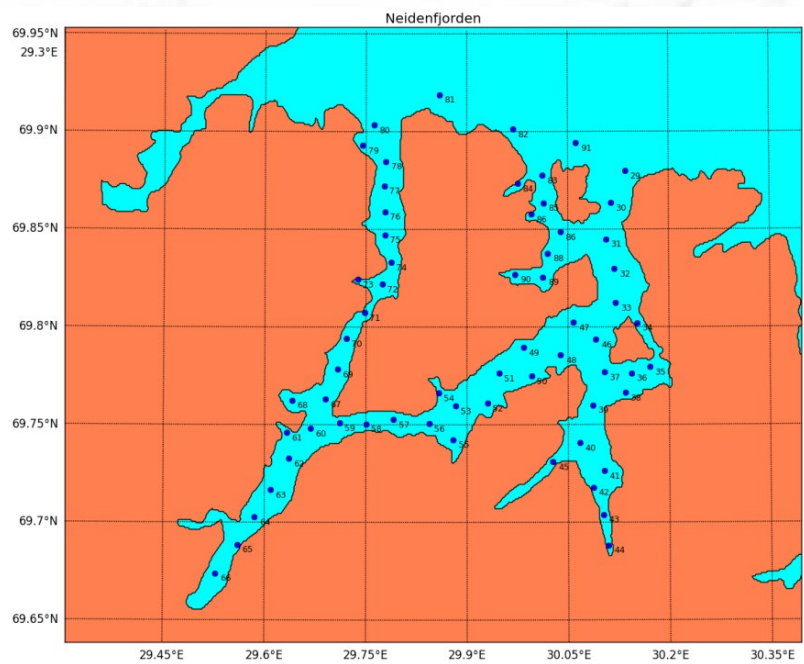


Kartlegging av gytefelt for torsk i Bøkfjorden, Korsfjorden, Neidenfjorden og Kjøfjorden, 2014



This page is intentionally left blank

Forside: Øverst: Kart som viser lokalisering av de 63 stasjoner for innsamling av torskeegg.
Nederst: Torsk. Foto: Lars Olav Sparboe, Akvaplan-niva

Akvaplan-niva AS

Rådgivning og forskning innen miljø og akvakultur

Org.nr: NO 937 375 158 MVA

Framsenteret

9296 Tromsø

Tlf: 77 75 03 00, Fax: 77 75 03 01

www.akvaplan.niva.no

**Rapporttittel / Report title****Kartlegging av gytefelt i Bøkfjorden, Korsfjorden, Neidenfjorden og Kjøfjorden, 2014****Forfatter(e) / Author(s)**

Guttorm N. Christensen

Frank Gaardsted

Tore Hattermann

Eli Børve

Anne Tårånd Aasen

Jenny Bytingsvik

Geir A. Dahl-Hansen

Hans Kristian Djuve

Øyvind Leikvin

Helena Falk

Akvaplan-niva rapport nr / report no

6390 - 03

Dato / Date

14.01.2015

Antall sider / No. of pages

51

Distribusjon / Distribution

Offentlig

Oppdragsgiver / Client

Syd-Varanger Gruve AS

Oppdragsg. referanse / Client's reference

Harald Martinsen

Sammendrag / Summary

Torsk er uten sammenligning den viktigste kommersielle fiskearten i Nord-Norge og gyteområder betraktes som viktige ressurser i forvaltningen av arten. Flere større utbyggingsprosjekter samt økt deponering av gruveavgang er planlagt i Kirkenes området. Tidligere kartlegginger av gytefelt for kysttorsk i området er gjort gjennom intervju av fiskere. Resultatene viste at det var få gyteområder for torsk i Bøkfjorden, Neidenfjord og Korsfjorden. I foreliggende grunnlagsundersøkelse er det gjort en detaljert kartlegging av gytefelt gjennom feltundersøkelser. I 2014 ble det gjennomført tre prøvetakinger på 63 stasjoner. Det ble påvist lave tettheter av torskkeegg på alle stasjoner. De høyeste tetthetene ble påvist i de ytre delene av Kjøfjorden og de laveste i Bøkfjorden, Neidenfjorden og Korsfjorden. Disse resultatene er sammenlignbare med resultatene fra intervjuer gjort med fiskere i området. Det ble videre gjennomført oseanografiske undersøkelser og modellering for å beregne spredningsmønstre for torskkeegg i Bøkfjorden / Neidenfjorden i perioden april-mai 2014. Resultatene viste at torskkeegg sannsynligvis raskt vil spres til andre områder enn der de ble gytt. Etter 15 dagers simulert drift hadde mange egg fra den vestlige delen av fjordsystemet spredd seg til de østlige delene og en stor andel av egg fra den østlige delen hadde drevet ut i havet og fortsatt langs kysten mot øst. Modellresultatene antyder at eggene i stor grad spres og at det dermed bare er en liten andel som blir igjen på selve gytefeltet. Gytefelt for fisk betraktes som viktige ressursområder, og i "Nasjonalt program for kartlegging av naturtyper" er "gytefelt for fisk" en egen naturtype som skal verdisettes. På bakgrunn av de lave tetthetene av torskkeegg og den hurtige spredningen av de gytte eggene klassifiseres de undersøkte fjordene som kategori C områder som tilsvarer den laveste kategorien med tanke på verdi, dvs. at gyteområdet kun anses å kunne ha en lokal verdi.

Prosjektleder / Project manager

Guttorm N. Christensen

Kvalitetskontroll / Quality control

Anita Evenset

© 2014 Akvaplan-niva AS. Rapporten kan kun kopieres i sin helhet. Kopiering av deler av rapporten (tekstutsnitt, figurer, tabeller, konklusjoner, osv.) eller gjengivelse på annen måte, er kun tillatt etter skriftlig samtykke fra Akvaplan-niva AS.

INNHOLDSFORTEGNELSE

1 INNLEDNING	3
1.1 Bakgrunn og områdebeskrivelse	3
1.2 Generelt om kysttorsk.....	5
2 MATERIALE OG METODER - EGGINNSAMLING	6
2.1 Metode for kartlegging av gytefelt	6
2.2 Stasjonsnett.....	6
2.3 Innsamling og bearbeiding av fiskeegg.....	8
3 RESULTATER FELTUNDERSØKELSENE	9
4 STRØM- OG SPREDNINGSMODELLERING.....	11
4.1 Metodikk.....	11
4.1.1 Strømmodellering	11
4.1.2 Måleprogram	14
4.1.3 Spredningssimulering	17
4.2 Sammenligning av resultater fra strømmodell og måleprogram (validering)	18
4.2.1 Vannmasser	18
4.2.2 Strøm	20
4.3 Spredningssimuleringer	23
4.4 Oppsummering – strømmodellering og spredningsmodellering	27
5 SAMMENDRAG OG KONKLUSJON	28
6 REFERANSER.....	29
7 VEDLEGG	30
7.1 Stasjoner Kirkenes gytekartlegging 2014.....	30
7.2 Strømmålingsdata	32

Forord

Torsk (*Gadus morhua*) er uten sammenligning den viktigste kommersielle fiskearten i Nord-Norge. Torsken opptrer både som kysttorsk og som skrei (nordøstarktisk torsk). I Nord-Norge lever kysttorsken i all hovedsak i fjorder og kystnære strøk hele livet og har sine gyteområder her.

Det er planlagt flere utbyggingsprosjekter i tilknytning til Bøkfjorden, Neidenfjorden og Korsfjorden i Sør-Varanger kommune i Finnmark. Sydvaranger Gruve har i samråd med Sør-Varanger kommune igangsatt et planarbeid, utarbeidelse av områderegulering med konsekvensutredning, med mål om å fordoble produksjonen av magnetittkonsentrat i gruve som er plassert sør for Kirkenes fra 2,8 til 5,6 millioner tonn/år. Avgangsmassen går i dag ut i Bøkfjorden utenfor Kirkenes. Det er i tillegg aktuelt med industri- og terminalområder på minst fire steder på Tømmerneset. Dette gjelder Pulkneset (Kirkenes Maritime Park), Ganneset, Leirpollen, samt Kirkenes Industrial Logistics Area (KILA) («Slambanken»).

Tidligere kartlegginger av gytefelt for kysttorsk i området er gjort gjennom intervju av fiskere. Resultatene viste at det var få gyteområder for torsk i Bøkfjorden, Neidenfjord og Korsfjorden. Intervjuer beregnes som fase 1 for de standardiserte metodene for gytefeltkartlegging. Fase 2 består av feltundersøkelser der det innhentes informasjon om mengden torskegg i vannmassene og bruk av oseaniske modeller for å beregne hvordan eggene drifter etter gyting.

I Bøkfjorden, Neidenfjord, Kjølffjorden og Korsfjorden var det ønskelig å gjøre en verifisering av informasjonen innhentet fra de tidligere intervjuundersøkelsene gjennom feltundersøkelser for å øke kunnskapsgrunnlaget om gyteområder for kysttorsk i området. Slik kunnskap vil være nyttig i kommende konsekvensutredninger samt som referanse for fremtidige undersøkelser. Hovedmålsettingen med prosjektet som rapporteres her har vært å stedfeste og verdisette gytefelt for kysttorsk i området. Verifiseringen (kartleggingen) av gytefelt er gjennomført i henhold til nasjonale metoder utarbeidet gjennom "Nasjonalt Program for kartlegging av marine naturtyper".

Prosjektet er gjennomført av Akvaplan-niva. Vi takker Sigurd Heiberg Espeland og Ragni Olsson ved Havforskningsinstituttet for et godt samarbeid. En spesiell takk går til skipper Yngve Pedersen fra Bugøynes på sjarken Tiira.

Tromsø 14.01.2015



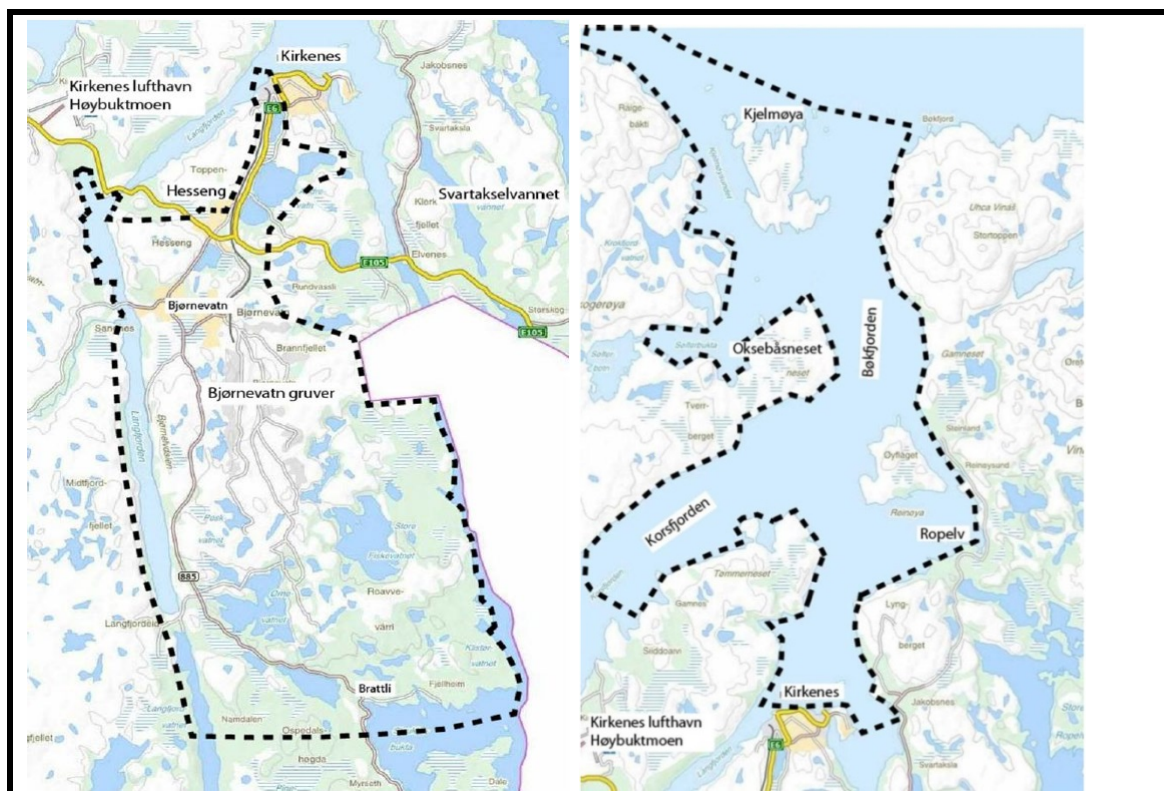
Guttorm N. Christensen
Prosjektleder

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og områdebeskrivelse

Sydvaranger Gruve har i samråd med Sør-Varanger kommune igangsatt et planarbeid, utarbeidelse av områderegulering med konsekvensutredning (KU), med det mål å fordoble magnetittkonsentratproduksjonen fra 2,8 til 5,6 millioner tonn/år. Avgangsmassen går i dag ut i Bøkfjorden utenfor Kirkenes. Utslippsgrensen for eksisterende tillatelse er 4 millioner tonn avgangsmasse/år. Ved fordobling av produksjonen kan avgangsmassen komme opp i 8 millioner tonn avgangsmasse/år, men tiltak som er under vurdering kan komme til å redusere denne mengden. Det er i tillegg aktuelt med industri- og terminalområder på minst fire steder på Tømmerneset. Det gjelder Pulkneset, Gamneset, Leirpollen, samt Kirkenes Industrial Logistics Area (KILA) («Slambanken»).

På bakgrunn av den økte aktiviteten i området har blant annet Miljøverndepartementet, Fylkesmannen i Finnmark og Norges Fiskarlag gitt uttalelser om at konsekvensutredningen må belyse konsekvensene av ikke-akutte, operasjonelle driftsutslipp for anadrome fiskearter. Det må også gjennomføres en kartlegging av vandringsmønster, vandringshastighet og oppholdstid i fjordsystemet for utvandrende smolt, vinterstøinger og innvandrende laks. I tillegg var det ønsket kartlegging av de mest aktuelle, marine fiskearter og krepsdyr, samt gyte- og oppvekstområder for de samme artene innenfor fjordsystemet som berøres av ikke-akutte, operasjonelle driftsutslipp.



Figur 1. Kart som viser Planområde 1 – Bjørnevattområdet og planområde 2 – Bøkfjorden/ ytre deler av Korsfjorden.

Hovedmålsettingen med prosjektet som rapporteres her har vært å stedfeste og verdisette gytefelt for kysttorsk i området som kan bli påvirket av de menneskelige aktivitetene i Bøkfjorden og Korsfjorden.

Gytefelt betegnes som viktige ressursområder for reproduksjon hos fisk. Disse ressursområdene kartlegges gjennom standardiserte metoder som er utarbeidet gjennom "Nasjonalt Program for kartlegging av marine naturtyper" (Espeland *et al.* 2013).

På 2000-tallet begynte Fiskeridirektoratet med kartlegging av fiskebestander og fiskeriaktivitet langs med kysten av Finnmark. Kartleggingen gjennomføres i to faser. I første fase (Fase I) gjøres det intervjuer med standardiserte intervjueskjemaer i samarbeid med lokale fiskere (*Veiledning for innsamling av kystnære fiskedata*). I den andre fasen (Fase II) av kartleggingen gjennomføres såkalte egg- og larveundersøkelser der antatte gyteområder verifiseres gjennom feltundersøkelser.

Gyte- og oppvekstområder for fisk i Bøkfjorden, Korsfjorden, Neidenfjorden og Kjølffjorden, samt områdene utenfor er kartlagt av Fiskeridirektoratet med bakgrunn i *Veiledning for innsamling av kystnære fiskedata* (kun fase I). Det er gjennomført intervjuer av lokale fiskere, både aktive og pensjonerte og informasjonen finnes i dag tilgjengelig på Fiskeridirektoratets kartverktøy. Denne kartleggingen viser få kjente gyteområder for torsk i planområdet (Figur 1, Figur 2). Det er kun registrert gyteområder for torsk i utkanten av Bøkfjorden (Loddeneset og Omnan). Disse er markert med røde sirkler i Figur 2.

Det er registrert gyteområder for rognkjeks, lodde og kongekrabbe på et flertall plasser i de ytre delene av Bøkfjorden samt i andre deler av området (vist med brune streker i Figur 2).



Figur 2. Gyteområder i og utenfor Bøkfjorden/Korsfjorden (rød sirkel – torsk, brune streker – rognkjeks, lodde og kongekrabbe).

1.2 Generelt om kysttorsk

- Torsk: *Gadus morhua*
- Gyte-, oppvekst- og beiteområde: Fjorder og kystnære områder
- Gytetidspunkt: mars – april
- Antall egg: førstegangsgytere 400 000 egg, de eldste 15 millioner egg.
- Næringsvalg: Alt fra bunndyr og planktoniske krepsdyr til fisk (Havforskningsinstituttet)

Torsk er uten sammenligning den viktigste kommersielle fiskearten i marint miljø i Nord-Norge. Torsken opptrer både som kysttorsk og som skrei (nordøstarktisk torsk). Kysttorsken lever i all hovedsak i fjorder og kystnære strøk hele livet, mens skreien benytter Barentshavet som beiteområde og har Lofoten og Vesterålen som sine viktigste gyteområder.

Bestanden av norsk kysttorsk avtok kontinuerlig fra 1994 til 2003, og har siden vært på om lag samme lave nivå (Havforskningsinstituttet). I den norske Artsdatabanken var kysttorsk kategorisert som sterkt truet (EN) fra 2006 - 2010 på grunn av dårlig bestandsutvikling, svak rekruttering og yngelproduksjon, samt mangel på effektive reguleringsiltak. I den oppdaterte Rødlisten 2010 har man utelukkende basert seg på art og kysttorsken er ikke lenger oppført på listen over sterkt truede arter.

Kysttorsk finnes fra tarebeltet og ned mot dyp på 500 meter. Den blir kjønnsmoden i 3 – 6 års alder og gyter pelagisk på 50 – 150 meters dyp i de fleste større fjordsystemer, men også i samme områder på kysten som nordøstarktisk torsk.

