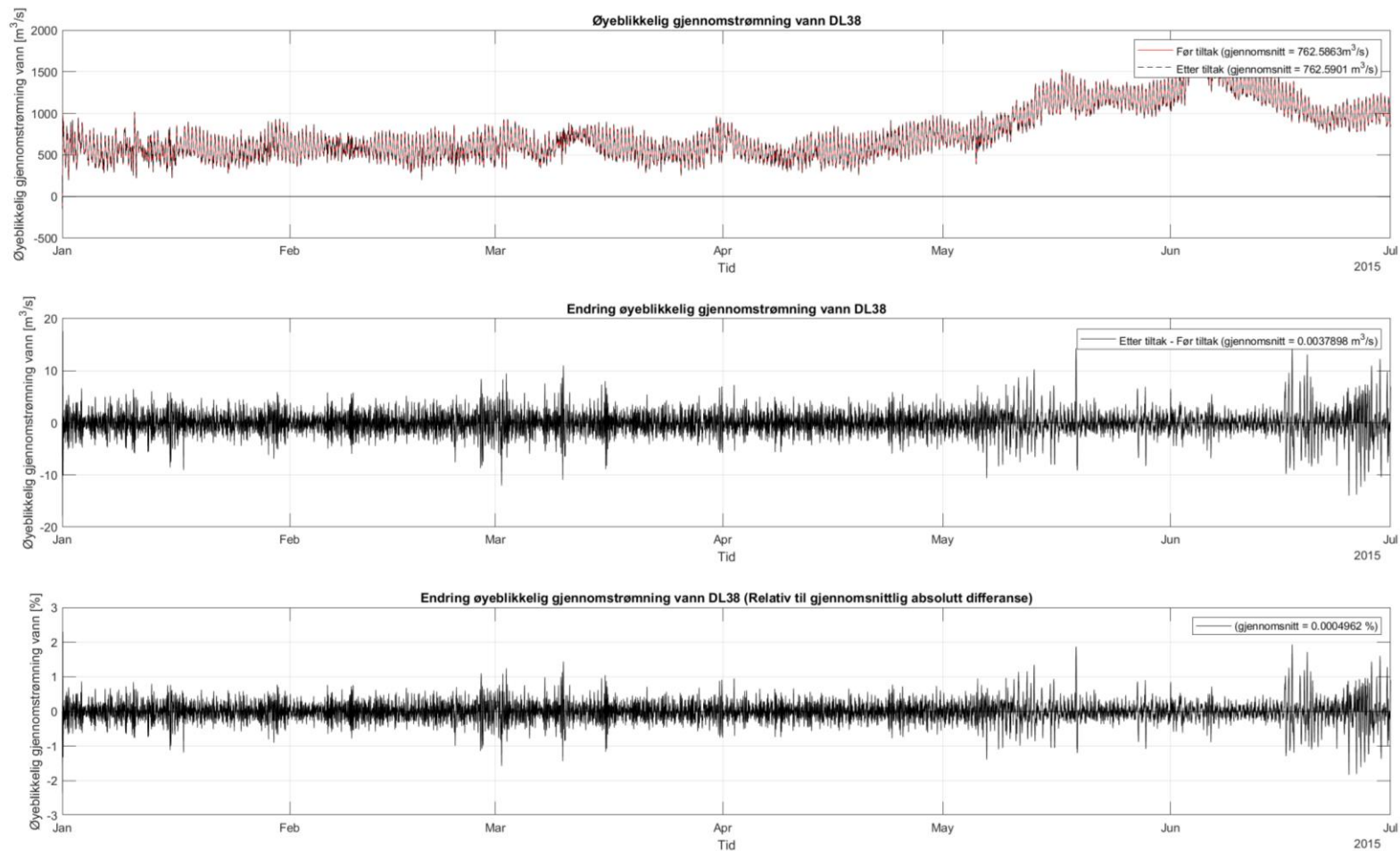
Figur A- 13 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning vann for DL20. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



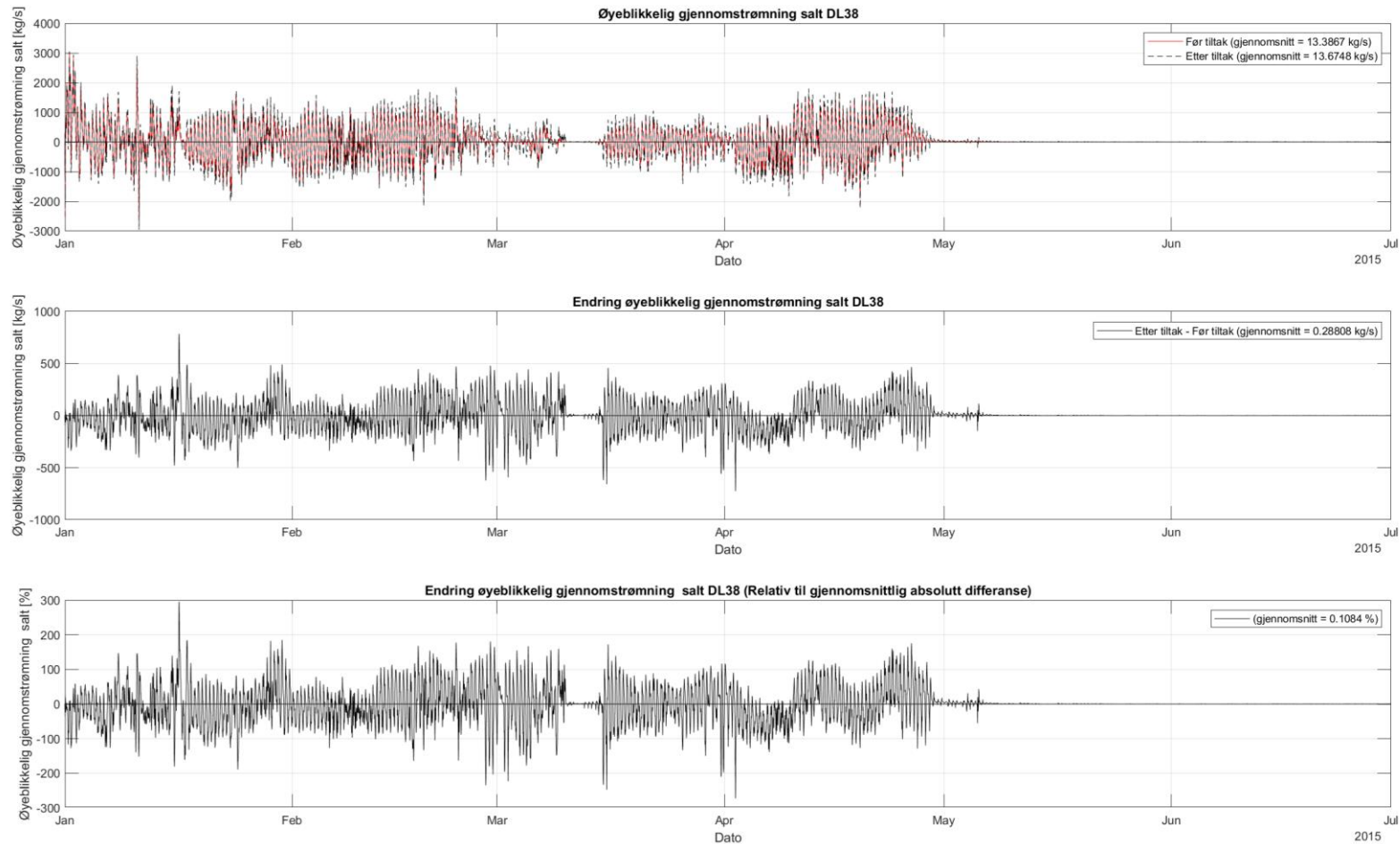
Figur A- 14 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning salt for DL20. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



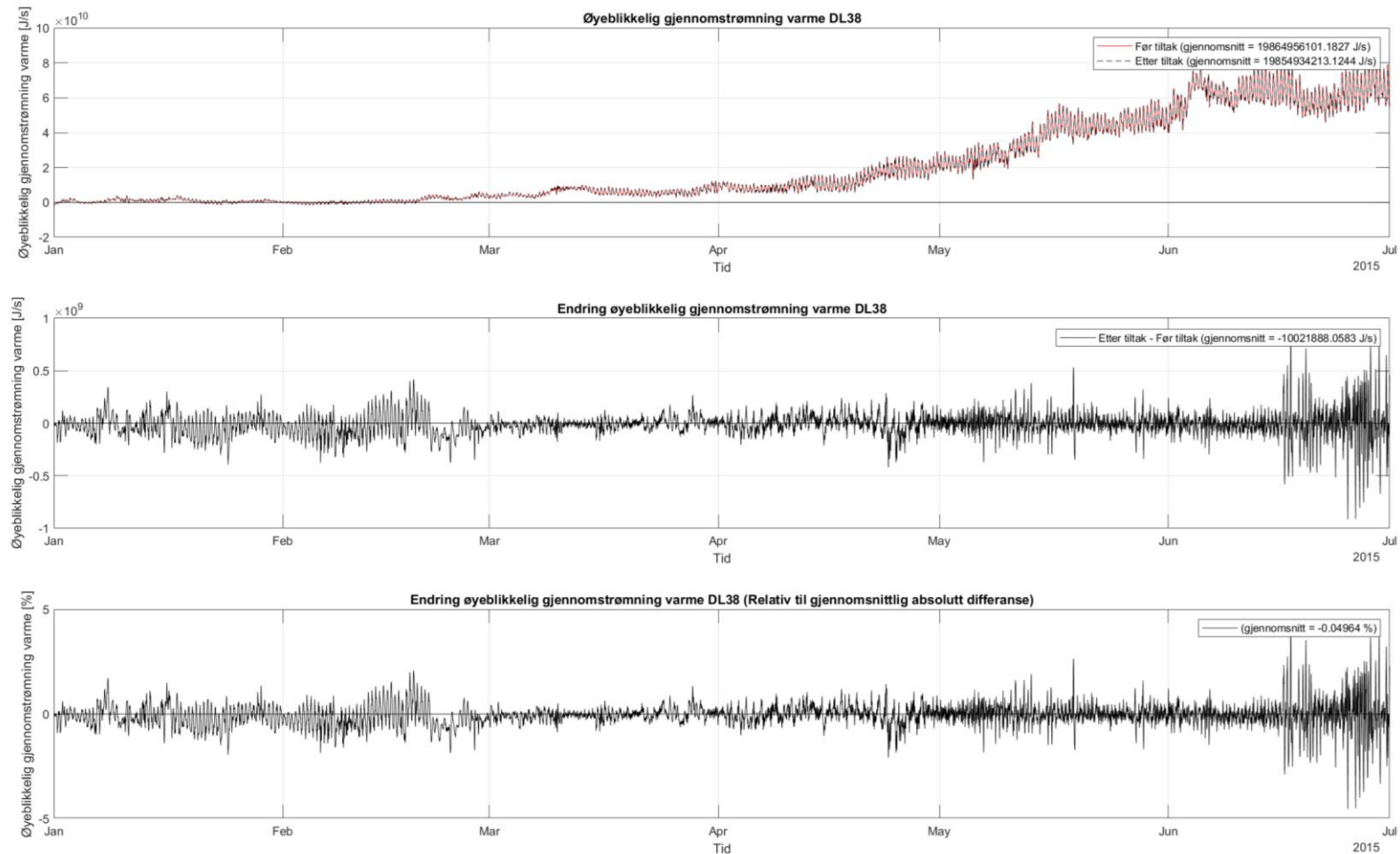
Figur A- 15 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning varme for DL20. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



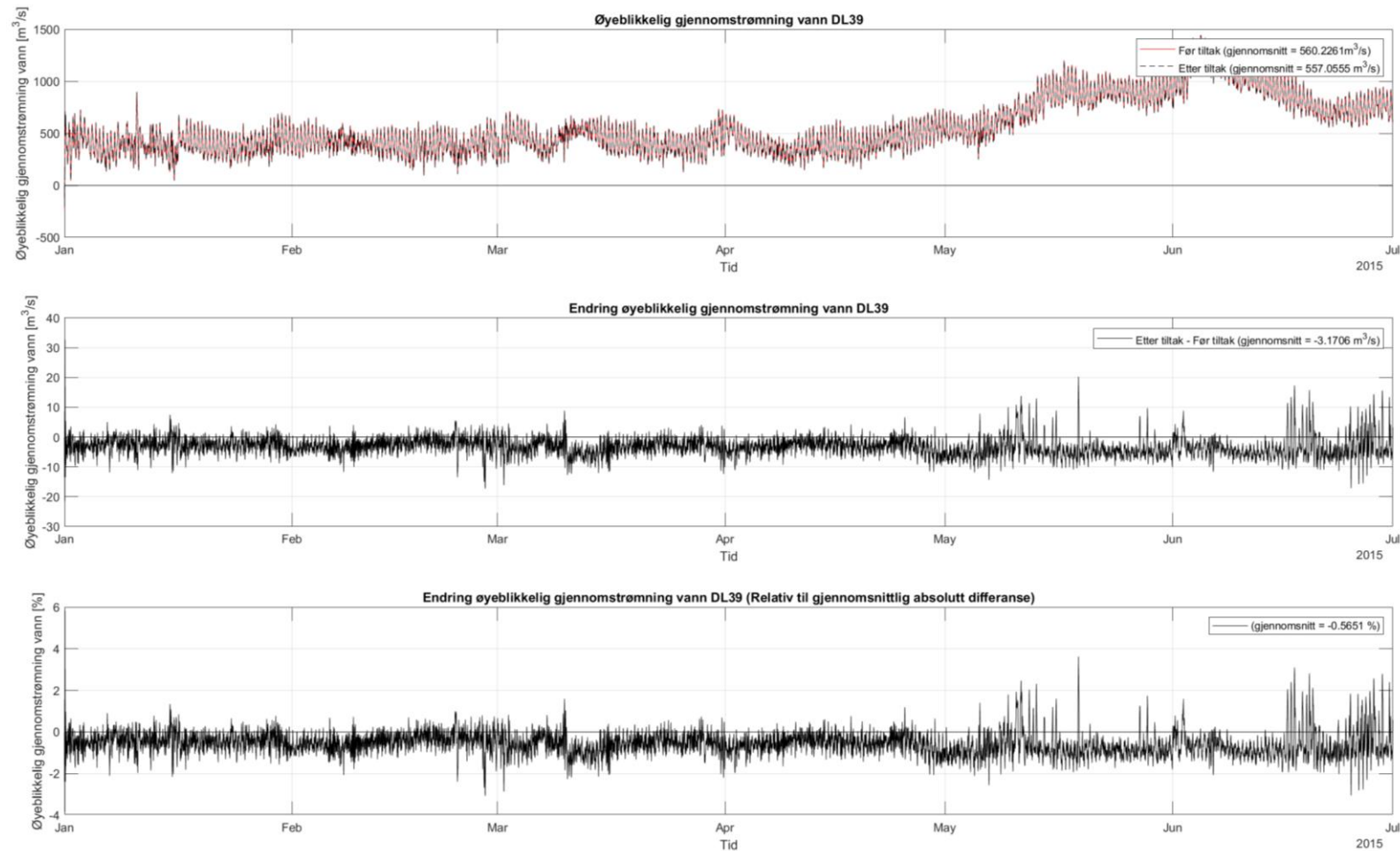
Figur A- 16 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning vann for DL38. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann for før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