Kysttorsken gyter normalt i perioden mars til mai. Torsk er såkalt porsjonsgyter, dvs. at et enkelt individ kan gyte flere ganger over en periode på mer enn en måned. De enkelte individene i et område vil starte gytingen på noe ulike tidspunkt så hele gyteperioden for en populasjon vil kunne strekke seg over flere måneder. Tidspunktet når gytingen starter og når den er på den mest intense (gytetopp) vil kunne variere fra år til år og er blant annet avhengig av temperatur.

Egg, larver og yngel lever pelagisk fram til bunnslåing om høsten på svært grunt vann (0 – 20 meter) og vandrer sjelden ned på dypere vann før den er 2 år gammel.

Kysttorsken er i hovedsak en bunnfisk, men kan også oppholde seg pelagisk i perioder når den beiter og gyter. Tareskog og ålegrassenger er viktige habitat for ung kysttorsk. Utbredelsen er fra innerst i fjorder og ut til Eggakanten. Merkeforsøk har vist at kysttorsk i fjorder er svært stasjonær og i liten grad foretar store vandringer. Kysttorsk er utbredt langs hele norskekysten.

Det kommersielle fisket etter norsk kysttorsk foregår vanligvis med passive redskaper som garn, line og juksa, men en del fanges også med snurrevad og trål.

2 Materiale og metoder - egginnsamling

2.1 Metode for kartlegging av gytefelt

Gytefelt betegnes som viktige ressursområder for reproduksjon hos fisk. Disse ressursområdene kartlegges gjennom standardiserte metoder som er utarbeidet gjennom "Nasjonalt Program for kartlegging av marine naturtyper" (Espeland *et al.* 2013). Gytefeltkartleggingen i Bøkfjorden, Neidenfjorden, Korsfjorden og Kjøfjorden ble kartlagt etter disse metodene. Dataene kan dermed om ønskelig benyttes av forvaltningen i det nasjonale programmet for kartlegging og overvåkning av marint biologisk mangfold. Dette programmet har som overordnet arbeidsmål å kartlegge utvalgte naturtyper etter DN-håndbok 19-2001 – revidert 2007 – "Kartlegging av marint biologisk mangfold". Programmet har til nå ikke gjennomført undersøkelser i Finnmark.

Detaljerte beskrivelser av metoder for kartlegging av gytefelt for torsk er beskrevet i Espeland *et al.* (2010) og i Espeland *et al.* (2013).

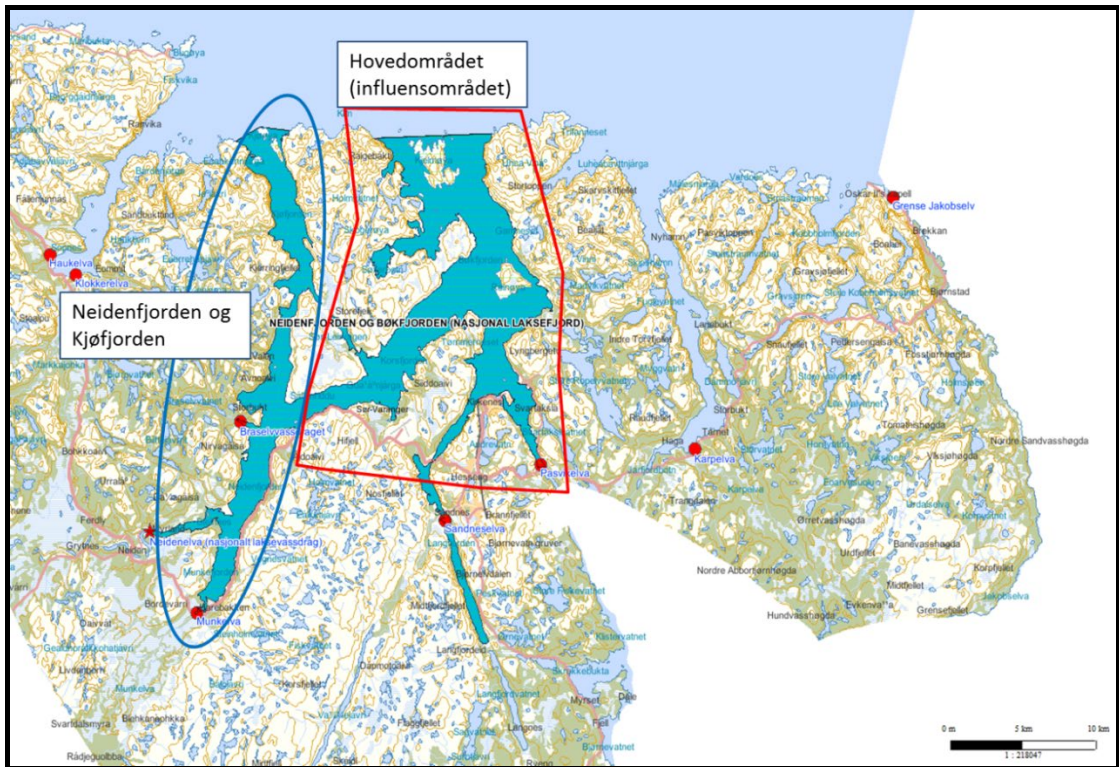
Kartlegging av gytefelt gjøres ved å samle inn nylig gytt torskkegg. Torsk fisk gyter i hovedsak i perioden mars til april. Innenfor denne perioden er det en gytetopp hvor det er størst gyteaktivitet. Gytetidspunkt kan variere med flere uker fra år til år, og er påvirket av fysiske forhold i sjøen (i hovedsak temperatur). Gytetidspunktet vil også variere fra område til område. For å kunne få et best mulig bilde av gyteaktiviteten i et område er det ønskelig å ta prøver i perioden med størst gyteaktivitet. Det er derfor nødvendig å gjennomføre flere innsamlinger gjennom gytesesongen for å øke sjansen for å treffe gytetoppen.

I tillegg til feltinnsamlinger av egg er det gjennomført oseanografiske undersøkelser og modellering for å beregne spredningsmønstre for torskkegg i Bøkfjorden/Neidenfjorden. Dette er viktig fordi graden av spredning fra et område er en av faktorene som tas med i vurderingen av områdets verdi som gytefelt. Områder der egg har en tendens til å bli værende er i utgangspunktet potensielt viktigere som gyteplasser enn områder som egg hurtig transporteres bort fra.

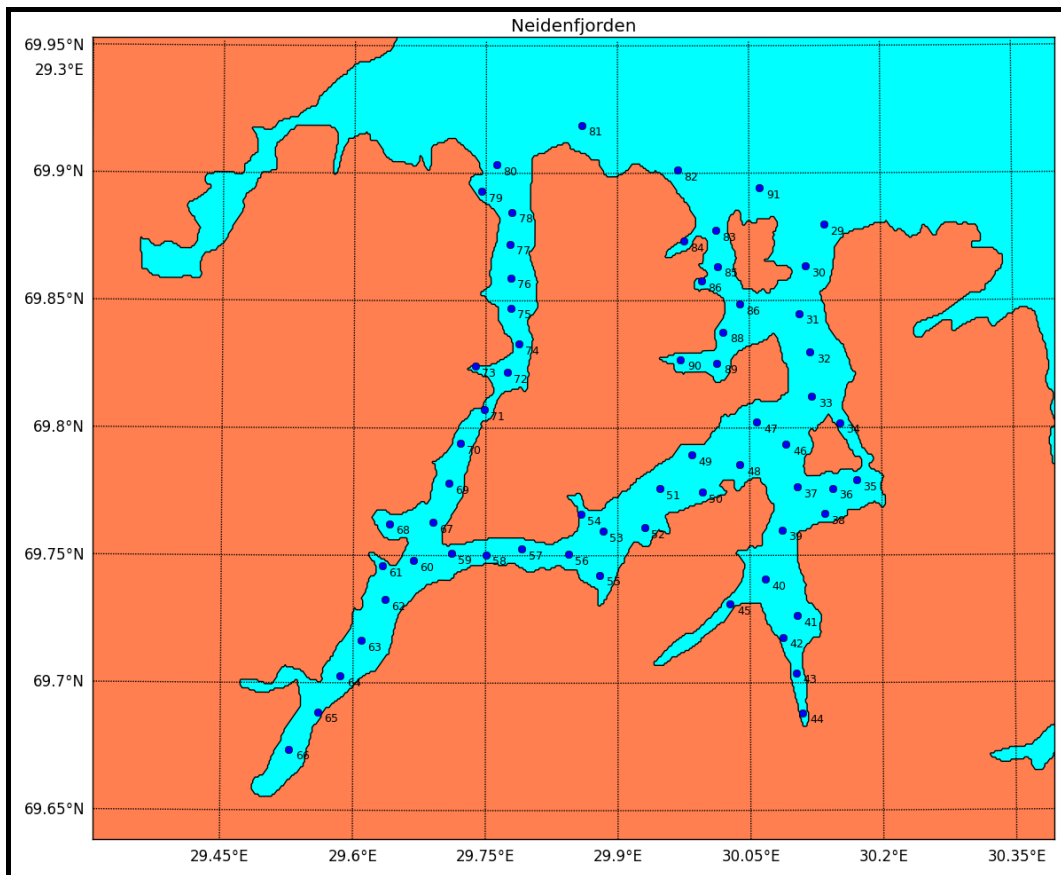
I "Nasjonalt program for kartlegging av naturtyper" er "gytefelt for fisk" en egen naturtype som skal verdisettes (DN-håndbok 19, 2001). Verdisettingen deles inn i tre kategorier: A – nasjonalt viktig, B – regionalt viktig og C - lokalt viktig. Kategori A er nasjonalt viktige områder og omfatter gytefelt for store bestander av kommersielt viktig fisk, som for eksempel gyteområdene for skrei i Lofoten. Kategori B er mindre, regionalt viktige områder, men med godt dokumenterte gytefelt. Kategori C er gytefelt av lokal betydning.

2.2 Stasjonsnett

Området der kartleggingen ble gjennomført er komplekst og består av flere store og små fjorder, samt dype bukter (Figur 3). Det ble etablert totalt 63 prøvetakingsstasjoner (Figur 4), i hovedsak i Bøkfjorden, Neidenfjorden, Korsfjorden, Sølfarbukta, Kjelmøysundet og Kjøfjorden. Stasjonsnettet ble utarbeidet av Havforskningsinstituttet etter samme metoder som benyttes i den nasjonale kartleggingen av gytefelt.



Figur 3. Oversiktskart som viser Bøkfjorden, Korsfjorden (innenfor røde streker, Neidenfjorden og Kjøfjorden (innenfor blå sirkel). Røde streker markerer også influensområdet for undersøkelsen.



Figur 4. Stasjonskart som viser samtlige 63 stasjoner som ble prøvetatt ved tre ulike perioder i 2014.

2.3 Innsamling og bearbeiding av fiskeegg

Innsamlingen av egg ble foretatt over tre runder med henholdsvis 11 og 8 dagers mellomrom (07.04.14 – 12.04.14, 23.04.14 – 27.04.14 og 05.05.14 – 10.05.14).

Innsamling ble gjennomført med en standardisert WP2-håv (diameter 56 cm og med maskevidde 500 μm) (Figur 5). Håven ble trukket med en hastighet på omtrent 0,5 meter per sekund fra 50 meter og opp til overflaten på alle stasjoner dypere enn 55 meter. På grunnere stasjoner ble håvtrekket justert etter dybden. Prøvene ble lagret kaldt i perioden fra prøvetakingen til ankomst ved felt-laboratorium på land. Innen noen timer etter at prøvene var tatt ble det gjennomført to sorteringer (I og II) Sortering I – der egg ble skilt fra plankton og Sortering II – der torskkegg ble separert fra andre egg.

Sortering I – ble gjennomført ved bruk av lupe og ei tellerenne. Alle eggene ble overført til et dramsglass som stod i en petriskål med is.

Sortering II - Eggene i dramsglasset ble i porsjoner overført til et tellekammer og ved bruk av lupe ble eggene sortert i to grupper bestående av henholdsvis torskkegg og andre egg. Eggene ble artsbestemt etter visuell inspeksjon og måling av diameter (direkte i lupen) på eggene i henhold til Russel (1976). Bestemmelse av utviklingsstadiene fra 1 – 5 ble gjort med basis i Thompson og Riley (1981) sin inndeling. Samtidig med sorteringen av egg, ble antall torskkegg telt. Egg fra andre arter ble ikke telt eller karakterisert, men forekomsten ble notert.

Eggene ble fotografert for mulig senere identifisering. Til slutt ble eggene konservert ved bruk av etanol for å muliggjøre senere DNA-analyser på materialet.

Det henvises til Espeland *et al.* (2010) og Espeland *et al.* (2013) for mer detaljert beskrivelse av metoder for innsamling og bearbeiding.



Figur 5. Innsamling av torskkegg med en WP2 håv (500 μm). Foto: Geir A. Dahl-Hansen, Akvaplan-niva.

3 Resultater feltundersøkelsene

Det ble totalt prøvetatt 60 stasjoner på den første runden og 63 stasjoner på runde 2 og 3. Tilsammen ble det registrert 221 torskkeegg, noe som tilsvarer et snitt på mindre enn 1,2 torskkeegg per håvtrekk. Det høyeste mengden egg i et trekk var 13 og det var kun 8 trekk med mer enn 5 egg. I halvparten av de totalt 186 trekkene ble det ikke påvist torskkeegg.

Det var mindre enn 0,03 torskkeegg per meter håvtrekk (Tabell 1). Denne tettheten betraktes som svært lav.

Det var en dominans av torskkeegg i stadium 1 (Figur 6) ved periode 1 og 2. Den totale tettheten av egg var høyest i periode 3, og det var i denne perioden en større spredning av ulike stadier. Tettheten av egg i stadium 1 gikk ned fra periode 2 til periode 3.

Tabell 1. Oversikt over antall torskkeegg i de ulike stadiene (1 – 5) for området Bøkfjorden og Neidenfjorden, 2014. Antall torske egg per meter håvtrekk er også oppgitt.

Periode	Stadium 1	Stadium 2	Stadium 3	Stadium 4	Stadium 5	Torskelarve	Antall egg per meter trekk
1	28	3	3	1	0	1	0,013
2	72	7	3	0	0	0	0,031
3	39	30	23	7	5	0	0,040
Totalt	139	40	29	8	5	1	0,028

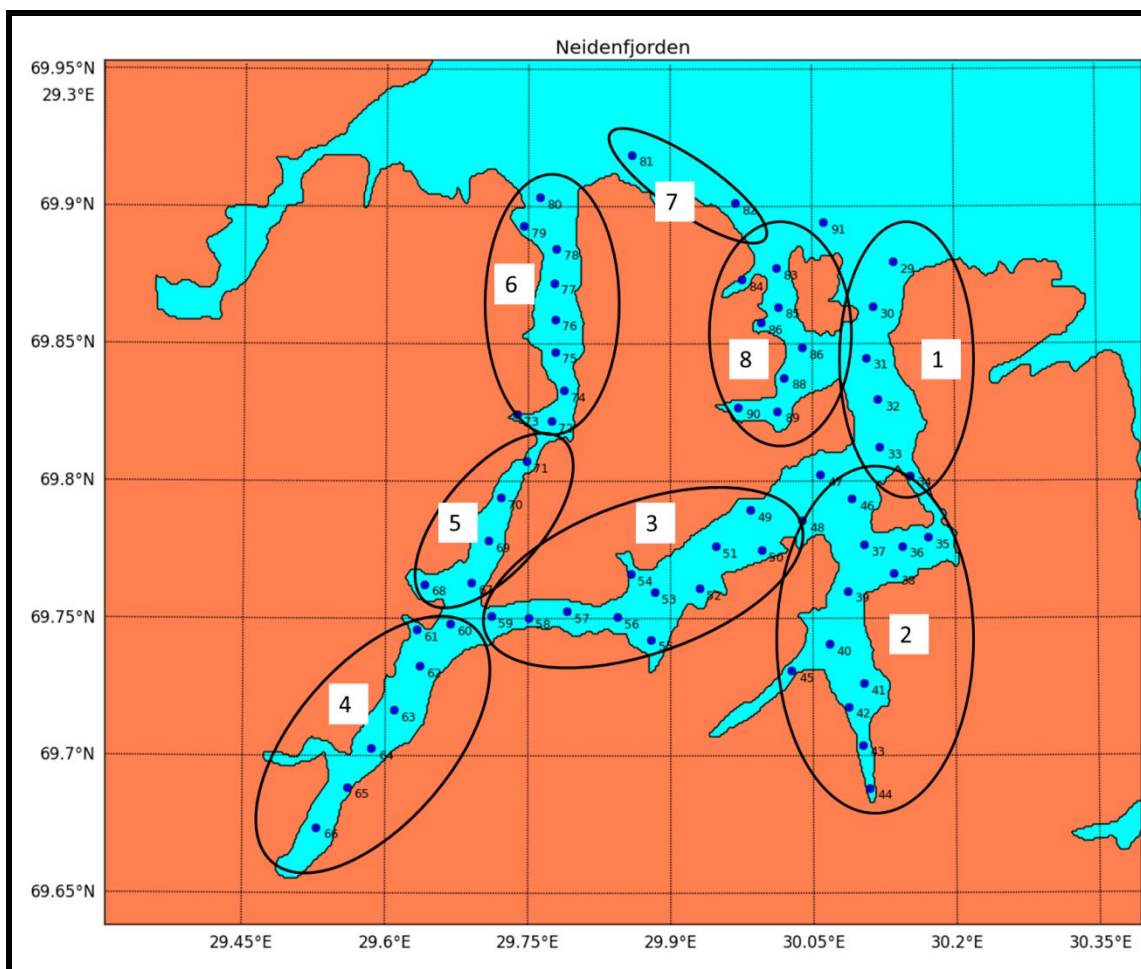


Figur 6. Torskkeegg fra Bøkfjorden i ulike stadier. Foto: Akvaplan-niva

De høyeste gjennomsnittlige tetthetene av torskeegg ble funnet i de ytre delene av det undersøkte området. Høyeste tetthet ble registrert i den ytre delen av Kjøfjorden med 2,6 egg per stasjon, noe som tilsvarer 0,17 egg per meter håvtrekk (Tabell 2, Figur 7). De laveste tetthetene ble funnet i ytre og indre deler av Bøkfjorden, samt i Neidenfjorden og indre deler av Kjøfjorden, alle områder med tettheter på 0,6 – 0,7 egg per stasjon.