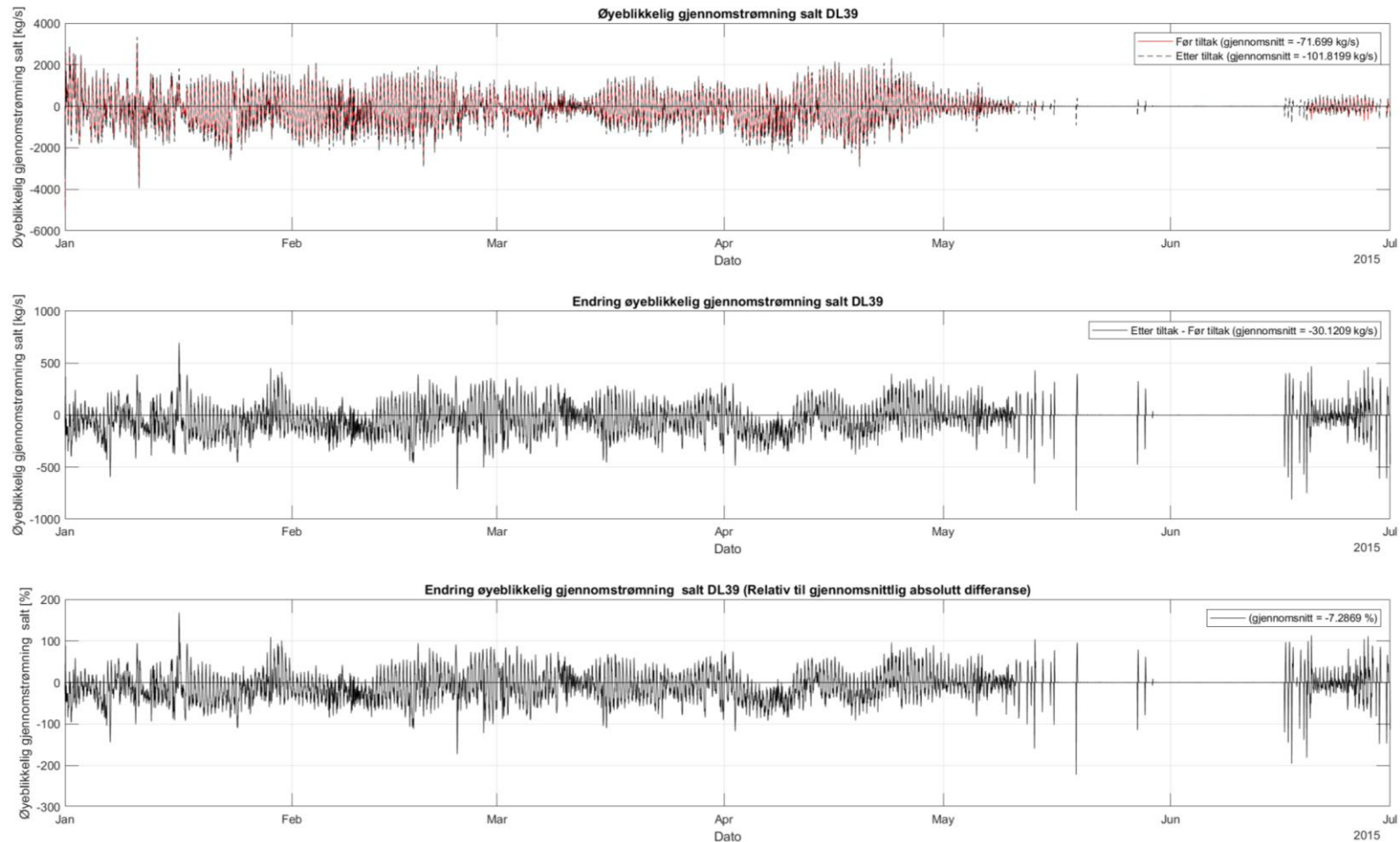
Figur A-17 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning salt for DL38. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert øpe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert øpe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert øpe i høyre hjørne



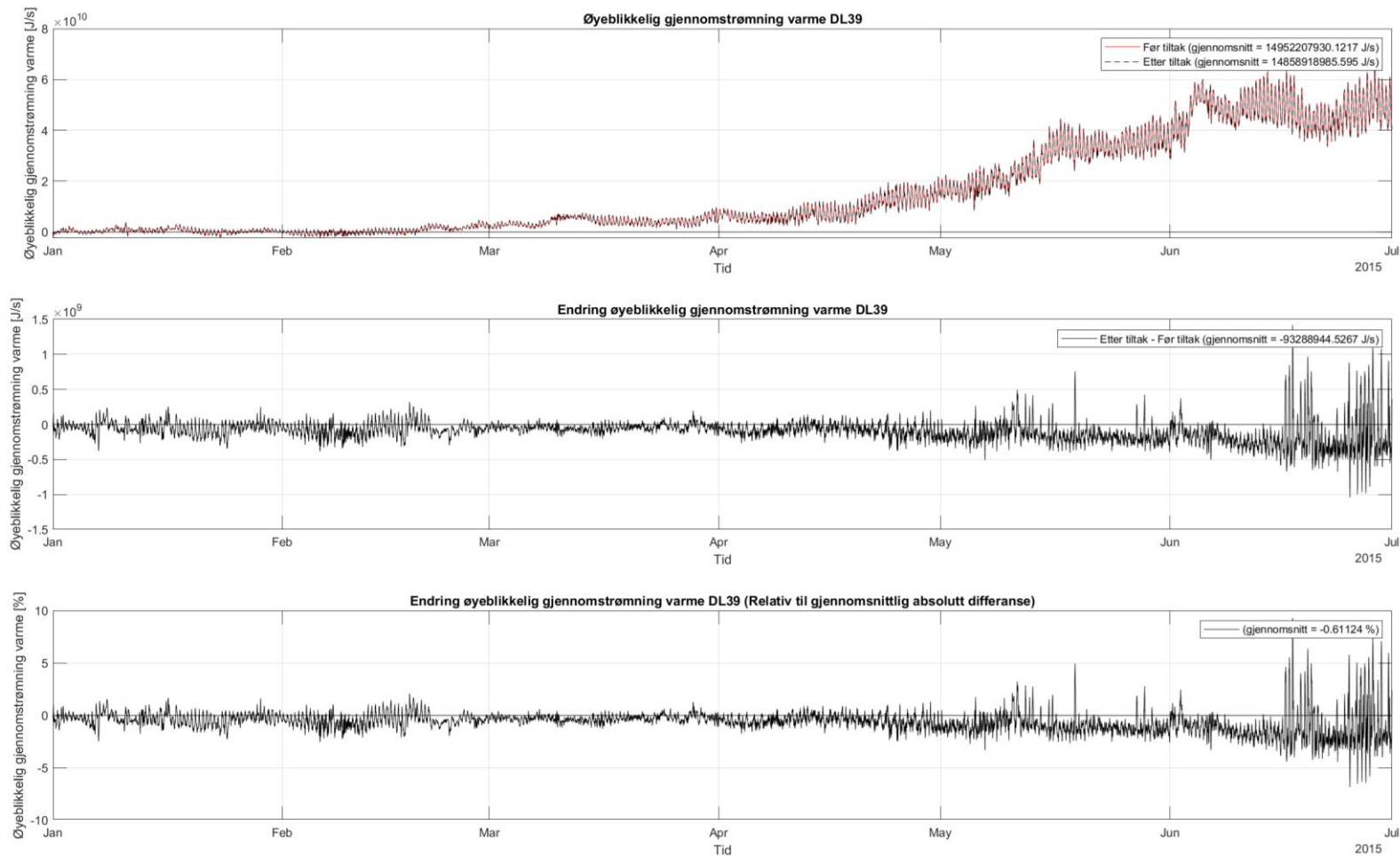
Figur A- 18 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning varme for DL38. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



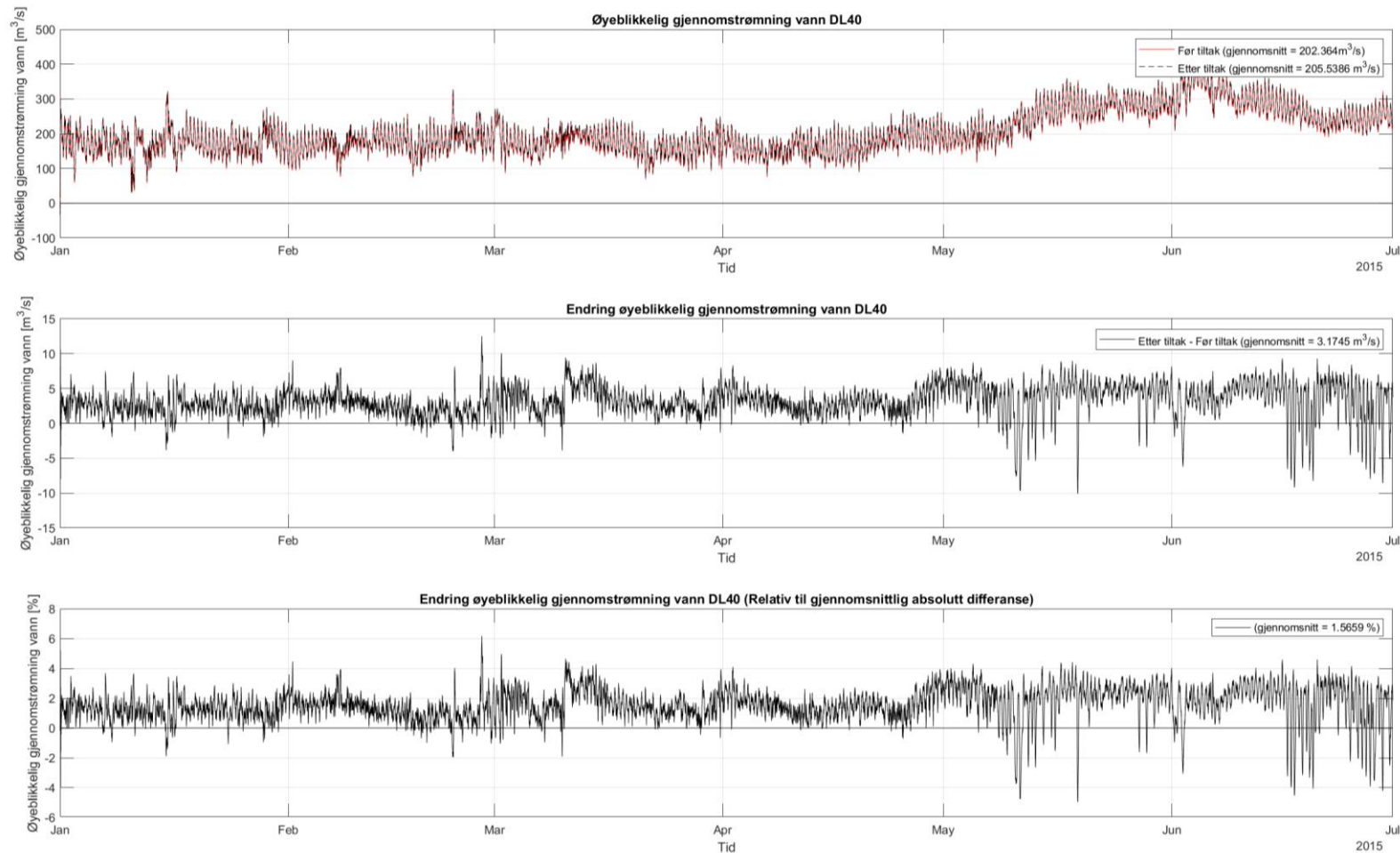
Figur A- 19 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning vann for DL39. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



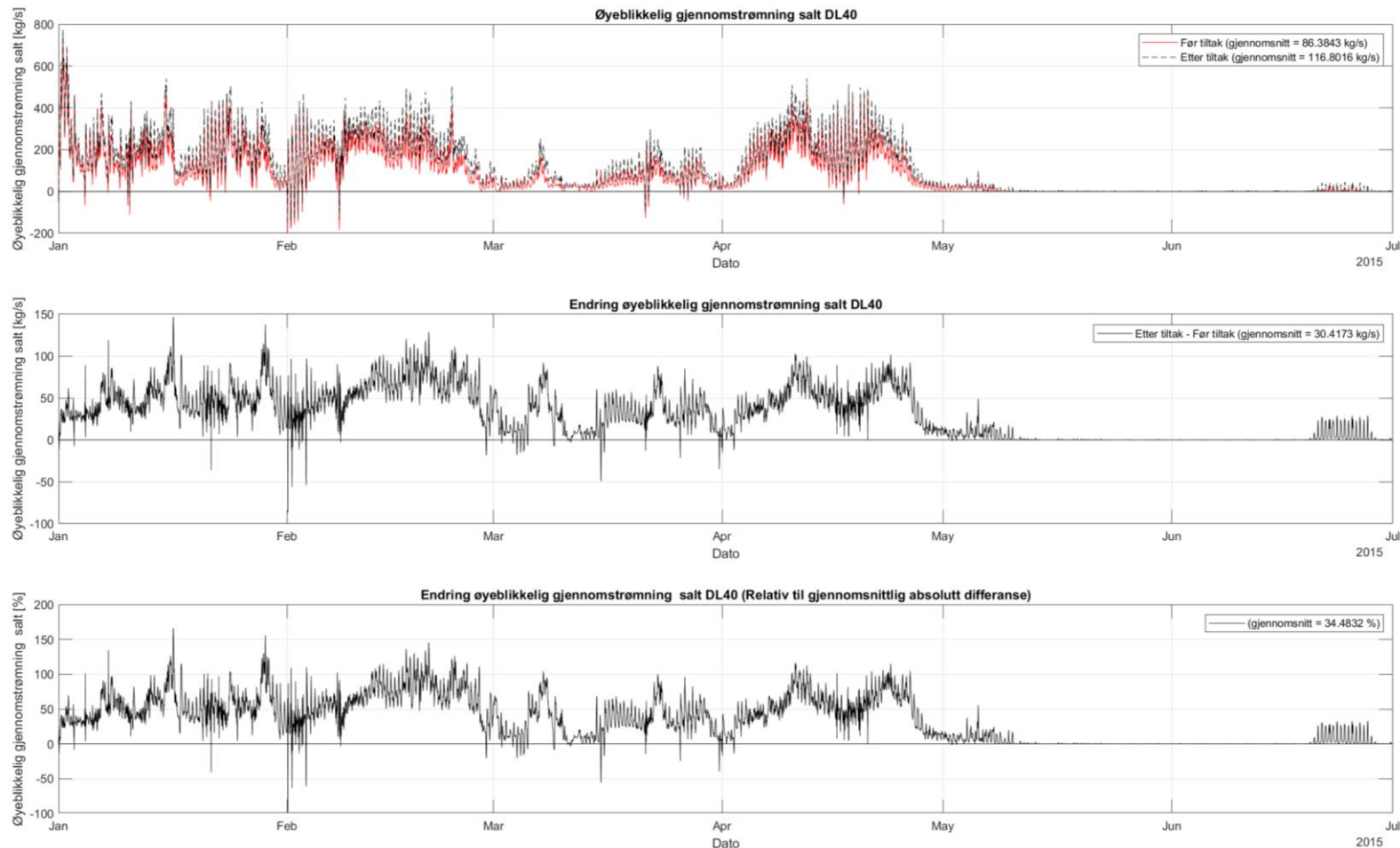
Figur A-20 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning salt for DL39. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