Tabell 2. Oversikt over antall torskeegg i de ulike stadiene (1 – 5) for områdene Bøkfjorden og Neidenfjorden, 2014. Antall torskeegg per meter håvtrekk er også oppgitt.

Område	Antall stasjoner	Gjennomsnittlig antall egg per stasjon	Antall egg per meter trekk
1. Ytre Bøkfjorden øst	6	0,7	0,014
2. Indre Bøkfjorden	14	0,6	0,016
3. Korsfjorden	11	0,8	0,018
4. Neidenfjorden	7	0,7	0,019
5. Indre Kjøfjorden	5	0,6	0,015
6. Ytre Kjøfjorden	9	2,6	0,055
7. Yttersiden	2	2,0	0,040
8. Kjelmøysundet	9	1,8	0,037



Figur 7. Kart over de ulike delområdene 1. ytre Bøkfjorden, 2. indre Bøkfjorden, 3. Korsfjorden, 4. Neidenfjorden, 5. Indre Kjøfjorden, & Ytre Kjøfjorden, 8. Yttersiden og 8. Kjelmøysundet.

4 Strøm- og spredningsmodellering

Hovedformålet med de oseanografiske undersøkelsene har vært å beregne spredningsmønstre for egg i Bøkfjorden/Neidenfjorden. Dette er viktig fordi graden av spredning fra et område er en av faktorene som tas med i vurderingen av områdets verdi som gytefelt. Områder der egg har en tendens til å bli værende er i utgangspunktet potensielt viktigere som gyteplasser enn områder som egg hurtig transporteres bort fra.

4.1 Metodikk

Metodene som er brukt for å komme frem til spredningsmønstrene er basert på Espeland *et al.* (2013) og arbeidet kan deles i tre hoveddeler:

1. Beregning av strømsirkulasjon med numerisk havmodell.
2. Oseanografisk måleprogram for innsamling av data til kvalitetskontroll av havmodellen.
3. Beregning av spredningsmønstre for torskeegg basert på resultater fra havmodellen og resultater fra eggtellingsundersøkelser i området.

En beskrivelse av metodikken er gitt i kapitlene 4.1.1, 4.1.2 og 4.1.3. Resultatene presenteres i de påfølgende kapitlene.

4.1.1 Strømmodellering

For å beregne spredningsmønstre trengs det detaljert kunnskap om strømmene i interesseområdet. Den vanligste måten å innhente informasjon om strømbildet på er gjennom direkte målinger ved utplassering av strømmålere. Dette gir nøyaktig informasjon om strømmen på målelokaliteten i utplasseringsperioden, men strømmen langs kysten og i fjordene kan imidlertid variere mye både i tid og fra område til område. Det er derfor vanskelig å lage nøyaktige strømkart, basert utelukkende på strømmålinger, som gir et godt nok bilde av forholdene over tid i et større område til å beregne spredningsmønstre. Et alternativ til målinger, og det som er brukt i dette prosjektet, er strømdata beregnet med numeriske strømmodeller. En slik modell beregner strømsirkulasjon i tid og rom basert på fysikalske lover. For å gjøre resultatene mest mulig realistiske inkluderes meteorologisk informasjon som for eksempel vind, nedbør og lufttemperatur som drivkrefter i modellen. I tillegg brukes informasjon om tidevann og vanntilførsel fra elver.

Selv om det i dette tilfellet er knyttet mest interesse til strømsirkulasjonen i fjordene rundt Kirkenes er det nødvendig å modellere et betydelig større område for å sikre at storskala fenomener i havet utenfor forplanter seg riktig inn mot interesseområdet. Modelleringene må derfor utføres i to steg der første steg består i å bruke en kystmodell med forholdsvis grov oppløsning (lang avstand mellom beregningspunkter) som dekker et stort område, og deretter modellere på nytt med mindre dekningsområde og høyere oppløsning i en fjordmodell. Resultater fra den groveste modellen brukes som inngangsdata i den fineste modellen, såkalt nøsting.

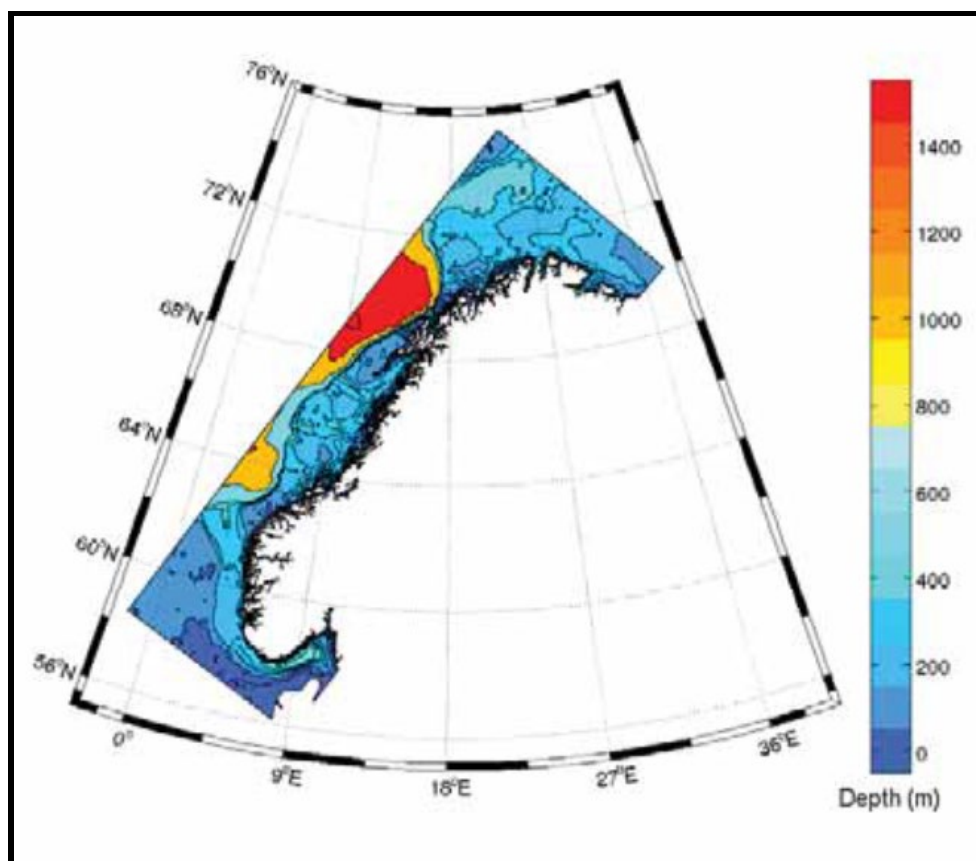
De to modellstegene er beskrevet nedenfor.

1. Kystmodell: Norkyst-800

Kystmodellen NorKyst-800 er en numerisk modell som simulerer strøm, saltholdighet og temperatur med 800 meters romlig oppløsning og med høy oppløsning i tid, for hele norskekysten (Albretsen *et al.* (2011), Figur 8). NorKyst-800 er utviklet av Havforskningsinstituttet i samarbeid med Meteorologisk institutt og NIVA. Systemet bruker Regional Ocean Modelling System (ROMS, Shchepetkin & McWilliams (2005)) til hydrodynamiske beregninger og inkluderer både vinddrivkrefter og ferskvannstilførsel for å produsere mest mulig realistiske resultater.

I dette prosjektet er Norkyst-800 hovedsakelig kjørt med standardinnstillingene som er beskrevet i Albretsen *et al.* (2011). Det eneste unntaket er vinddrivkrefter, der det er brukt WRF-3km vind. Denne har høyere oppløsning enn andre tilgjengelige vinddrivkrefter og forventes å gi bedre resultater (Myksvoll *et al.*, 2012).

Resultatene fra disse kjøringene er benyttet som inngangsdata til finskalamodellering i interesseområdet i og rundt Bøkfjorden.



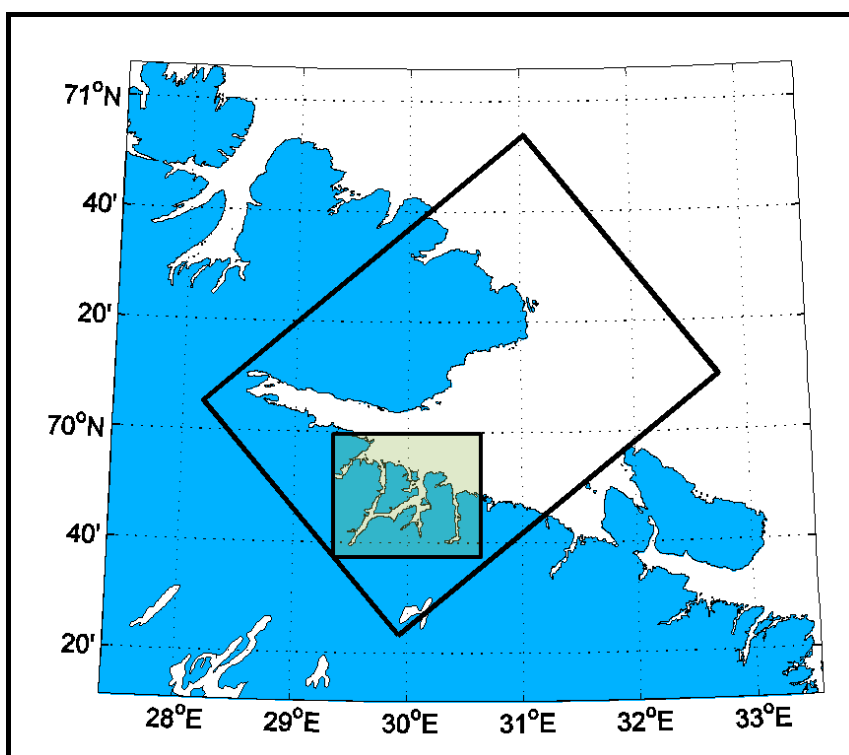
Figur 8. Området som dekkes av NorKyst-800 modellen. Resultater fra Norkyst-800 er brukt som inngangsdata til finskala modellering av Bøkfjorden/Neidenfjorden og det omkringliggende fjordsystemet (Figur 9). Fargeskalaen viser bunndypet i modellen.

2. Fjordmodell

Resultatene fra simuleringene med NorKyst-800 ble brukt som utgangspunkt for finskala modellering med 160 m oppløsning i Bøkfjorden/Neidenfjorden og omkringliggende områder. Modellen ble kjørt for et betydelig større område enn hovedinteresseområdet for å unngå at resultatene i interesseområdet er påvirket av unøyaktigheter ved grenser til modellområdet (Figur 9).

Utgangstilstanden og grensebetingelsene ble hentet fra resultatene fra Norkyst-800 og de samme atmosfæriske drivkreftene (WRF-3km) ble brukt.

På grunn av den høyere oppløsningen i fjordmodellen var det nødvendig å legge inn mer detaljert informasjon om elver enn det som er inkludert i Norkyst-800-oppsettet. Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har delt inn landet i vassdragsområder (www.atlas.nve.no), og for hvert område er daglige avrenningsdata i perioden 1962-2011 tilgjengelig. Vi har ikke hatt tilgang til avrenningsdata for 2014 og har derfor brukt klimatologisk avrenningsdata, det vil si gjennomsnittsverdier for den daglige avrenningen i perioden 1962 -2011. NVE's vassdragsområder kan innlemme flere definerte nedbørfelt med elv som munner ut i havet. I tillegg har vi inkludert mindre elver som også renner ut i havet. Disse elvene er manuelt plukket ut ved å følge kysten på kartet til NVE (www.atlas.nve.no), når målestokken var satt til 1:80000. Avrenningen innenfor et vassdragsområde ble fordelt på alle elvene innenfor området. Elvene fra NVE's definerte «nedbørfelt til hav» ble gitt en relativ andel av avrenning ut fra arealet de dekker innenfor et vassdragsområde. Resten av avrenningen ble likt fordelt på de manuelt utplukka småelvene. Posisjonen til elvemunningene er lagt i nærmeste gridpunkt i modellen. Totalt 257 elver ble lagt inn i modellområdet.



Figur 9. Modellområde for fjordmodell med 160 m oppløsning (stor firkant). Den minste firkanten markerer hovedinteresseområdet der feltarbeidet ble gjennomført.

Modellen ble kjørt for perioden 15. mars 2014 til 31. mai 2014 og modellresultater ble lagret for hver hele time i kjøreperioden. Disse dataene ble bruk som utgangspunkt for spredningssimuleringer (kap 4.1.3).

4.1.2 Måleprogram

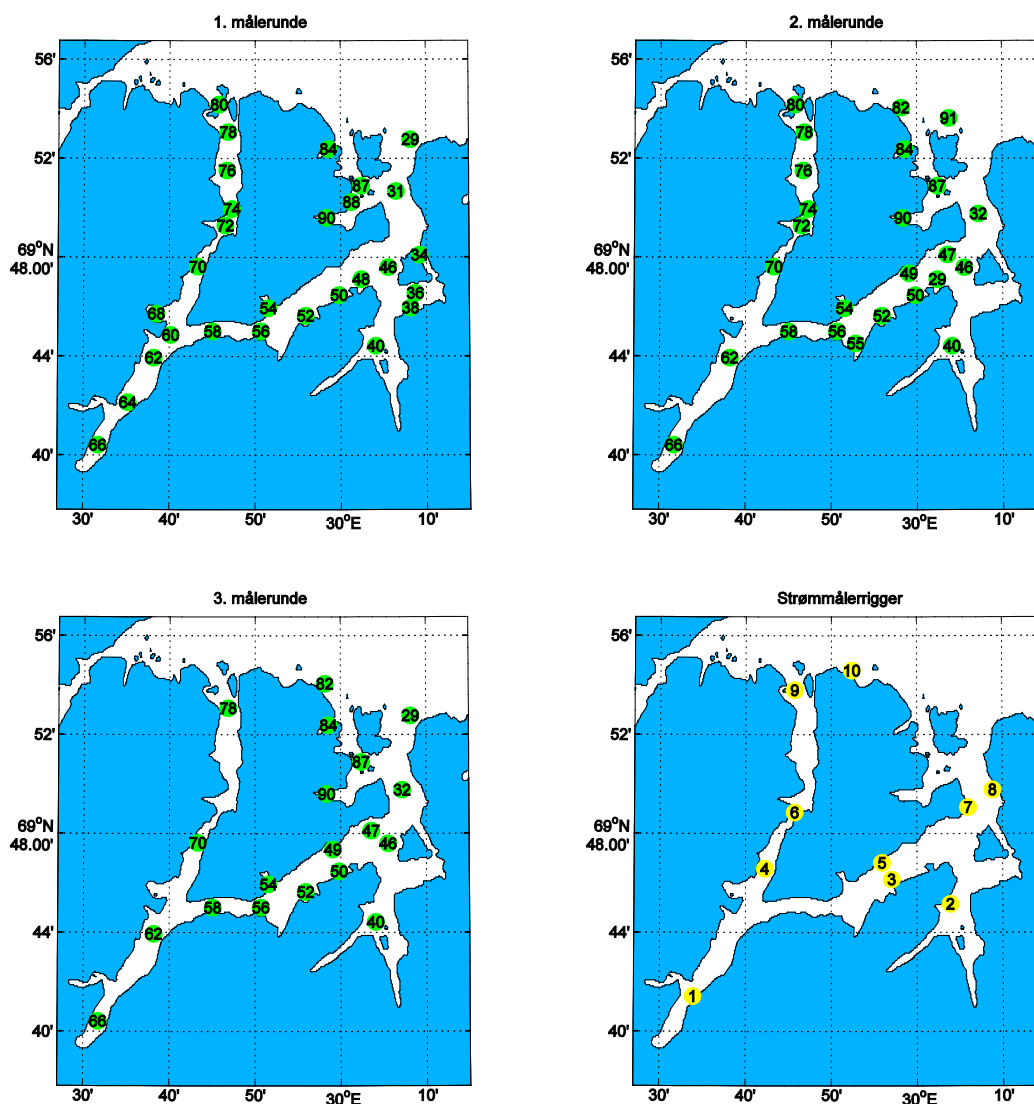
Det vil alltid være noe usikkerhet forbundet med numeriske modellsimuleringer og det er derfor nødvendig å sammenligne modellen med faktiske målinger for å sikre at modellresultatene gir en rimelig fremstilling av de oseanografiske forholdene i modellområdet. I dette prosjektet er det gjennomført et omfattende måleprogram for å samle inn data til kontroll av havmodellen. Det ble foretatt målinger både av vannmassenes egenskaper (temperatur og saltholdighet) og av strømstyrke og strømretning.

Målinger av temperatur og saltholdighet ble utført i forbindelse med innsamling av biologiske data i april 2014. Måleposisjonene er vist på kart i Figur 10. Dataene ble samlet inn med en SAIV 204 STD-O (SAIV AS). Instrumentet senkes og heves fra båt, og samler inn vertikalprofiler av temperatur, elektrisk ledningsevne og trykk. Fra dette beregnes saltholdighet og tetthet.

I tillegg til målinger av temperatur og saltholdighet ble det gjennomført strømmålinger på 10 forskjellige posisjoner i fjordområdet (Tabell 1, Figur 11). Disse ble gjennomført i et separat feltprogram og sto ute i perioden 14. mai – 18. juni 2014.

Tabell 3. Oversikt over strømmålingsrigger.

NR	Instrument	Måledyp (m)	Lengdegrad	Breddegrad	Dato inn/ut
1	Aanderaa, Seaguard	24	69.6903N	29.5648E	14.05.14-17.06.14
2	Aanderaa, Seaguard	45	69.7525N	30.0650E	14.05.14-18.06.14
3	Aanderaa, Seaguard	53	69.7691N	29.9510E	14.05.14-17.06.14
4	Aanderaa, Seaguard	47	69.7763N	29.7043E	14.05.14-18.06.14
5	Aanderaa, Seaguard	47	69.7802N	29.9321E	14.05.14-17.06.14
6	Nortek, Aquadopp, profilmåler	52	69.8177N	30.0998E	14.05.14-17.06.14
7	Nortek, Aquadopp punktmåler	13	69.8142N	29.7620E	13.05.14-18.06.14
8a	Aanderaa, Seaguard	37	69.8295N	30.1476E	14.05.14-18.06.14
8b	Aanderaa, Seaguard	89	69.8295N	30.1476E	14.05.14-18.06.14
9	Aanderaa, Seaguard	44	69.8966N	29.7620E	14.05.14-18.06.14
10	Aanderaa, Seaguard	48	69.9099N	29.8732E	14.05.14-18.06.14



Figur 10. Målestasjoner april/mai 2014. De to øverste figurene og figuren nederst til venstre viser posisjoner der det ble samlet inn vertikalprofiler av temperatur og saltholdighet. 1. målerunde: 7. april – 12. april. 2. målerunde: 23. april – 27. april. 3. målerunde: 5. mai – 10. mai. Figuren nederst til høyre viser posisjonene til strømmåleriggene (se også Tabell 1).