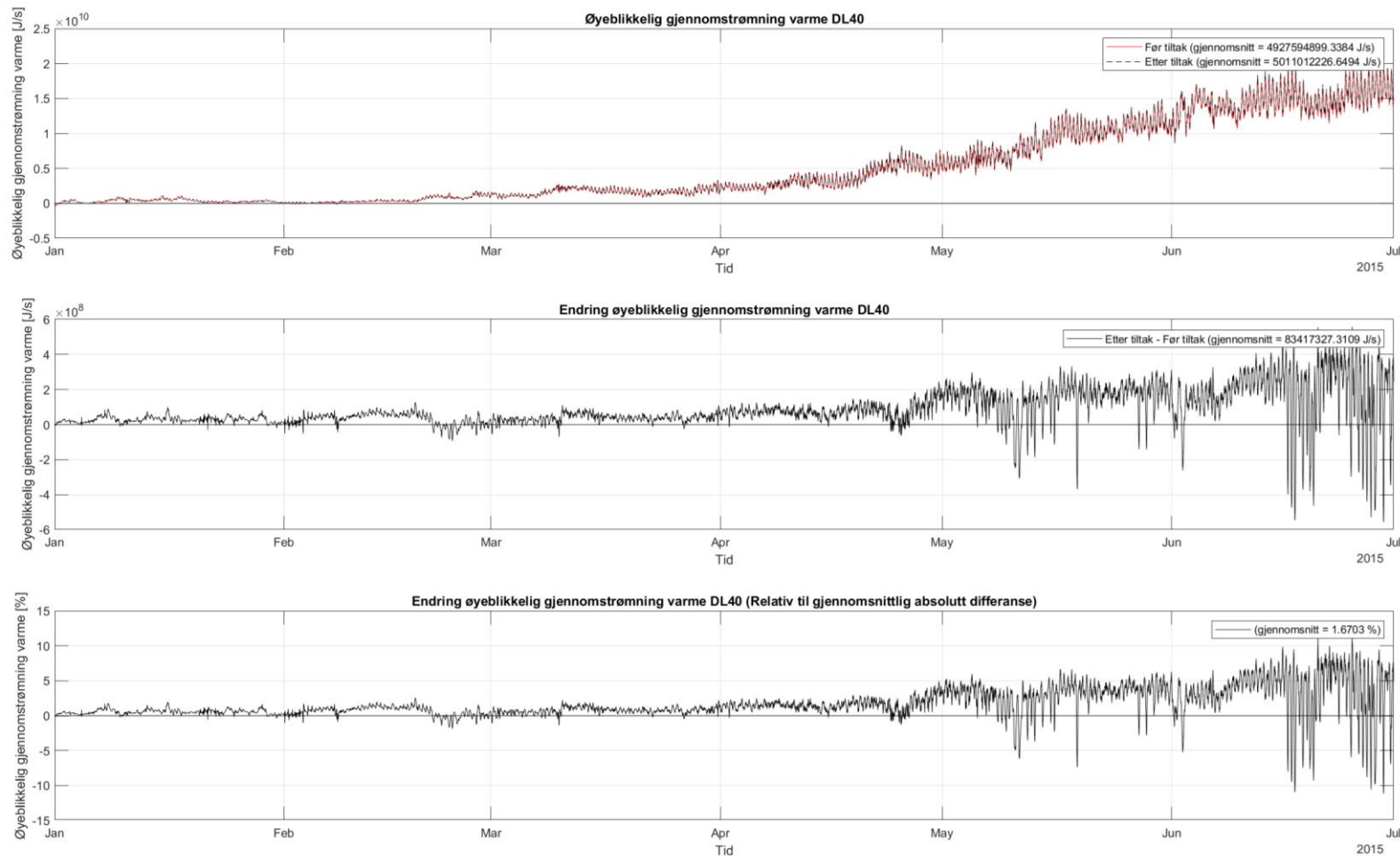
Figur A- 21 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning varme for DL39. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



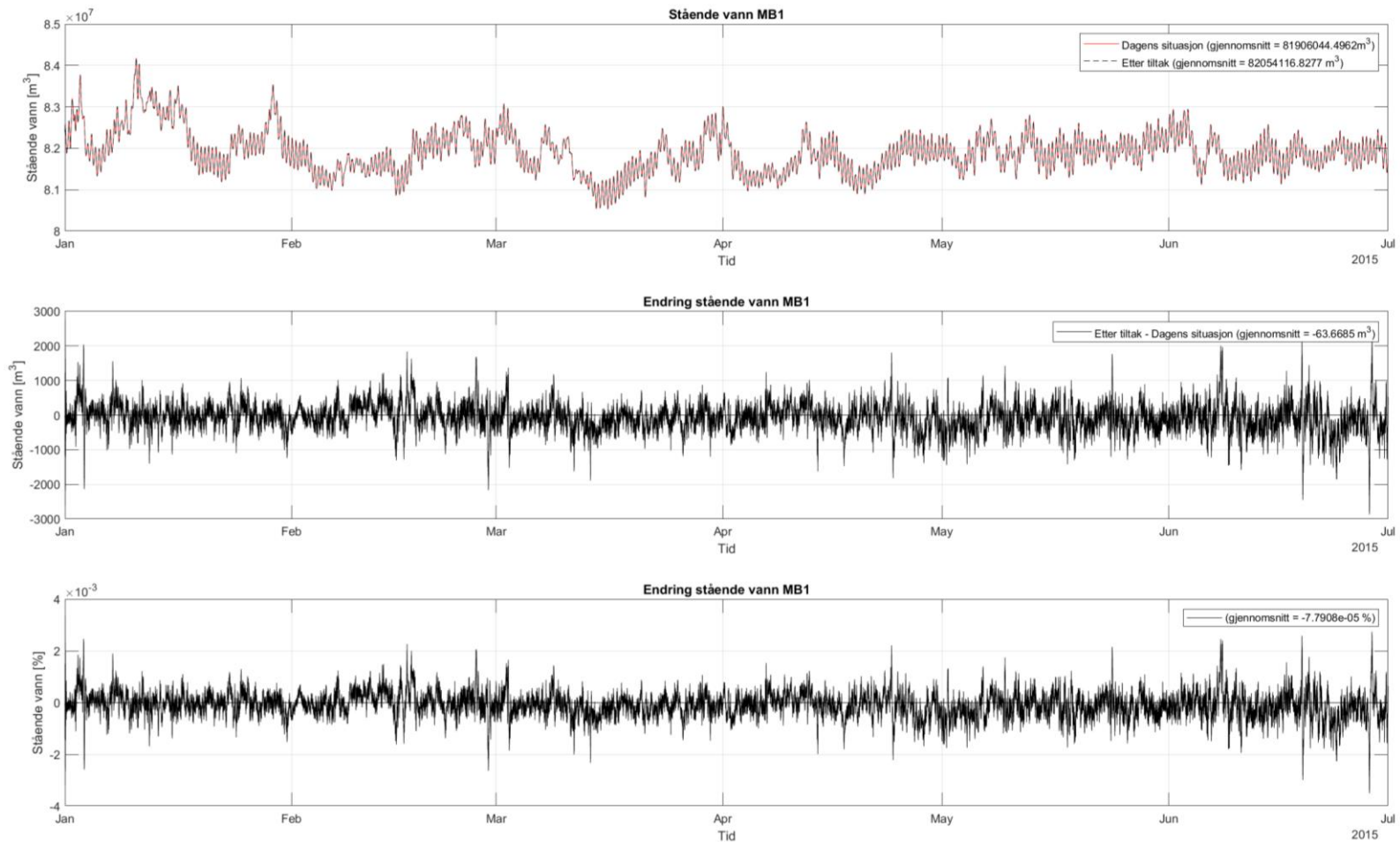
Figur A- 22 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning vann for DL40. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



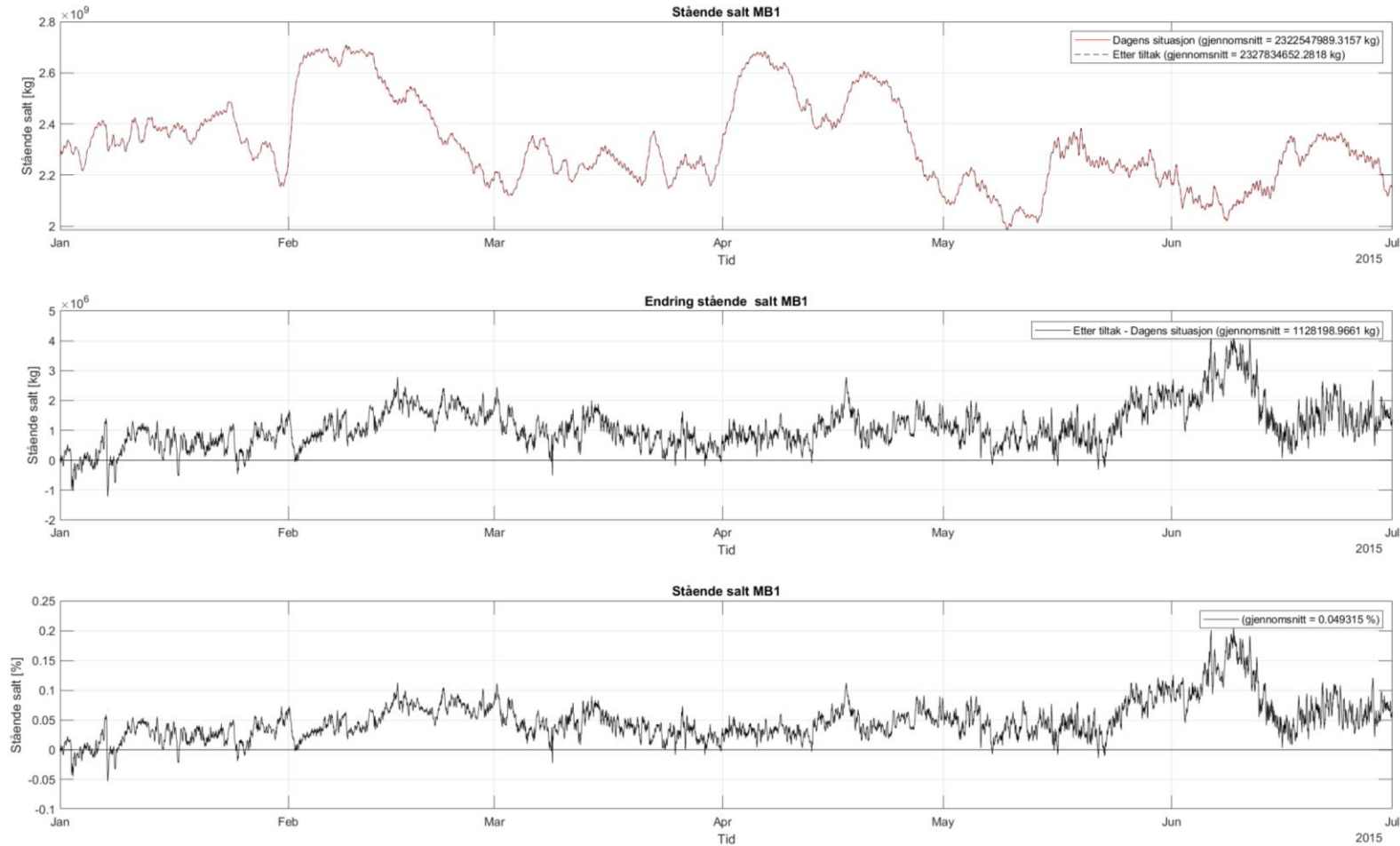
Figur A-23 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning salt for DL40. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



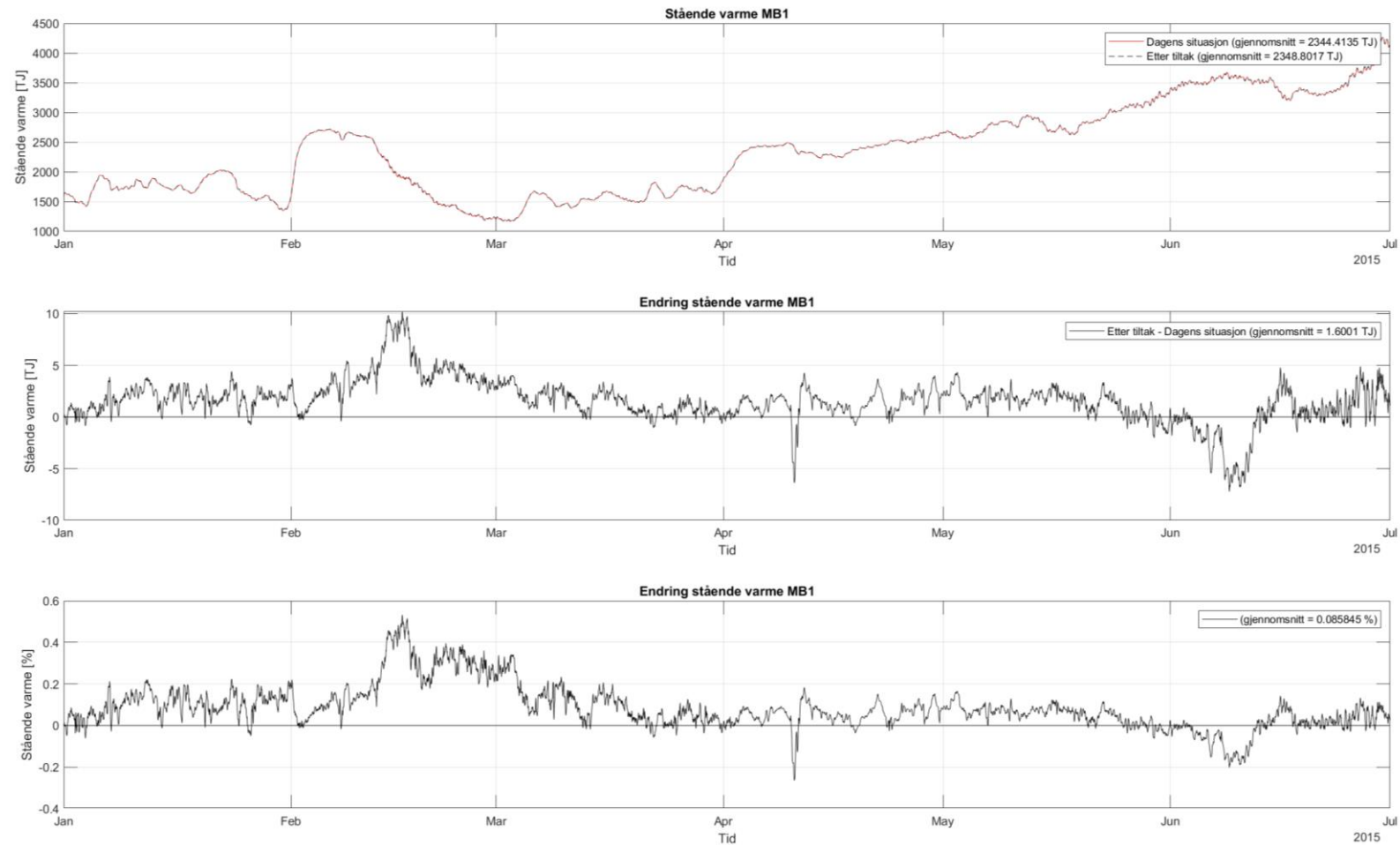
Figur A- 24 Inn- og utstrømningslinje for gjennomstrømning varme for DL40. Den øverste figuren viser øyeblikkelig gjennomstrømning for vann for før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige gjennomstrømningen presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i gjennomstrømningen er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i øyeblikkelig gjennomstrømning (etter tiltak minus før tiltak), denne er presentert i prosent og er relativ til gjennomsnittlig absolutt differanse, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