Dataanalyse – middelstrømvektor og variansellipse

Strøm varierer mye både i styrke og retning og i tid og rom og det er mange måter å visualisere og behandle dataene på. En rekke ulike figurer er inkludert i vedlegg bakerst i rapporten. For å sammenligne modellresultatene med måledataene er det brukt middelstrømvektorer og variansellipser plottet på kart.

Middelstrømvektoren kalles ofte nettostrøm og har både en retning og en styrke. Denne vises som piler på kartet og kan enklest forklares gjennom noen eksempler. Dersom strømmen i et område alltid er 10 cm/s mot nord, vil nettostrømmen være 10 cm/s mot nord. I kartet vil dette vises som en pil som peker mot nord i det aktuelle området. Dersom retningen alltid var mot nord, men styrken bare var 5 cm/s, ville pila bare være halvparten så lang som ved strøm på 10 cm/s. Dersom strømmen derimot skifter mellom like lange perioder med 10 cm/s strøm

mot nord og 10 cm/s strøm mot sør, vil nettostrømmen være null. Det vil da ikke være noen pil på kartet. Strøm i motsatte retninger kansellerer altså hverandre i beregningene av nettostrøm. Generelt vil bildet på en reell lokalitet være mer komplisert enn i eksemplene over, men stor variasjon i retning, for eksempel skiftende tidevannsstrømmer, og dermed svak nettostrøm, er forholdsvis vanlig i norske fjorder.

For å tydeliggjøre variabiliteten i strømmen vises det variansellipser sammen med middelstrømvektoren på kartet. En variansellipse forteller noe om graden av variabilitet, og forholdet mellom middelstrømvektor og variansellipse for strøm kan sammenlignes med forholdet mellom middelverdi (gjennomsnitt) og standardavvik for andre datasett (for eksempel temperatur). Dersom standardavviket er lite i forhold til middelverdien vil verdiene variere lite og ligge nært middelverdien. På samme måte, dersom en variansellipse er liten i forhold til middelstrømvektoren, vil strømmen på ulike tidspunkter avvike lite fra middelstrømvektoren. I andre tilfeller, for eksempel i områder med sterk strøm og sterkt skiftende strømretning, vil variansellipsen være stor i forhold til middelstrømvektoren, og middelstrømvektoren er da generelt ikke representativ for strømmen på et gitt tidspunkt.

Det er ikke bare størrelsen på ellipsen som forteller noe om strømbildet; formen og orienteringen er også viktig. Dersom ellipsen er nesten helt rund betyr dette at avviket fra middelstrømvektoren på et gitt tidspunkt kan være i hvilken som helst retning. På den andre siden, dersom en ellipse er smal viser orienteringen til ellipsen hvilke retninger avviket fra middelstrømvektoren sannsynligvis vil ha.

En annen måte å tenke på dette på er å se for seg at variansellipsen er plassert med sentrum i enden på middelstrømvektoren. Da vil området som dekkes av ellipsen være det området strømvektoren på et gitt tidspunkt mest sannsynlig vil holde seg innenfor.

Det er laget variansellipser både for totalstrømmen og for den komponenten som skyldes tidevann (se forklaring nedenfor). Ved å sammenligne tidevannellipsen og totalstrømmellipsen kan man få et inntrykk av hvor viktig tidevannsstrømmer er i et område. Dersom disse har forholdsvis lik form, orientering og størrelse, betyr dette at tidevannsstrømmer dominerer i området.

Tidevannsanalyse

Variasjon i strøm kan skyldes en rekke faktorer som for eksempel vind og ferskvannstilførsel. Disse drivkreftene, og dermed den resulterende strømmen, kan variere mye og uregelmessig, og det er generelt vanskelig å vite hvor stor del av variasjonen i strømmen som skyldes ulike drivkrefter. Tidevannsstrømmer er imidlertid et regelmessig fenomen som ofte kan estimeres basert på strømmålinger alene, gitt at måleserien er lang nok. I dette prosjektet ble det målt strøm i litt over en måned, noe som er tilstrekkelig for en brukbar analyse. Etersom periodene til de ulike komponentene av tidevannet er kjente, kan man søke systematisk etter dem i måleserien og dermed estimere tidevannets bidrag til variabiliteten i det totale strømbildet. Den vanligste teknikken for å gjøre dette kalles harmonisk analyse. Den harmoniske analysen i denne studien ble utført med programvaren MATLAB og programpakken UTide (Codiga 2011).

4.1.3 Spredningssimulering

4.1.3.1 Introduksjon

Som tidligere nevnt spiller spredningsmønstre av egg en viktig rolle i verdisetningen av gytefelt. Metodikken er grundig beskrevet i Espeland *et al.* (2013), men kort oppsummert bestemmes verdien til et område av to faktorer:

1. Tettheten av egg i området (fra feltnmålinger/intervjuundersøkelser)
2. Graden av spredning av egg vekk fra området (basert på spredningsberegninger med data fra strømmodell som inngangsdata).

Spredningssimuleringer (punkt 2) utføres fra områder der tettheten av egg er signifikant høyere enn det man kan forvente å finne dersom området ikke er et gytefelt. Denne grenseverdien finnes ved å estimere en sannsynlighetsfordeling (Poisson-fordeling) basert på telleresultater fra områder som generelt har lave verdier og som ikke forventes å være et gytefelt. Potensielle gytefelt er områder der tettheten av egg overstiger 95 prosentil verdien i den estimerte sannsynlighetsfordelingen. I vår undersøkelse ble det funnet svært få egg i hele undersøkelsesområdet (se kapittel 3, resultater) og det gir liten mening å prøve å skille ut et utvalg av stasjoner for videre spredningsanalyse (punkt 2) med denne statistiske metoden. For likevel å få et inntrykk av spredningsmønstre og potensielle oppsamlingsområder (retensjonsområder) er det utført spredningssimuleringer for alle posisjonene det ble samlet inn egg på. Et utvalg av disse resultatene er presentert i kapittel 4.3.

4.1.3.2 Spredningssimuleringer med Tracmass

Simuleringene av drift av eggpartikler er basert på strøminformasjon (timesverdier) fra hydrodynamiske simuleringer med ROMS (4.1.1) og ble utført med den lagrangske trajektoriemodellen TRACMASS (Döös *et al.* 2011). Det ble sluppet ut partikler fra alle målestasjonene (Figur 4), 100 partikler hver time i perioden 1. april – til 15. mai. Partiklene hadde en levetid på 15 dager og var fordelt mellom 5 m og 25 m dyp på utslippspunktet. Partiklene hadde ingen aktiv egenbevegelse og fløt fritt med strømmen. Posisjonen til hver partikkel ble lagret for hver 3. simulerte time.

4.1.3.3 Statistisk analyse av spredningsresultater

Som nevnt over ble det simulert spredningsmønstre til mange egg fra hver lokalitet. Grunnen til dette er at driftsmønsteret til et egg vil være utsatt for flere kilder til variasjon. To egg med samme utgangspunkt vil derfor vanligvis ikke ende opp på samme sted, men heller ha en tendens til å følge trajektorier (bevegelsesbaner i tid og rom) som blir mer og mer uavhengig av hverandre over tid (dispersjon). I tillegg varierer strømforholdene på et punkt over tid, noe som fører til at egg med samme startposisjon kan følge svært ulike trajektorier avhengig av det konkrete starttidspunktet. Analyser av driften av egg må derfor ikke vurderes deterministisk, men probabilistisk, og det er ikke interessant å vurdere enkeltegg eller små mengder egg, da de vil være utsatt for en stor grad av variasjon. Ved å følge trajektoriene til mange egg som er sluppet ut på forskjellige tidspunkter og telle opp hvor ofte ulike spredningsmønstre oppstår, kan man estimere hvor stor sannsynligheten for spredning til ulike områder er.

Hovedmomentet i vurderingen av verdi for et gytefelt er i hvor stor grad egg forblir på stedet de er gytt. En måte å kvantifisere dette på er å telle opp hvor stor andel partikler som befinner seg kortere enn en viss avstand fra utslippspunktet etter en viss tid. Dette er gjort for avstander på 3 km og 6 km etter 5 og 15 dagers drift.

I tillegg er det romlige spredningsmønsteret etter 5 og 15 dagers drift visualisert ved å estimere en kernel tetthetsfordeling. Dette muliggjør identifisering av områder som inneholder 50 % av eggene og 25 % av eggene. Denne metoden tilsvarer den som er brukt i Espeland *et al.* (2013).

4.2 Sammenligning av resultater fra strømmodell og måleprogram (validering)

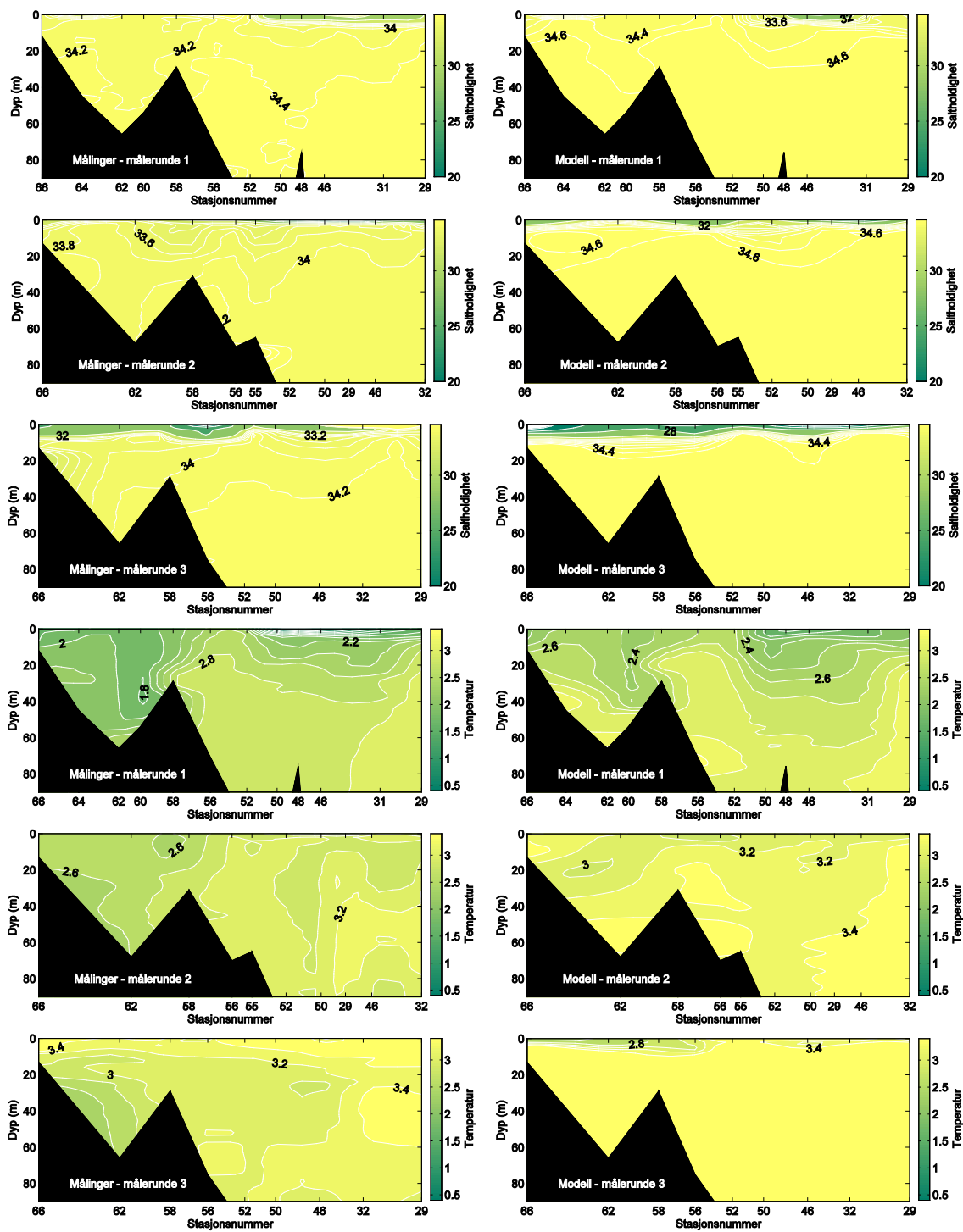
Hovedformålet med innsamlingen av oseanografiske data i har vært å skaffe et grunnlag for å kunne vurdere kvaliteten på modellsimuleringene. En numerisk modell vil alltid til en viss grad være en forenkling av virkeligheten. Modellen har for det første begrenset oppløsning, og i tillegg vil små unøyaktigheter i utgangstilstanden og drivkreftene (vind, tidevann og elver) også kunne skape unøyaktigheter i modellen. Man kan altså ikke forvente at modellen produserer perfekte resultater på ethvert sted og til ethvert tidspunkt, men en god modell bør gjenskape hovedtrekkene i variasjonsmønstrene modellområdet.

4.2.1 Vannmasser

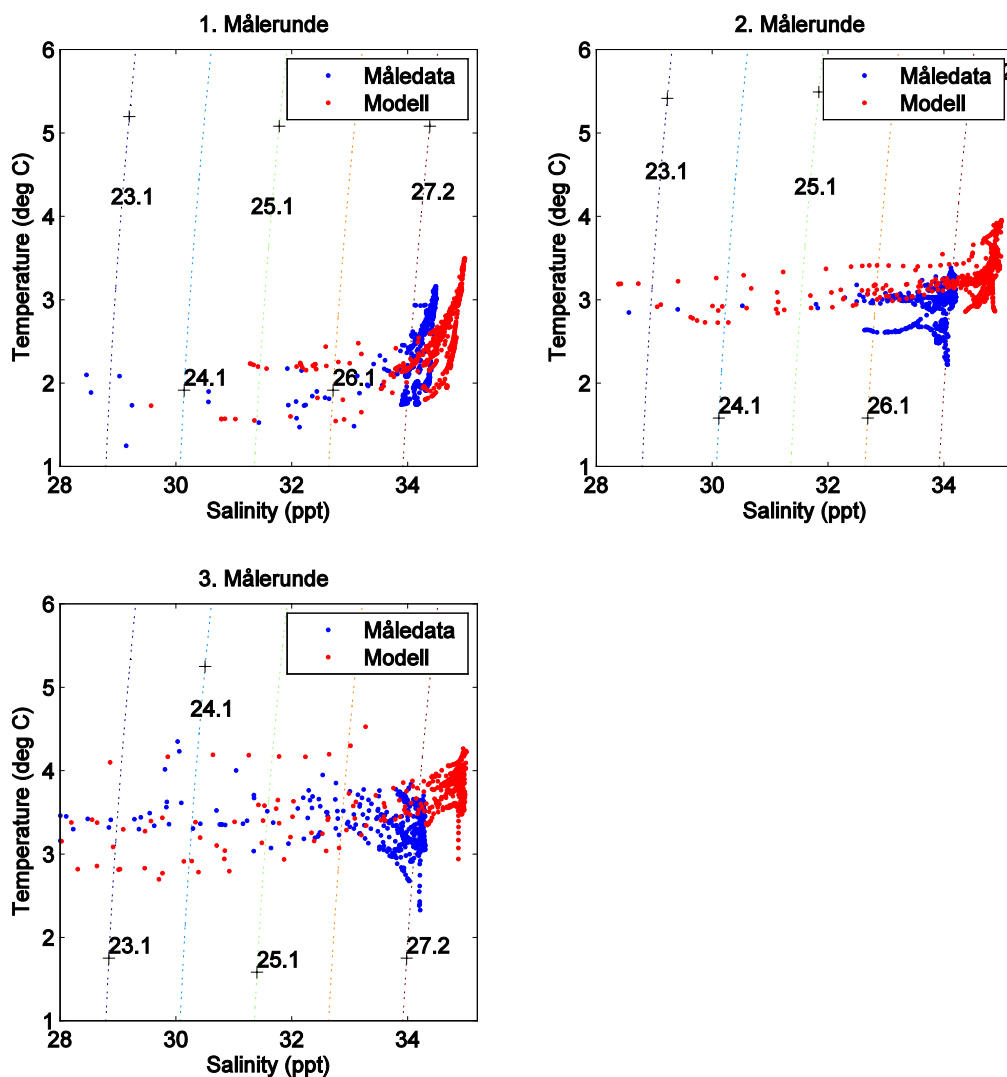
Figur 11 viser saltholdighet og temperatur fra et snitt som strekker seg fra indre del av fjordsystemet til ytterste del av fjorden for de tre ulike tidspunktene som måledata er tilgjengelig fra (Figur 11). Data fra modellen er hentet ut fra samme tidspunkter. Måleresultatene er vist til venstre og modellresultatene til høyre. Målingene viser at vannmassene i fjorden var relative homogene i modellperioden. Målingene ble foretatt i april og begynnelsen av mai, og dette er vanlig på denne årstiden.

Det var generelt god overenstemmelse mellom modellresultatene og målingene. Modellen hadde litt for høye temperaturer og litt for høye saltholdigheter, men variasjonsmønsteret i modellen stemte bra overens med målingene. Det ble gradvis noe varmere utover våren og et i utgangspunktet tynt og relativt ferskt overflatelag, ble litt tykkere og mer tydelig i løpet av modellperioden. Tykkelsen på dette laget strakk seg ned mot nesten 10 m dyp i både målingene og i modellen ved siste måleperiode i mai. Dette tyder på at elveavrenningen i modellområdet har vært representert på en god måte. Bortsett fra dette relativt ferske overflatelaget var det svak vertikal sjiktning i både måledataene og modellen.