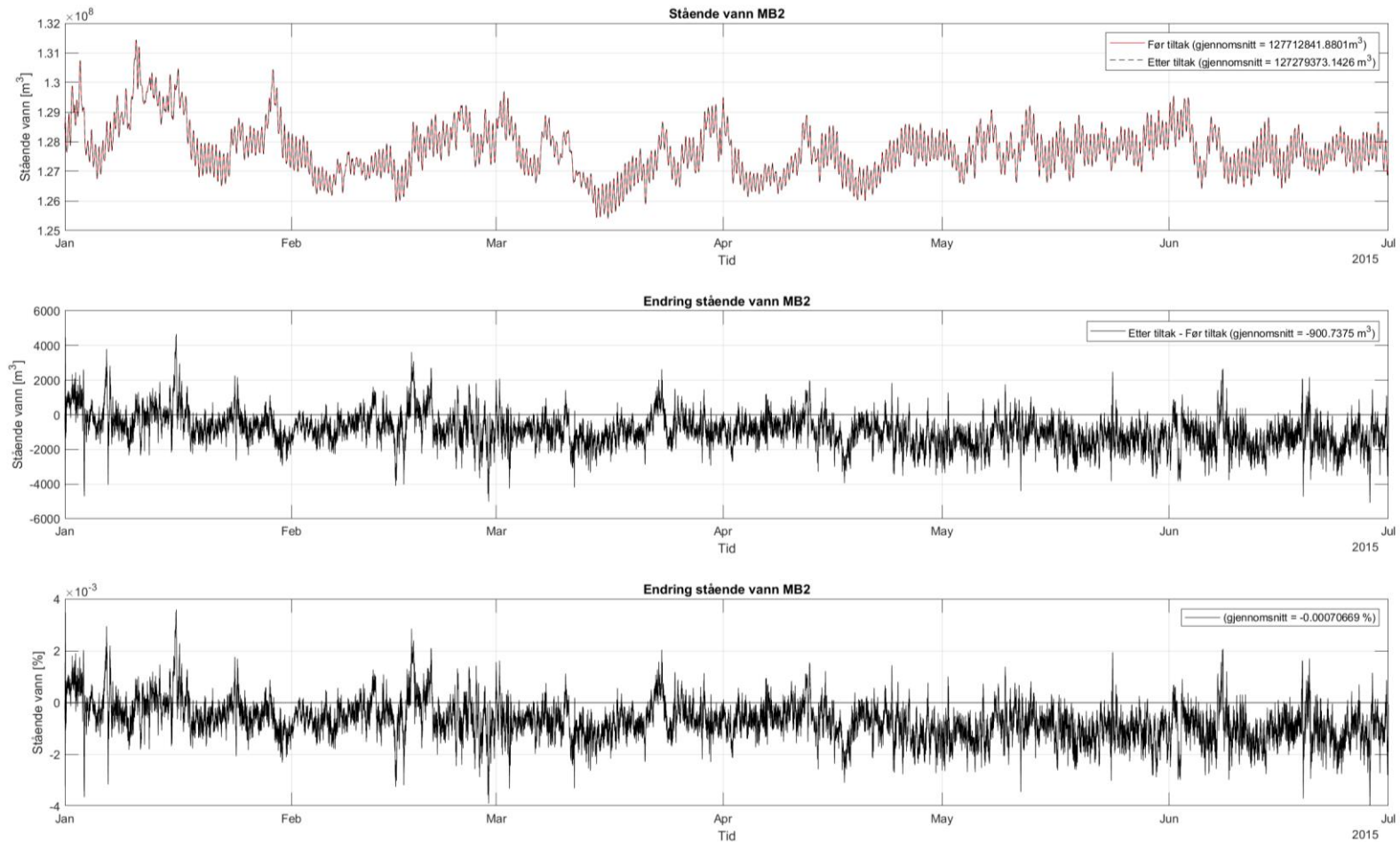
Figur A- 25 Massebudsjett for stående vann for MB1. Den øverste figuren viser stående vann for før tiltak og etter tiltak, her er også det gjennomsnittlige stående vannet i MB1 presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i stående vann (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i stående vann er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i stående vann (etter tiltak minus før tiltak), her presentert i prosent, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



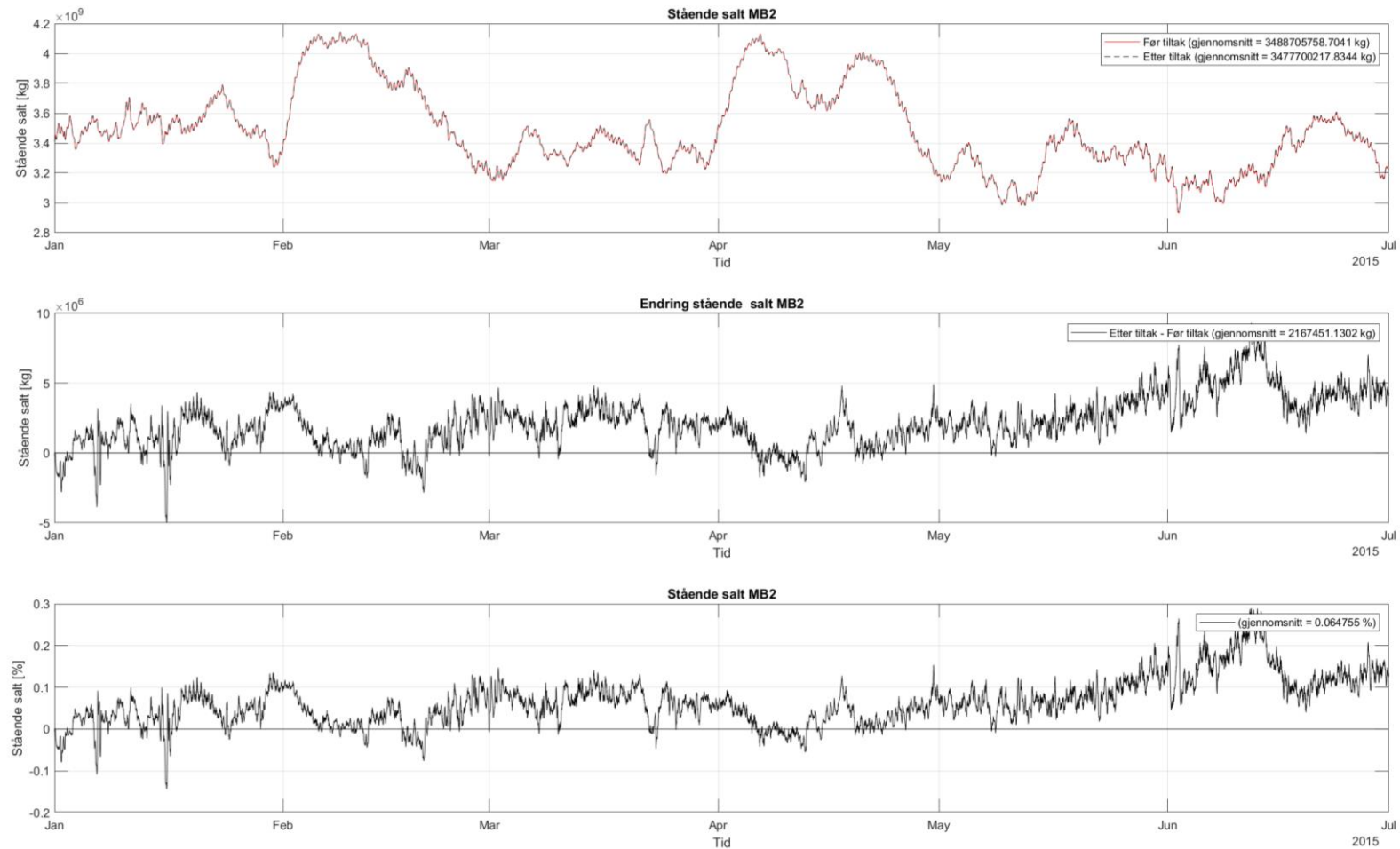
Figur A- 26 Massebudsjett for stående salt for MB1. Den øverste figuren viser stående salt for før tiltak og etter tiltak, her er også det gjennomsnittlige stående saltet i MB1 presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i stående salt (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i stående salt er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i stående salt (etter tiltak minus før tiltak), her presentert i prosent, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