En annen vanlig måte å vise informasjon om vannmasser på er ved å plote saltholdighet mot temperatur i et TS-diagram. Dette er vist for både måleresultater og modellresultater i Figur 12. Den generelle forskjellen (avviket) i temperatur og saltholdighet blir tydeligere når dataene presenteres på denne måten, men variasjonsmønsteret er ellers svært likt. Spennet i dataene (fra minimumsverdi til maksimumsverdi) er omtrent det samme og fordelingen av punkter i diagrammet følger samme mønster. Generelt er det god overenstemmelse mellom modellen og måleresultatene.



Figur 11. Saltholdighet- og temperaturprofiler fra målinger (til venstre) og modell (til høyre) fra tidspunktene for de tre målerundene. Stasjonsnumrene korresponderer til posisjonene som er vist i Figur 10. Målestasjoner april/mai 2014.



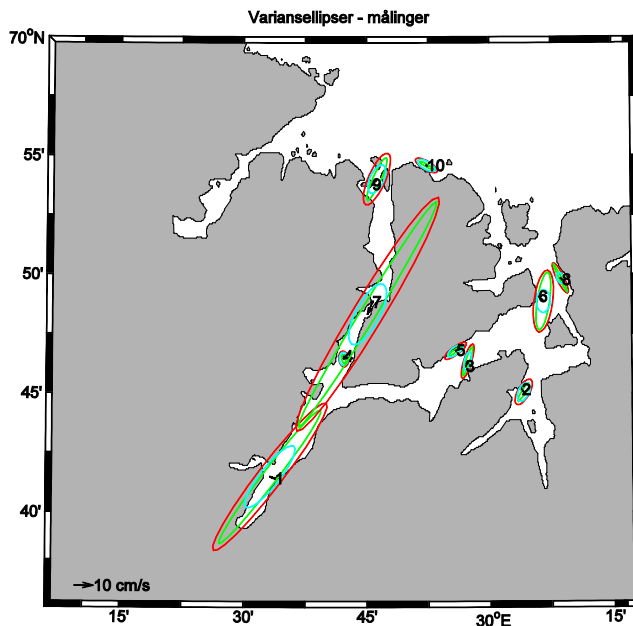
Figur 12. Temperatur-saltholdighetsdiagram med sammenligning av temperatur og saltholdighet fra målinger og modell. Dersom det var perfekt overenstemmelse mellom målingene og modellen ville punktene hatt komplett overlapp, det vil si at kun røde prikker ville vært synlige siden disse er plottet til slutt.

4.2.2 Strøm

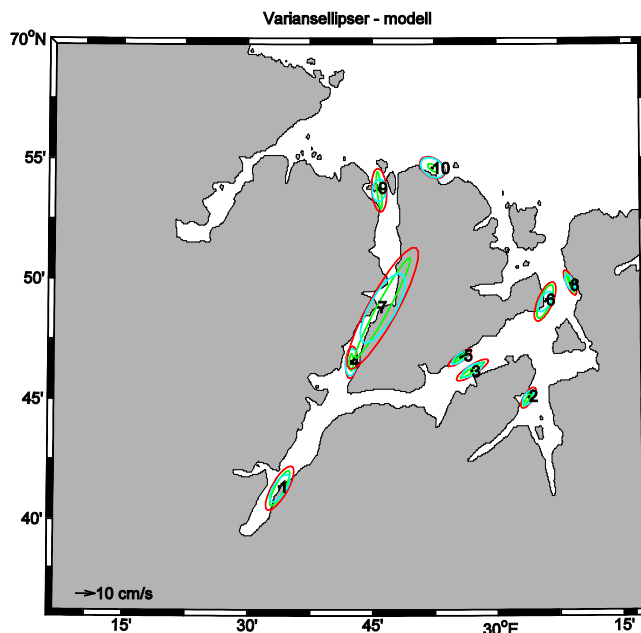
Figur 13 viser middelstrømvektorer og variansellipser fra strømmålingene (mer detaljerte figurer er inkludert i vedlegg). Det var svak nettostrøm i forhold til variasjonen i strømstyrke på alle posisjonene, det vil si at variansellipsene var store i forhold til middelstrømvektorene. Ellipsene var forholdsvis avlange på de fleste posisjonene og dette tyder på to dominerende strømretninger. Tidevannsellipsen utgjorde en stor del av totalvariansellipsen, noe som betyr at tidevannsstrøm var den største komponenten i strømbildet i fjordsystemet i måleperioden.

På samme måte som i målingene var det svak nettostrøm i forhold til totalvariabiliteten på alle posisjonene i modellen (Figur 14). Tidevannsstrøm utgjorde også en stor del av totalbildet i modellen. To av stasjonene, 1 og 7, hadde betydelig svakere strøm i modellen enn i målingene, men retningen på begge steder stemte bra overens. Det er vanskelig å vite hva forskjellen i strømstyrke skyldes, men det henger sannsynligvis sammen med unøyaktighet i bunntopografien i modellen på grunn av begrensning i oppløsning. Sundet på stasjon 7 er for

eksempel ca. 240 m i virkeligheten og 320 m bredt i modellen. Det er vanskelig å sette opp nøyaktige kriterier for når en modell gjengir virkeligheten på en tilfredsstillende måte, men sammenligning med både temperatur- og saltholdighetsdata og strømdata tyder på at modellen gjør en god jobb i vårt tilfelle.

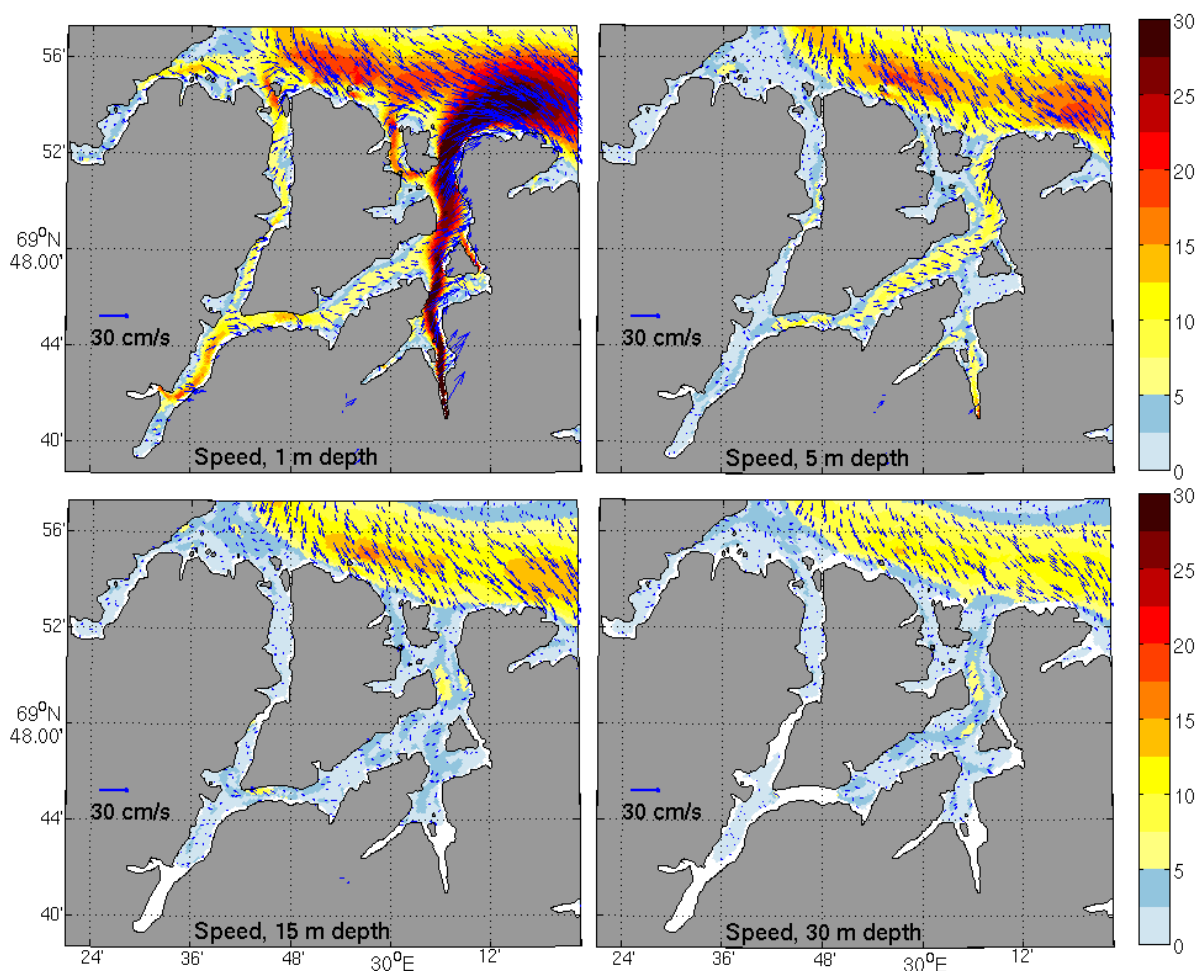


Figur 13. Middelstrømvektor og variansellipser fra målinger. Måledypet på hver posisjon er gitt i Tabell 3. Røde ellipser er variansellipser for totalstrøm, grønne ellipser for tidevannsstrøm og lyseblå ellipser viser reststrømmen. Pilene i sentrum av ellipsene er middelstrømvektoren.



Figur 14. Variansellipser fra modell. Det er tatt ut data fra modellen på det dypet som er nærmest måledypet på hver posisjon. Røde ellipser er variansellipser for totalstrøm, grønne ellipser for tidevannsstrøm og lyseblå ellipser viser reststrømmen. Pilene i sentrum av ellipsene er middelstrømvektoren.

Sirkulasjonsmønsteret i modellen er oppsummert i Figur 15. Utenfor fjordmunningene viser modellen en utpreget kyststrøm som sirkulerer i sørøstlig retning med hastigheter over 30 cm/s ved overflaten og opp til 10 cm/s ved 30 m dybde. Innerst i fjordene viser modellen en typisk estuarin sirkulasjon dominert av ferskvannsavrenning fra elvene. Spesielt de store avrenningsmengdene fra Pasvikelva i indre Bøkfjorden fører til store strømhastigheter over 30 cm/s langs hele Bøkfjorden og en nordlig transport ut av fjordsystemet ved overflaten og en innstrømning i fjordarmen lengre nede i vannsøylen. Men i motsetning til kyststrømmen er de sterke strømmene i fjordsystemet begrenset til de øvre få meterne av vannsøylen, med få fjordarmer som viser gjennomsnittlige hastigheter over 10 cm/s ved 5 og 15 m dybde. Dette er i samsvar med vannfordelingen i Figur 11 som viser at skillet mellom kystvann og avrenningsvann med lav saltholdighet stort sett er grunnere enn 10 m. Noen sterkere, tidevannsdrevne hastigheter forekommer også i den grunne vestlige delen av Korsfjorden og i Straumen-sundet mellom Indre og Ytre Kjøfjorden.



Figur 15. Modellert strømhastighet (farger, cm/s) og middelstrømvektorene (nettotransport) ved 1, 5, 15 og 30 m dybde, midlet over simuleringsperioden. Mens middelverdien av strømhastigheten beskriver styrken av sirkulasjonen uavhengig av strømrretningen, er lengden av middelstrømvektoren også avhengig av variabiliteten av strømrretningen. Områder som viser høy strømhastighet og relativt store middelstrømvektorene er typisk områder med konstant strøm i en bestemt retning (f. eks. kyststrømmen), mens områder med høy strømhastighet og små strømvektorer tyder på stor variabilitet i retning (f. eks. tidevann gjennom et sund).

4.3 Spredningssimuleringer

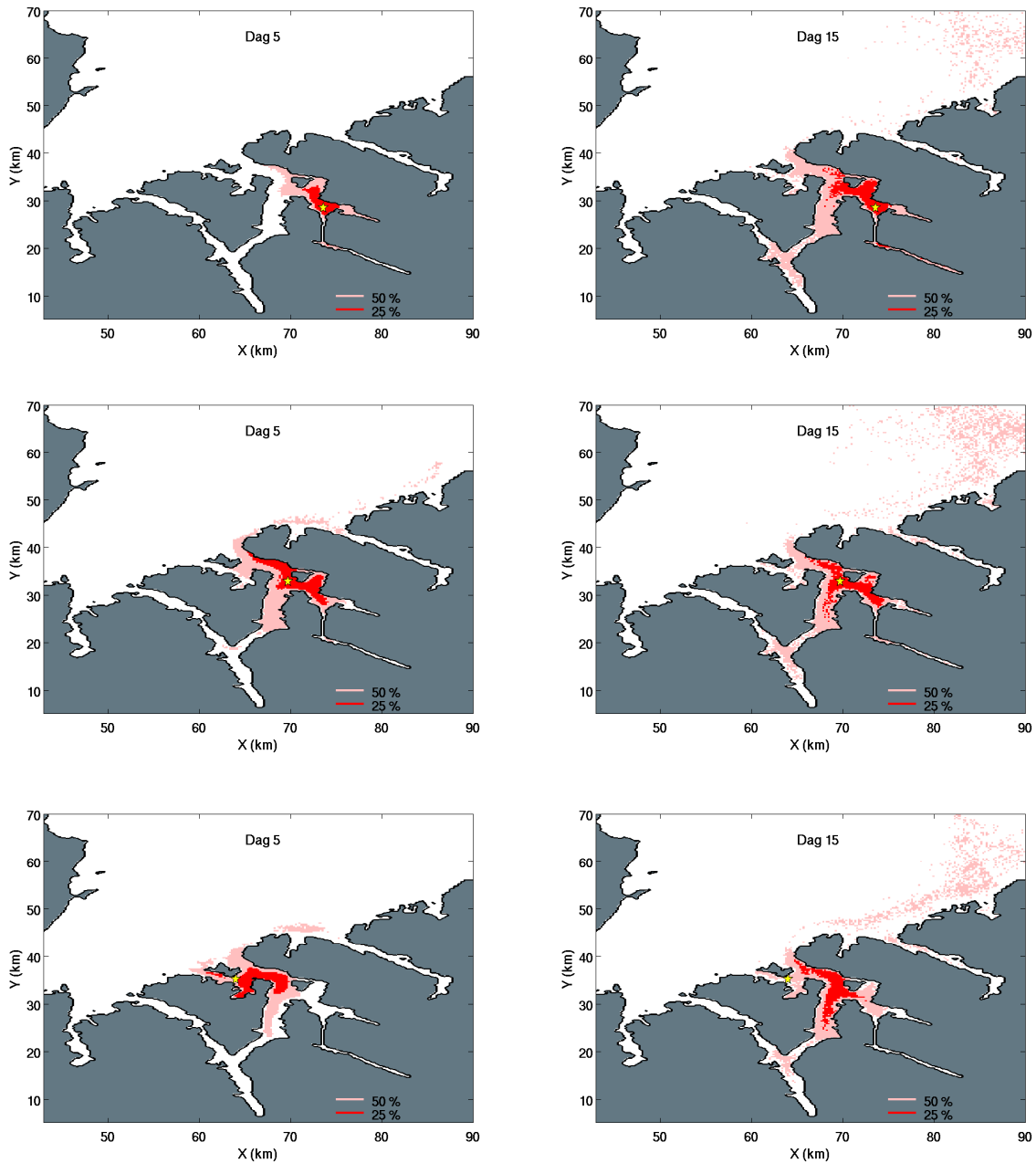
Figur 16 og Figur 17 viser eksempler på hvordan partikkelfordelingen så ut etter 5 og 15 dagers drift for henholdsvis tre stasjoner i den østlige delen av fjordsystemet og tre stasjoner i den vestlige delen av fjordsystemet. Resultatene er basert på kontinuerlige utslipp i perioden 1. april til 15. mai, 2014 og gir et gjennomsnittsbilde av alle de ulike spredningsmønstrene som oppstod i simuleringsperioden. Spredning fra et enkelt tidspunkt vil vanligvis dekke et mindre areal og tilsvare en mulig realisasjon.

I den østlige delen av fjorden spredte partikler seg både innover og utover i fjordsystemet (Figur 16). Partikler som drev utenfor fjordmunningen forsvant hurtig langs kysten mot øst. Den høyeste tettheten (markert med rød, 25 % område) etter 15 dager ble funnet i et område rundt Reinøya for alle de tre østlige stasjonene.