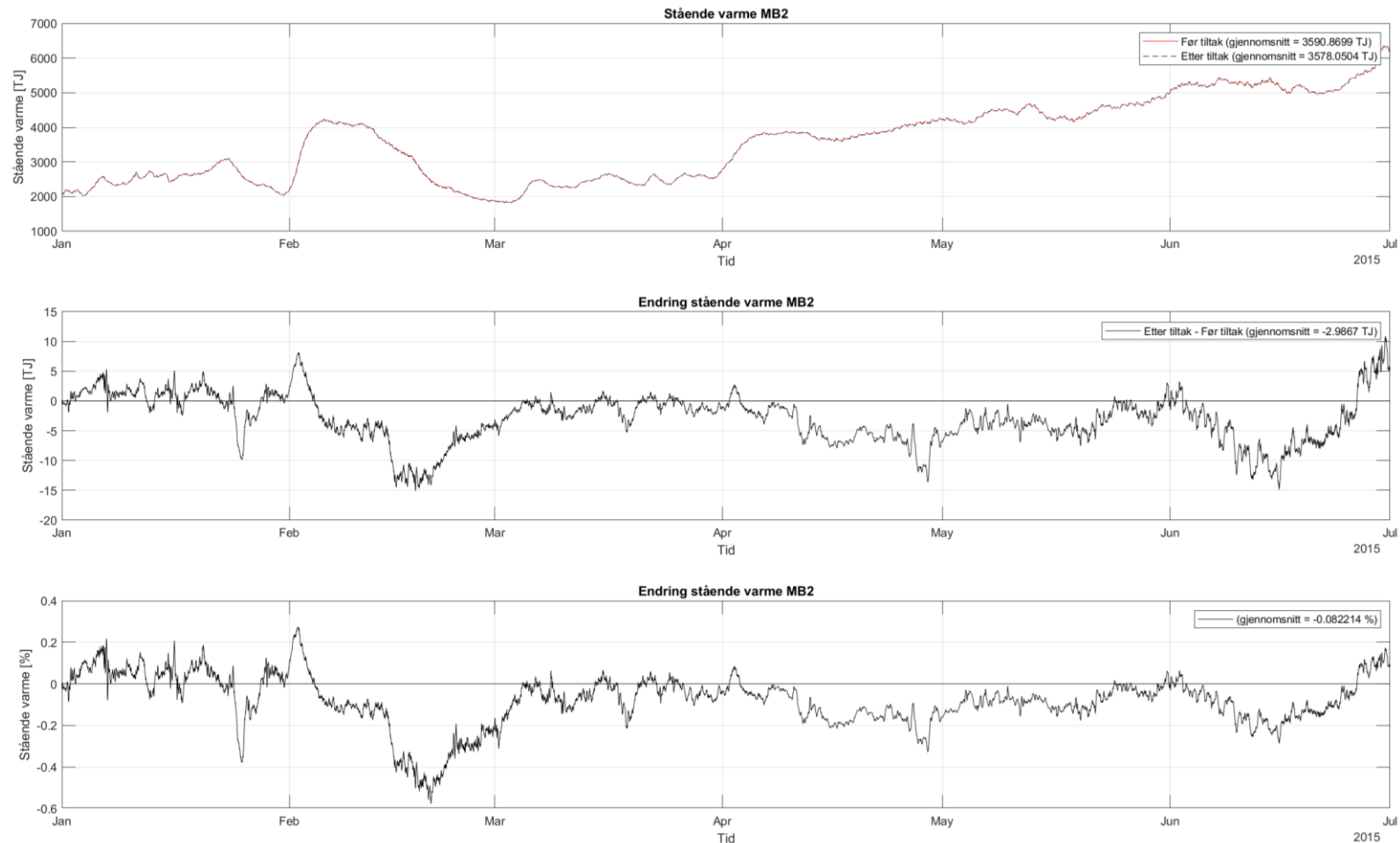
Figur A-27 Massebudsjett for stående varme for MB1. Den øverste figuren viser stående varme for før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige stående varmen i MB1 presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i stående varme (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i stående varme er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i stående varme (etter tiltak minus før tiltak), her presentert i prosent, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



Figur A- 28 Massebudsjett for stående vann for MB2. Den øverste figuren viser stående vann for før tiltak og etter tiltak, her er også det gjennomsnittlige stående vannet i MB2 presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i stående vann (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i stående vann er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i stående vann (etter tiltak minus før tiltak), her presentert i prosent, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



Figur A- 29 Massebudsjett for stående salt for MB2. Den øverste figuren viser stående salt for før tiltak og etter tiltak, her er også det gjennomsnittlige stående saltet i MB2 presentert oppe i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i stående salt (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i stående salt er presentert oppe i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i stående salt (etter tiltak minus før tiltak), her presentert i prosent, gjennomsnittet er presentert oppe i høyre hjørne



Figur A-30 Massebudsjett for stående varme for MB2. Den øverste figuren viser stående varme for før tiltak og etter tiltak, her er også den gjennomsnittlige stående varmen i MB2 presentert opp i høyre hjørne. Den midterste figuren viser endringen i stående varme (etter tiltak minus før tiltak), gjennomsnittlige endring i stående varme er presentert opp i høyre hjørne. Den nederste figuren viser også endringen i stående varme (etter tiltak minus før tiltak), her presentert i prosent, gjennomsnittet er presentert opp i høyre hjørne

Denne siden er blank med hensikt



Om DNV GL

DNV GL er et internasjonalt selskap innen kvalitetssikring og risikohåndtering. Siden 1864 har vårt formål vært å sikre liv, verdier og miljøet. Vi bistår våre kunder med å forbedre deres virksomhet på en sikker og bærekraftig måte.

Vi leverer klassifisering, sertifisering, teknisk risiko- og pålitelighetsanalyse sammen med programvare, datahåndtering og uavhengig ekspertrådgivning til maritim sektor, til olje- og gass-sektoren, og til energibedrifter. Med 80,000 bedriftskunder på tvers av alle industrisektorer er vi også verdensledende innen sertifisering av ledelsessystemer.

Med høyt utdannede ansatte i 100 land, jobber vi sammen med våre kunder om å gjøre verden sikrere, smartere og grønnere.