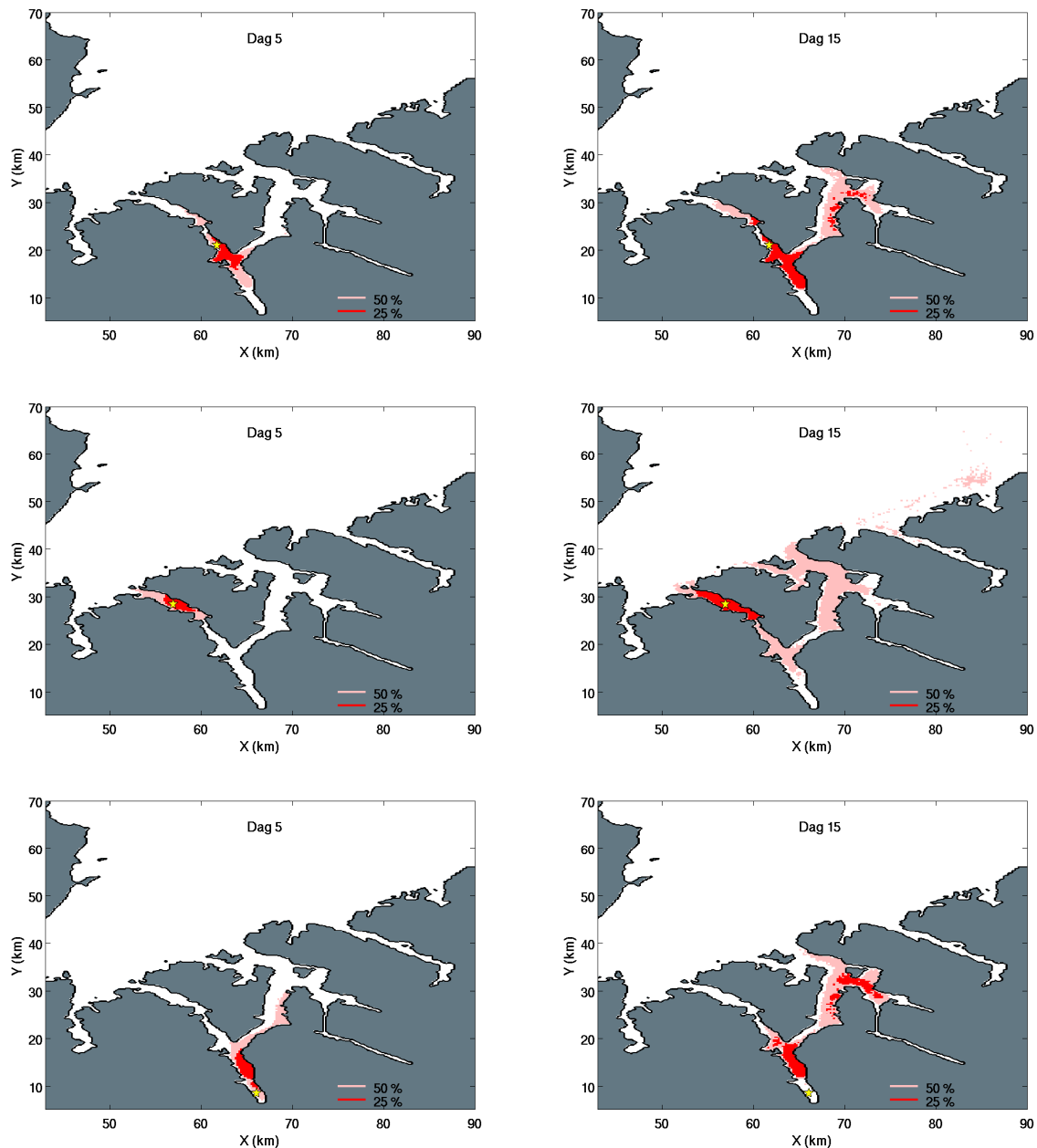
Hovedkjernen av partikler (25 % området) som ble sluppet ut fra de vestlige stasjonene var etter 15 dagers drift fortsatt i dette området (Figur 17). Det var imidlertid også en tydelig tendens til at en forholdsvis stor andel partikler drev over i den østlige delen av fjordsystemet. Dette var tilfelle for alle posisjonene. Dette mønsteret kan muligens indikere at det er en nettotransport av partikler fra den vestlige delen, gjennom Korsfjorden og ut Bøkfjorden. Det var mye elveavrenning til fjorden i simuleringsperioden og det kan være en medvirkende årsak til denne sirkulasjonen. Situasjonen kan derfor være annerledes ved andre tidspunkter på året.

Etter 15 dagers drift var det en betydelig grad av overlapp i spredningsmønsteret til de 6 eksempelstasjonene og områder midt i fjordsystemet, som Korsfjorden (område 3 i Figur 4), hadde mottatt partikler fra alle stasjonene. Ingen av de seks stasjonene var i den forstand isolert fra de andre stasjonene. Eventuelle torskeegg som gytes på de ulike stedene vil etter en tids drift kunne befinne seg i de samme områdene. Modellen viser også at partikler fra flere utslippspunkter ofte samler seg rundt Reinøya. Dette skyldes sannsynligvis en kombinert effekt av østoverstrømmen gjennom Korsfjorden og innstrømningen under overflatelaget i Bøkfjorden som resultat av den sterke estuarine sirkulasjonen.

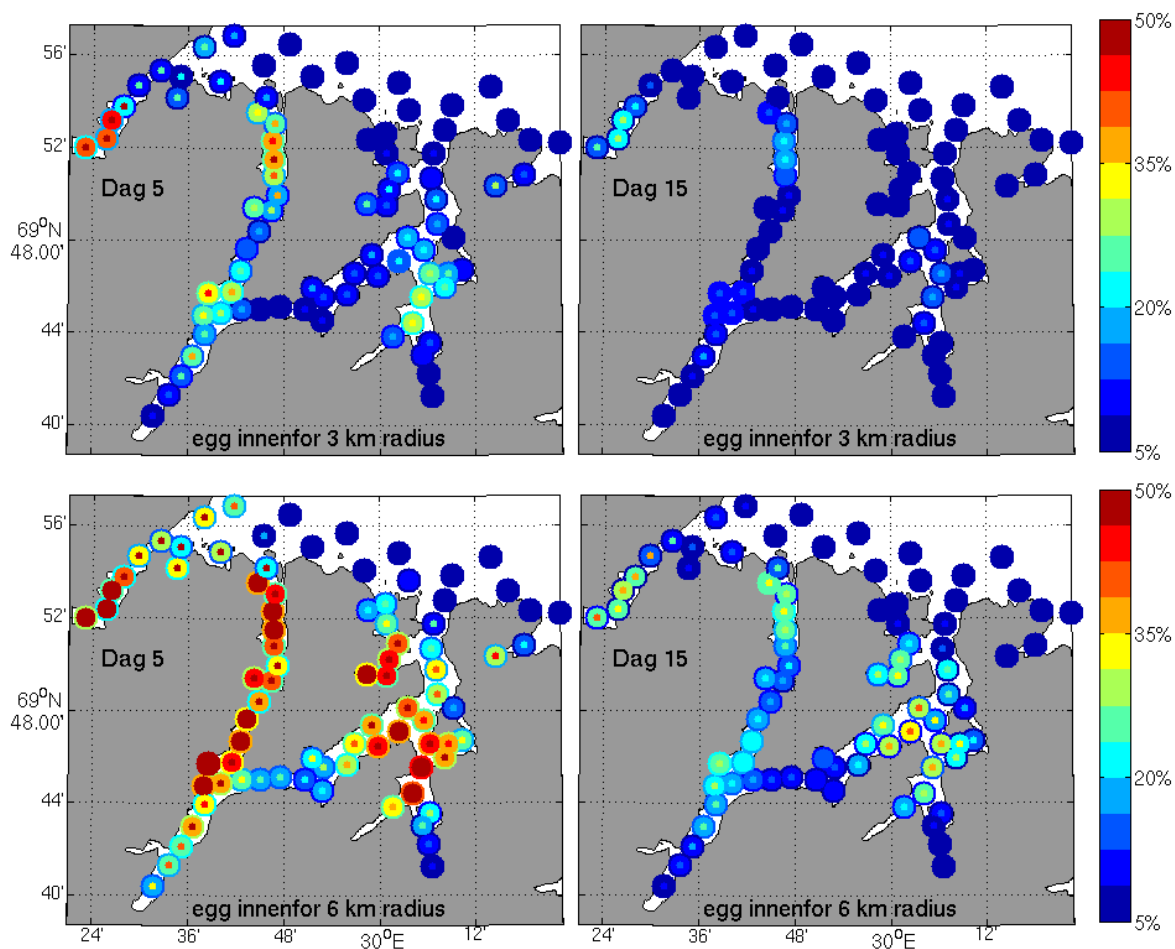
Spredningsresultatene fra alle stasjonene er oppsummert i Figur 17 som indikerer i hvor stor grad partikler spres fra en posisjon. Fargene viser andelen av partikler som befinner seg innenfor 3 km og 6 km fra utslippspunktet etter 5 og 15 dager. Det kan tolkes slik at områder med høy andel av partikler nært utslippsområdet (rødt) har mindre vannutskiftning og derfor større retensjonspotensiale, mens områder med lav andel av partikler (blå) nært utslippspunktet har høyere vannutskiftning og lavere potensial for retensjon. Det var store forskjeller i spredningsgrad fra i ulike områder. Spredningen bort fra stasjonene utenfor fjordmunningene skjedde svært raskt. Allerede etter 5 dagers drift var det få partikler innenfor en radius på 6 km fra utslippspunktet i disse områdene. Noen av stasjonene inne i fjordsystemet hadde den samme raske spredningen (område 4, 3 og innerste del av område 2 i Figur 4), men det var også områder der partiklene oppholdt seg nærmere utslippspunktet i lengre perioder. Minst grad av spredning fant sted i området vest og sør for Reinøya der i gjennomsnitt ca. 30 % av partiklene fortsatt var innenfor en 6 km radius etter 15 dagers drift. Men det var stor variasjon mellom de ulike realisasjonene og andelen partikler innenfor denne grensen varierte mellom ca. 5 % og 40 % avhengig av spredningstidspunkt (ulike farger på sirklene i Figur 17, se figurtekst for forklaring).



Figur 16. Spredningssimuleringer fra tre posisjoner i den østlige delen av fjordsystemet. Den gule stjernen viser utslippspunktet. Det røde og lyserøde arealet viser hvor henholdsvis 25 % og 50 % av partiklene var etter 5 dager (til venstre) og 15 dager (til høyre).



Figur 17. Spredningssimuleringer fra tre posisjoner i den vestlige delen av fjordsystemet. Den gule stjernen viser utslippspunktet. Det røde og lyserøde arealet vise henholdsvis 25 % og 50 % av partiklene var etter 5 dager (til venstre) og 15 dager (til høyre).



Figur 18. Figurene viser prosentvis andel av egg som etter 5 dager (til venstre) og 15 dager (til høyre) befant seg nærmere en 3 km (øverst) og 6 km (nederst) fra utslippspunktet. En verdi på 35 % i eksempelvis figuren øverst til venstre betyr altså at 65 % av alle partiklene som ble sluppet ut hadde fjernet seg lenger enn 3 km fra den utvalgte stasjonen etter 5 dager. Dette kan tolkes slik at områder med høy andel av partikler nært utslippsområdet (rødt) har mindre vannutsiftning og derfor større retensjonspotensiale, mens områder med lav andel av partikler (blå) nært utslippspunktet har høyere vannutsiftning og lavere potensial for retensjon. For å fange opp den variabiliteten som skyldes at strømforholdene endrer seg i løpet av simuleringsperioden er partikkelavstanden beregnet separat for ulike partikkelutslipp fra ulike dager (utslippsdager). Dette gir et statistisk bilde (tidsensemble) av partikkelforflytningen som vises av tre sirkler som er tegnet for hver stasjon. Fargen til den midterste og mest tydelige sirkelen viser medianen av alle partikkeltellingene for de ulike utslippsdager og tilsvarer det mest vanlige partikkelantallet som ble funnet innenfor en begrenset avstand fra utslippsområdet. Medianen kalles også for 50 % prosentil og er definert slik at 50 % av datapunktene i tidsensemblet som hadde en lavere verdi og 50 % hadde en høyere verdi enn medianen. Fargen på den ytterste og innerste sirkelen viser de respektive 75 % og 25 % prosentilene (øvre og nedre kvartil) som gir et estimat for den statistiske variabiliteten av partikkelforflytningen. Om det er lite forskjell på fargene av de tre sirkler ved en stasjon, er resultatene fra ulike utslippsdager forholdsvis like og medianverdien kan anses som et robust estimat som beskriver hvilken andel av partikler som vil befinne seg nær utslippspunktet etter en gitt tid. Om fargene av de tre sirkelene er veldig forskjellige vil graden av partikkelforflytningen variere gjennom simuleringsperioden og medianen vil være et relativt usikkert estimat av den partikkelandelen som kan forventes i nærheten av stasjonen.

4.4 Oppsummering – strømmodellering og spredningsmodellering

Som nevnt i kapittel 4.1.3.1 var det ikke grunnlag i datamaterialet til å identifisere områder med signifikant høy egg tetthet (potensielt gytefelt) som beskrevet i Espeland *et al.*- (2013). Det er likevel utført strømmodellering og spredningssimuleringer for fjordsystemet rundt Kirkenes i Finnmark for å estimere potensialet for spredning i fjordsystemet på et mer generelt grunnlag.

Resultatene fra strømmodelleringen ble sammenlignet med måledata (temperatur, saltholdighet og strøm). Modellen ga et realistisk bilde av sirkulasjonen i fjorden.

Resultatene fra spredningssimuleringene indikerer at graden av spredning varierer betydelig i ulike deler av fjordsystemet. Partikler på utsiden av fjordmunningen forsvant veldig fort fra utslippsstedet, mens spredningen fra enkelte områder inne i fjordsystemet tok noe lengre tid. Området vest og sør for Reinøya hadde minst grad av spredning og ca. 30 % av partiklene var innenfor en 6 km radius fra utslippspunktet etter 15 dagers drift fra disse områdene.

Det var også en betydelig grad av overlapp i spredningsmønsteret fra stasjoner fra de ulike delene av fjorden og med en simulert oppsamling av egg fra mange plasser rundt Reinøya. Korsfjorden som ligger midt i fjordsystemet hadde mottatt partikler fra områder i Neidenfjorden, Kjøfjorden og Bøkfjorden. Eventuelle torskeegg som gytes på ulike steder vil altså etter en tids drift kunne befinne seg i de samme områdene.

5 Sammendrag og konklusjon

Det er planlagt utbygging av flere større industri- og terminalområder på minst fire steder på Tømmerneset i Bøkfjorden og Korsfjorden. Det gjelder Pulkneset, Gammeset, Leirpollen, samt Kirkenes Industrial Logistics Area (KILA) («Slambanken»). I tillegg har Sydvaranger Gruve mål om å fordoble produksjonen sin. Disse tiltakene vil kunne påvirke marint miljø og gyteområder for fisk.

Torsk er uten sammenligning den viktigste kommersielle fiskearten i Nord-Norge. Gytefelt betraktes som viktige ressursområder i forvaltningen av arten og verdisettes etter nasjonale kriterier. Uten produktive områder for rekruttering, er det fare for at kystorskbestandene vil reduseres over tid. Egg og larvestadier er følsomme for ytre påvirkning, og det er viktig at miljøforholdene er optimale. Foringelse og negative effekter som følge av menneskelig påvirkning av gytehabitater kan være en trussel for flere arter.

Gytefelt kartlegges gjennom standardiserte metoder som er utarbeidet gjennom "Nasjonalt Program for kartlegging av marine naturtyper". På 2000-tallet begynte Fiskeridirektoratet med kartlegging av fiskebestander og fiskeriaktivitet langs med kysten av Finnmark ved intervjuer (Fase I). En slik kartlegging av gyte- og oppvekstområder ble også gjort både innenfor og i umiddelbar nærhet av planområdet (Bøkfjorden og Korsfjorden). Denne kartleggingen påviste få kjente gyteområder for torsk i planområdet og det ble kun registrert gyteområder for torsk i utkanten av Bøkfjorden (Loddeneset og Omnan).

Fase II av kartlegging av fiskebestander, hvor antatte gyteområder verifiseres gjennom feltundersøkelser, var før foreliggende undersøkelse ikke gjennomført i Finnmark.

I 2014 ble fase II undersøkelsen gjennomført gjennom en detaljert kartlegging av gytefelt gjennom feltundersøkelser på 63 stasjoner over tre perioder i Bøkfjorden / Neidenfjorden. I de samme områdene ble det også gjennomført oseanografiske undersøkelser og modellering for å beregne spredningsmønstre for torskeegg. Hovedmålsettingen med denne undersøkelsen var å stedfeste og verdisette gytefelt for kysttorsk i området. Denne kunnskapen vil være ansett som nyttig i kommende konsekvensutredninger samt som referanse for fremtidige undersøkelser.

Resultatene viste lave tettheter av torskeegg på alle stasjoner. De høyeste tetthetene ble påvist i de ytre delene av Kjøfjorden og de laveste i Bøkfjorden, Neidenfjorden og Korsfjorden. Disse resultatene er sammenlignbare med resultatene fra intervjuer gjort med fiskere i området. Resultatene fra modellering viste at torskeegg sannsynligvis spres hurtig til andre områder enn der de ble gytt og etter 15 dagers drift er det antatt at eggene fra store deler av fjorden har drevet ut i havet og videre langs kysten mot øst. Det er med andre ord lite sannsynlig at torskeegg blir værende i de områdene de blir gytt.

På bakgrunn av de lave tetthetene av torskeegg og den hurtige spredningen av de gytte eggene klassifiseres gyteområdene innenfor planområdet (Bøkfjorden og Korsfjorden) som kategori C områder (kun av lokal verdi) som tilsvarer den laveste kategorien med tanke på ressursområdets verdi.

6 Referanser

- Albretsen, J., Sperrevik, A.K., Staalstrøm, A., Sandvik, A., Vikebø, F. og Asplin, L. 2011. NorKyst-800 Report No. 1. User Manual and technical descriptions. Fisken og Havet nr 2-2011.
- Direktoratet for naturforvaltning. 2007. Kartlegging av marint biologisk mangfold. DN Håndbok 19 – 2001. Revidert 2007.
- Döös, K., Rupolo, V. og Brodeau, L. 2011. Dispersion of surface drifters and model-simulated trajectories. *Ocean Modelling*. Volume 39, Issues 3–4, 2011, Pages 301–310.
- Espeland, S. H., Albretsen, J., Dahle, G., Asplin, L., Olsen, T., Olsen, E.M., Simonsen, J.H. og Bodvin, T. 2010. Metode for lokalisering og verdisetting av gyteplasser i fjorder med dype terskle, åpne havbukter og sund. *Fisken og Havet* nr: 1-2010.
- Espeland, S. H., Albretsen, J., Nedreaas, K., Sannæs, H., Bodvin, T. og Moy, F. 2013. Kartlegging av gytefelt - Gytefelt for kysttorsk. *Fisken og Havet* nr: 1-2013.
- Myksvoll, M. S., Sandvik, A.D., Skarðhamar, J. og Sundby, S. 2012. Importance of high resolution wind forcing on eddy activity and particle dispersion in a Norwegian fjord. *Estuarine, Coastal and Shelf Science*, 113, 293-304.
- Shchepetkin A.F. & McWilliams, J.C . 2005. The Regional Ocean Modeling System (ROMS): a split-,explicit, freesurface, topography following coordinate oceanic model. *Ocean Modeling* 9:347-404.
- Thompson B.M. og Riley J.D., 1981. Egg and larval development studies in the North Sea cod (*Gadus morhua*). *Rapp. P.-v.Reun.Cons.Int.Explore.Mer.* 178:553-559.

7 Vedlegg

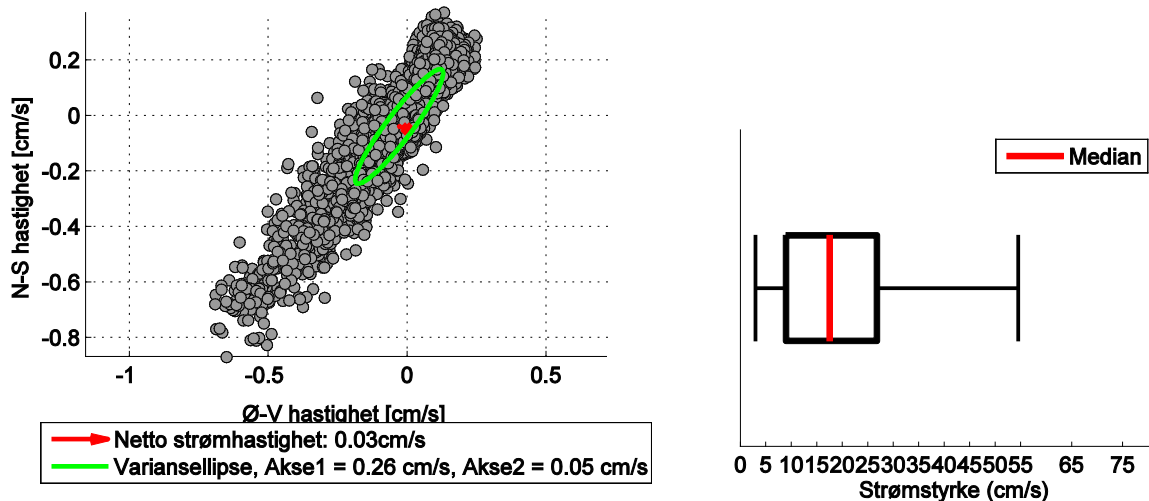
7.1 Stasjoner Kirkenes gytekartlegging 2014

Stasjon	N	Ø	CTD
21	69,85499	30,34257	
22	69,84690	30,30207	Ja
23	69,83895	30,24467	
24	69,87049	30,38250	Ja
25	69,87212	30,31742	
26	69,88624	30,26932	Ja
27	69,91057	30,23333	
28	69,89781	30,15374	Ja
29	69,87944	30,13649	
30	69,86307	30,11500	Ja
31	69,84456	30,10793	
32	69,82946	30,12004	Ja
33	69,81191	30,12186	
34	69,80159	30,15375	Ja
35	69,77906	30,17254	
36	69,77588	30,14517	Ja
37	69,77645	30,10486	
38	69,76594	30,13569	Ja
39	69,75957	30,08710	
40	69,74039	30,06782	Ja
41	69,72608	30,10450	
42	69,71750	30,08820	Ja
43	69,70361	30,10281	
44	69,68787	30,11022	Ja
45	69,73057	30,02848	
46	69,79327	30,09235	Ja
47	69,80187	30,05932	
48	69,78526	30,03985	Ja
49	69,78921	29,98467	
50	69,77450	29,99689	Ja
51	69,77600	29,94861	
52	69,76064	29,93174	Ja
53	69,75927	29,88383	
54	69,76579	29,85925	Ja
55	69,74202	29,88072	
56	69,75019	29,84488	Ja
57	69,75232	29,79217	
58	69,75006	29,75111	Ja
59	69,75047	29,71217	
60	69,74770	29,66924	Ja
61	69,74548	29,63393	
62	69,73238	29,63665	Ja

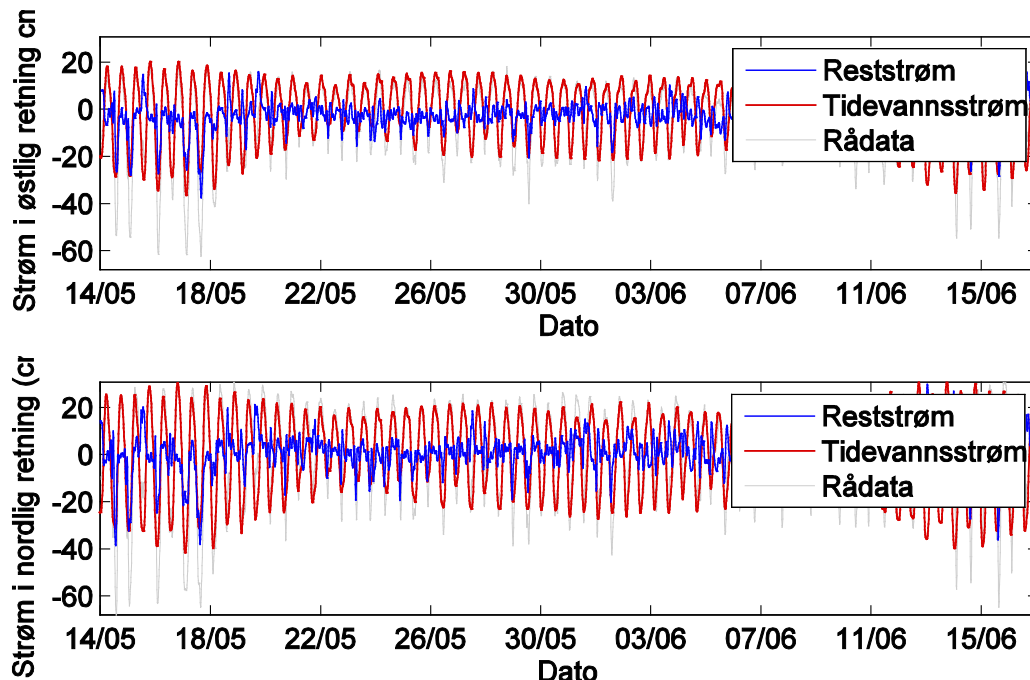
Stasjon	Lat	Long	CTD
63	69,71624	29,60979	
64	69,70225	29,58668	Ja
65	69,68810	29,56101	
66	69,67355	29,52869	Ja
67	69,76260	29,69081	
68	69,76204	29,64168	Ja
69	69,77796	29,70865	
70	69,79372	29,72195	Ja
71	69,80686	29,74917	
72	69,82150	29,77555	Ja
73	69,82397	29,73899	
74	69,83261	29,78840	Ja
75	69,84679	29,77948	
76	69,85857	29,77891	Ja
77	69,87187	29,77781	
78	69,88445	29,78071	Ja
79	69,89259	29,74611	
80	69,90293	29,76318	Ja
81	69,91847	29,85992	
82	69,90093	29,96962	Ja
83	69,87725	30,01292	
84	69,87298	29,97655	Ja
85	69,86306	30,01508	
86	69,85730	29,99688	Ja
86	69,84825	30,03994	
88	69,83730	30,02114	Ja
89	69,82519	30,01412	
90	69,82658	29,97273	Ja
91	69,89391	30,06314	
92	69,91407	30,04090	Ja
93	69,92827	29,93218	
94	69,94161	29,81182	Ja
95	69,92601	29,75752	
96	69,94794	29,69535	Ja
97	69,91428	29,66731	
98	69,93919	29,63278	Ja
99	69,91797	29,58427	
100	69,90282	29,57642	Ja
101	69,92265	29,54106	
102	69,91124	29,49582	Ja
103	69,89622	29,46407	
104	69,88608	29,43913	Ja
105	69,87341	29,43003	
106	69,86678	29,38569	Ja

7.2 Strømmålingsdata

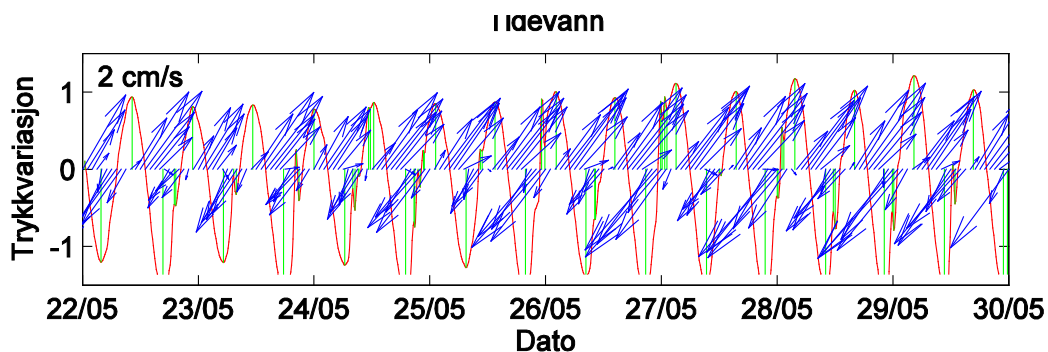
Stasjon 1: RCM Seaguard



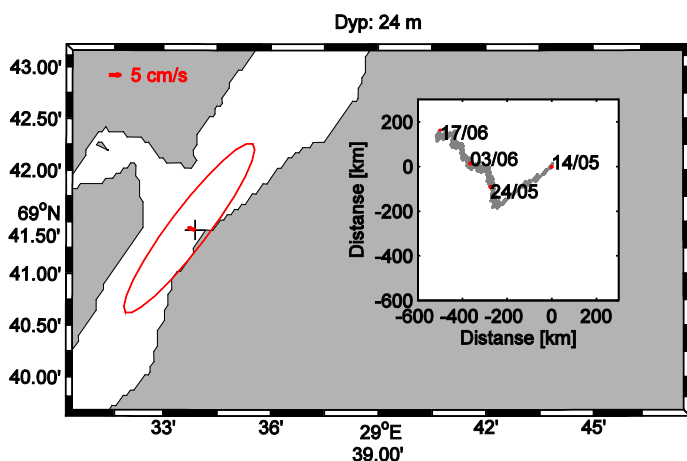
Figur 19 Venstre panel viser et spredningsplott av strømdata. Grøn ellipse representerer variansellipsen til datasettet og rød pil er nettostrøm for måleperioden. Høyre panel viser et boksplott av strømsstyrken. Den svarte boksen viser spennet i strømsstyrke mellom 25-prosentil og 75-prosentil, dvs. at den inkluderer 50% av alle målingene. Den røde linjen viser medianen og de svarte vertikale linjene viser 5-prosentil og 95-prosentil (dvs. 90% av målingene lå innenfor dette spennet).



Figur 20 Estimert tidevannsstrøm (rød) og reststrøm (blå) med rådata i bakgrunnen (grå). Tidevannsanalysen er dekomponert i strøm mot øst (øverst) og strøm mot nord (nederst). Negative verdier indikerer strøm mot henholdsvis vest og sør (oppgitt i cm/s). Den totale strømmen er summen av tidevannsstrøm og reststrøm.

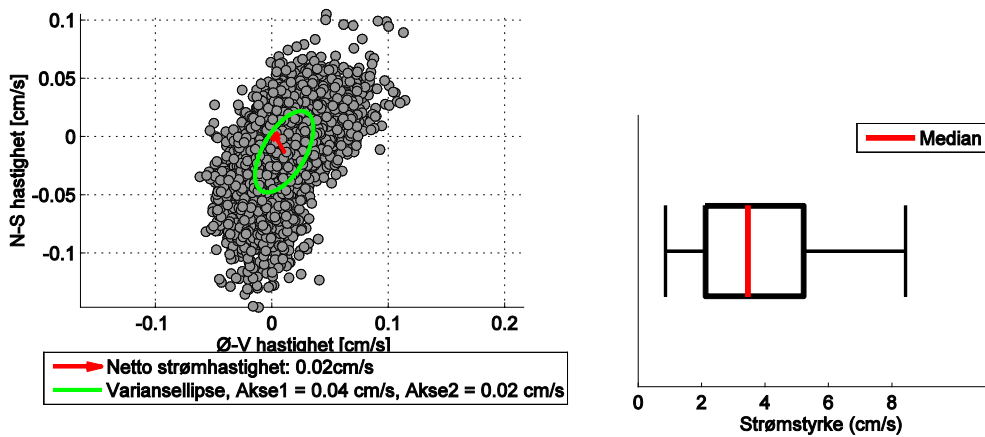


Figur 21 Estimert tidevannsstrøm fra en uke i mai 2014. Blå piler viser retning og styrke til den estimerte tidevannsstrømmen. Resultatet er basert på harmonisk analyse av strømdataene. Den røde kurven viser variasjon i trykket som ble målt av trykksensoren på strømmålerinstrumentet. Middelveiden er trukket fra slik at kurven varierer rundt null. Dette er en god approksimasjon på tidevannsvariasjonen. De grønne vertikale linjene markerer tidspunkt for flo og fjære.

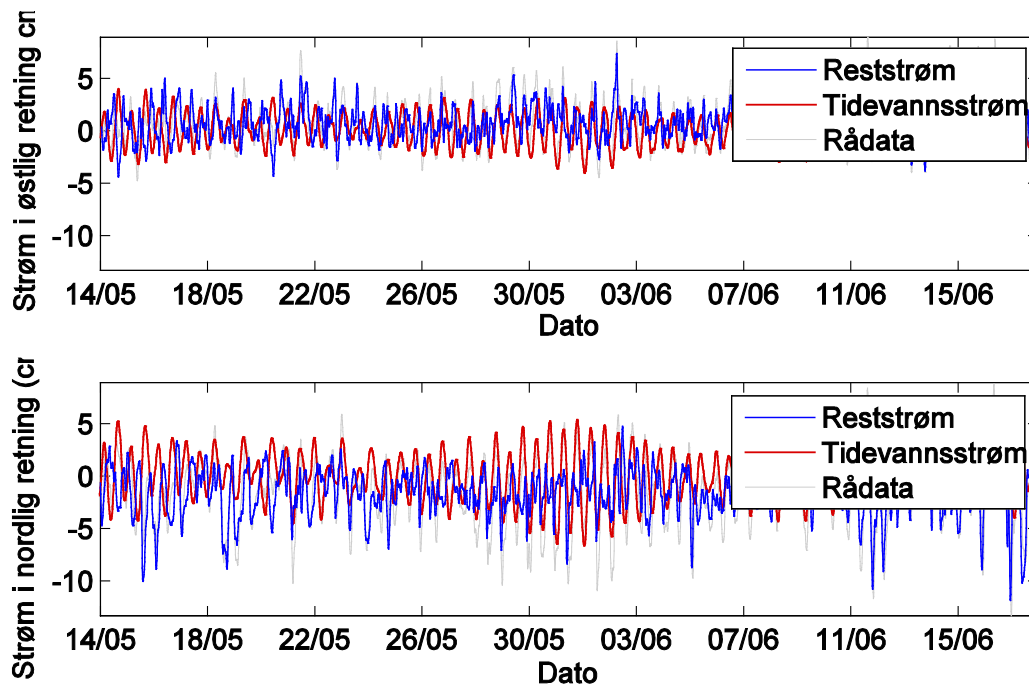


Figur 22 Kart over området med rigg posisjon (svart kryss) og netto-strøm for måleperioden (rød pil). Den røde kurven viser variansellipsen for strømshastigheten. Denne gir et visuelt inntrykk av variabiliteten i både strømretning og styrke. Tilfeller med liten pil i forhold til variansellipsen tyder på det var stor variabilitet i strømmen med en netto-strøm der komponentene i ulike retninger kompenserer hverandre over tid. Eksempel på dette kan være tidevann som strømmer frem og tilbake, men over tid ikke vil ha noe særlig netto-strøm i noen retning. Den røde pilen i venstre hjørnet viser skaleringen av hastighetspilen og representerer 5 cm/s. Størrelsen på variansellipsen tilsvarer et standardavvik av strømvariabiliteten, dvs. at 68% av variabiliteten estimert fra måleperioden lå innenfor denne variansellipsen. Til høyre i figuren vises progressive vektor diagrammer. Noter at lengeskala i disse figurene ikke samsvarer med lengeskala på kartet.

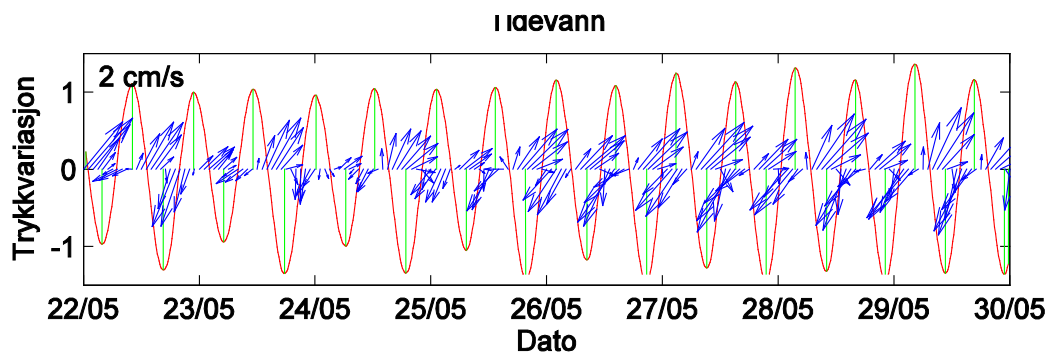
Stasjon 2: RCM Seaguard



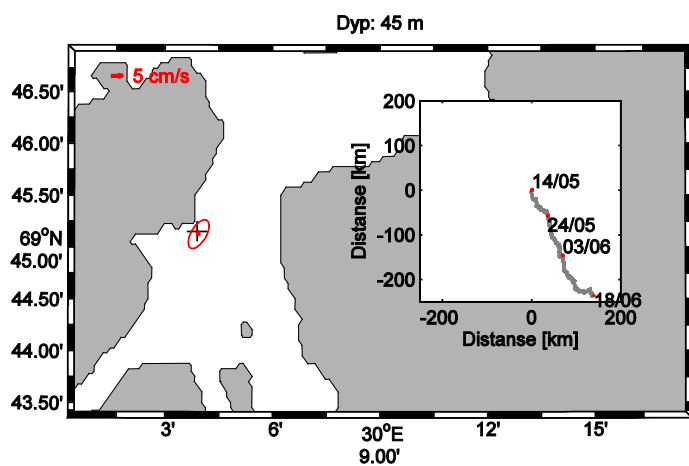
Figur 23 Samme som Figur 18 bare for måledata fra stasjon 2.



Figur 24 Samme som Figur 19 bare for måledata fra stasjon 2.

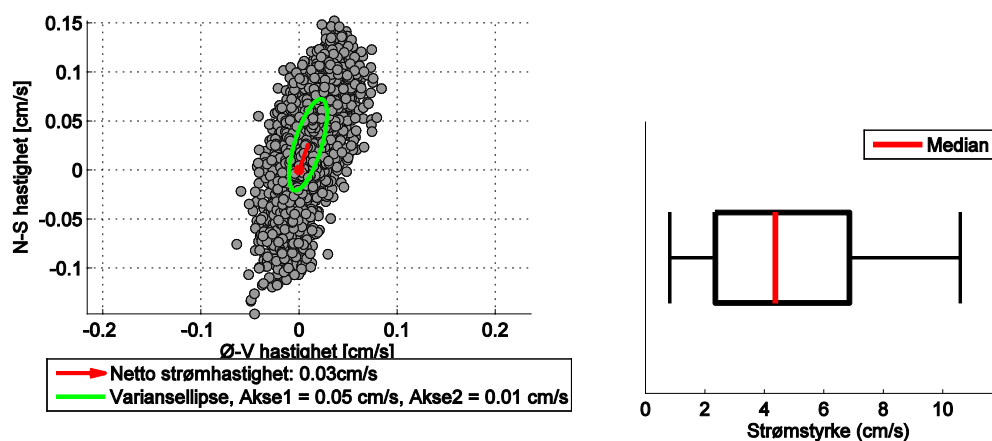


Figur 25 Samme som Figur 20 bare for måledata fra stasjon 2.

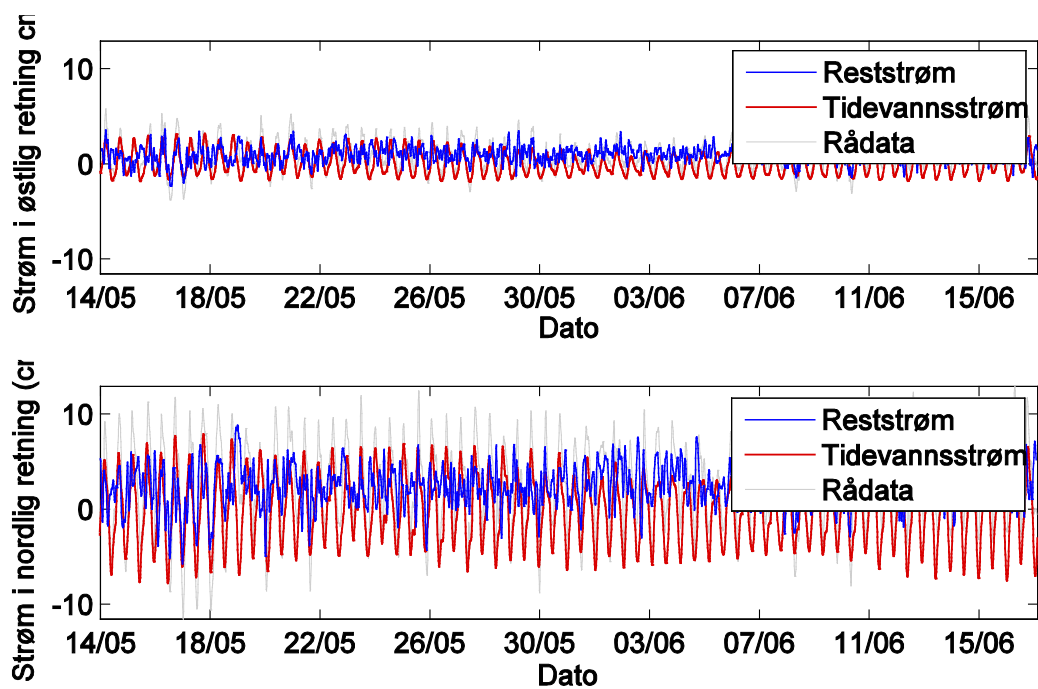


Figur 26 Samme som Figur 21 bare for måledata fra stasjon 2.

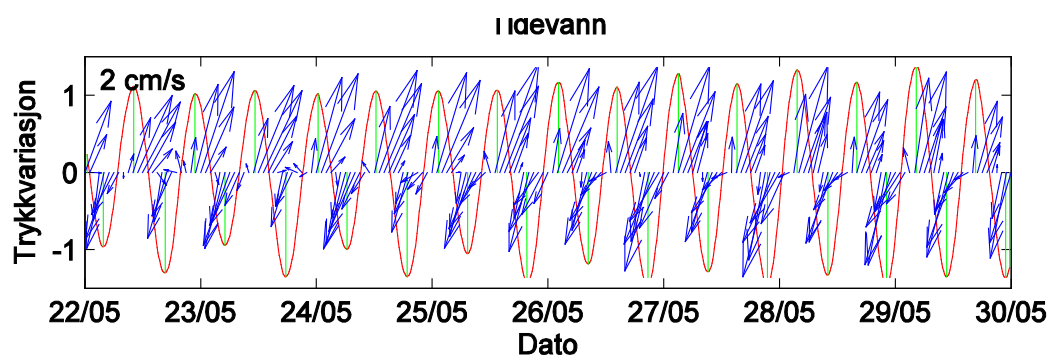
Stasjon 3: RCM Seaguard



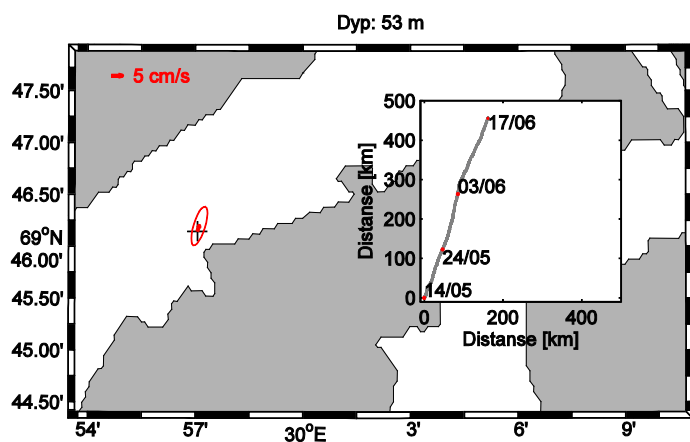
Figur 27 Samme som Figur 18 bare for måledata fra stasjon 3.



Figur 28 Samme som Figur 19 bare for måledata fra stasjon 3.

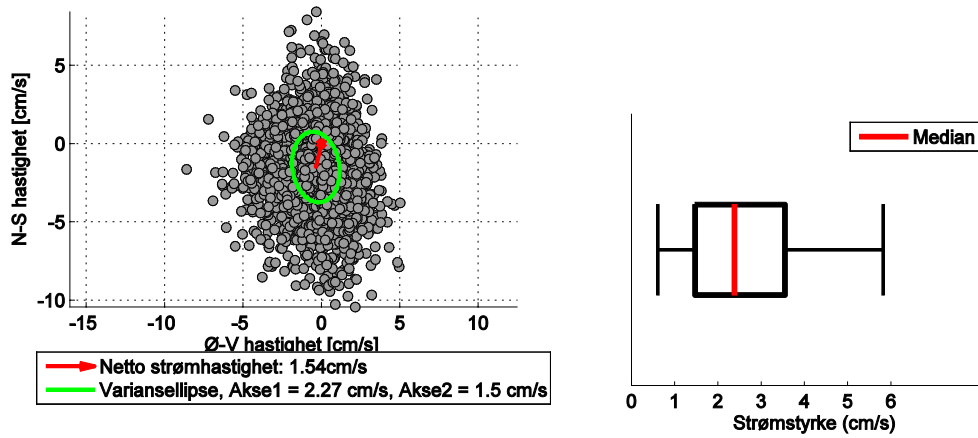


Figur 29 Samme som Figur 20 bare for måledata fra stasjon 3.

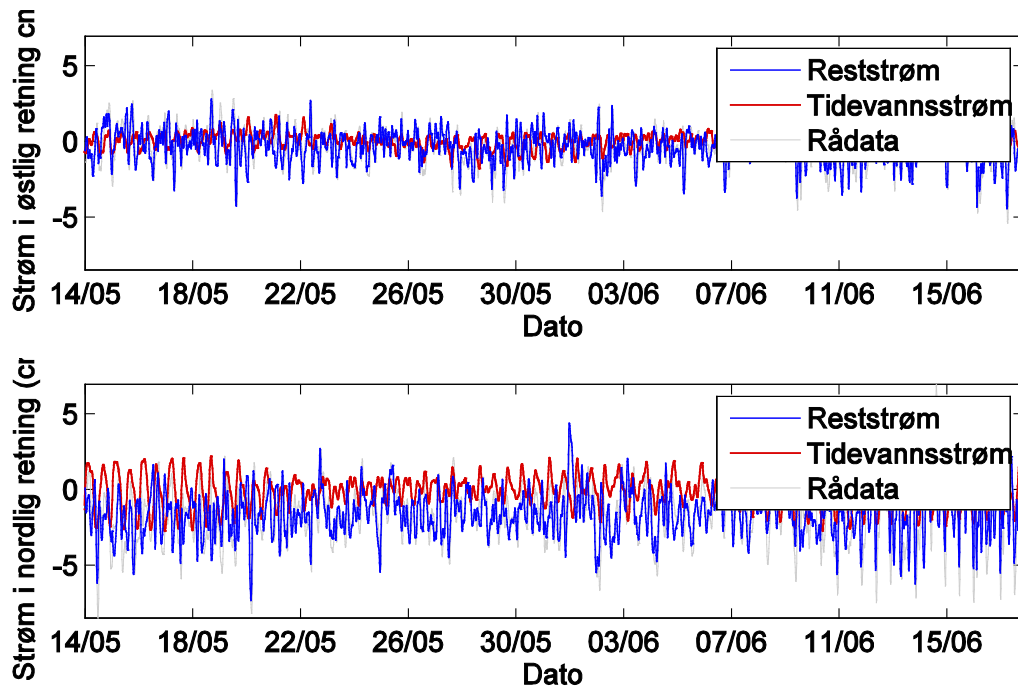


Figur 30 Samme som Figur 21 bare for måledata fra stasjon 3.

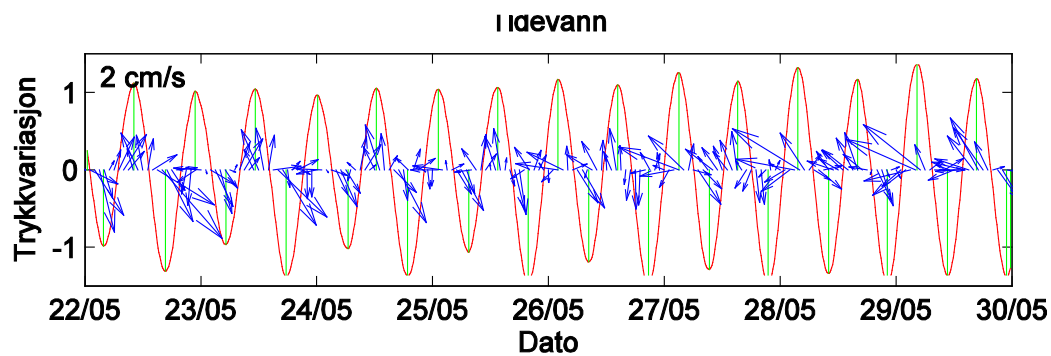
Stasjon 4: RCM Seaguard



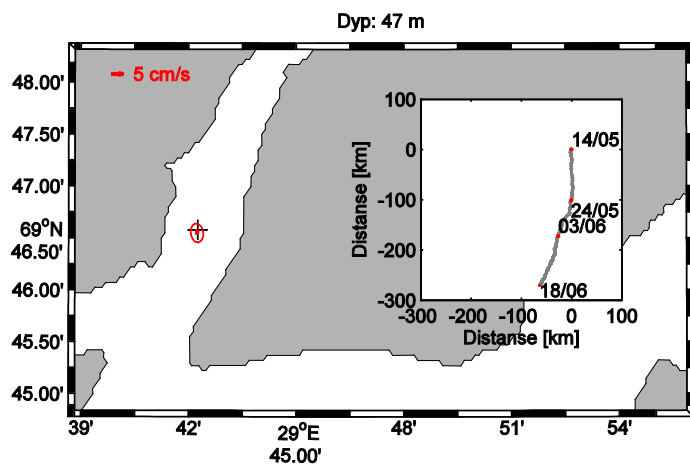
Figur 31 Samme som Figur 18 bare for måledata fra stasjon 4.



Figur 32 Samme som Figur 19 bare for måledata fra stasjon 4.

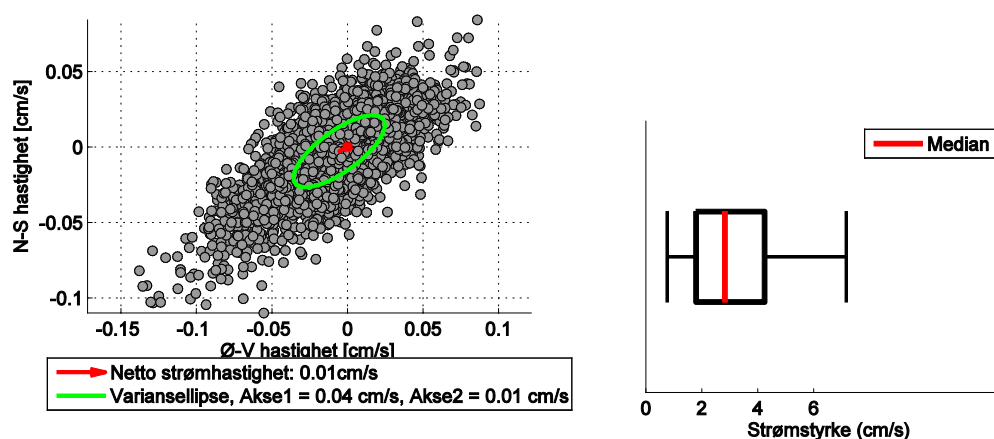


Figur 33 Samme som Figur 20 bare for måledata fra stasjon 4.

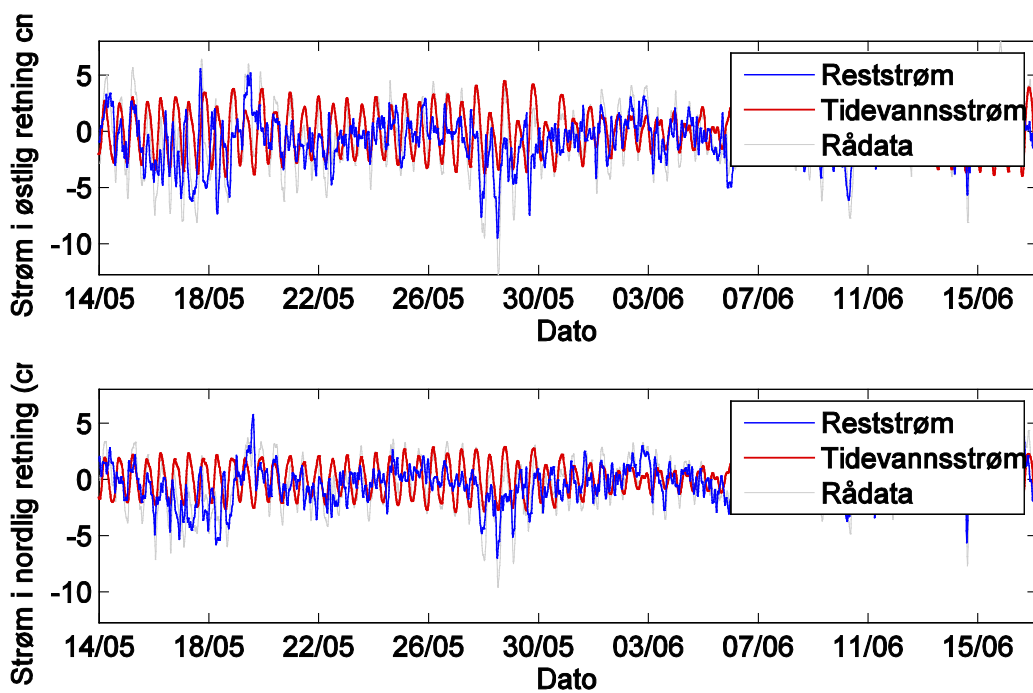


Figur 34 Samme som Figur 21 bare for måledata fra stasjon 4.

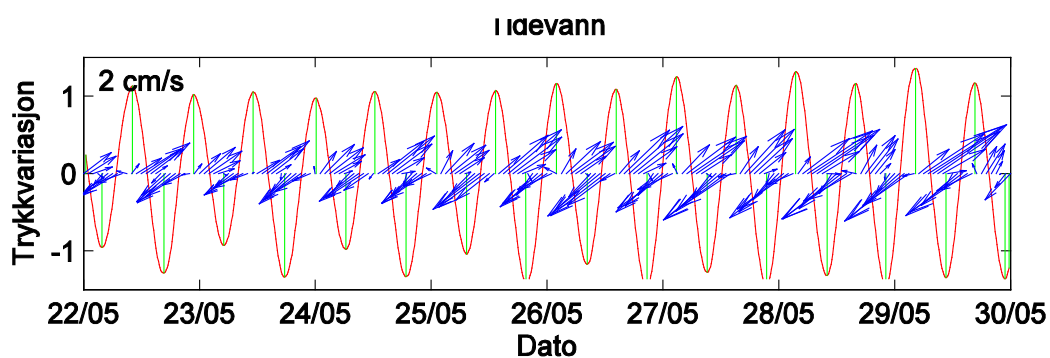
Stasjon 5: RCM Seaguard



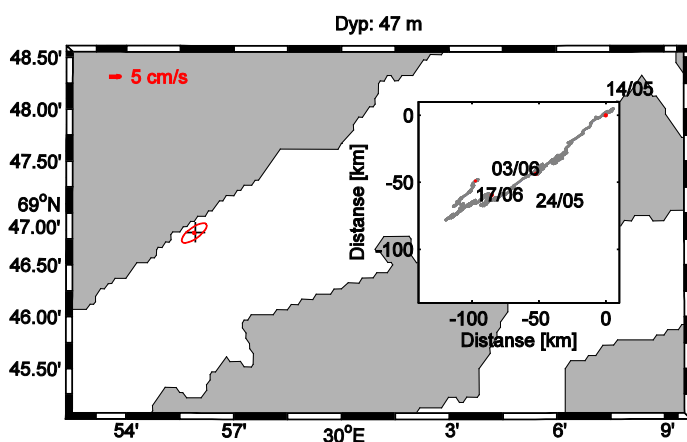
Figur 35 Samme som Figur 18 bare for måledata fra stasjon 5.



Figur 36 Samme som Figur 19 bare for måledata fra stasjon 5.

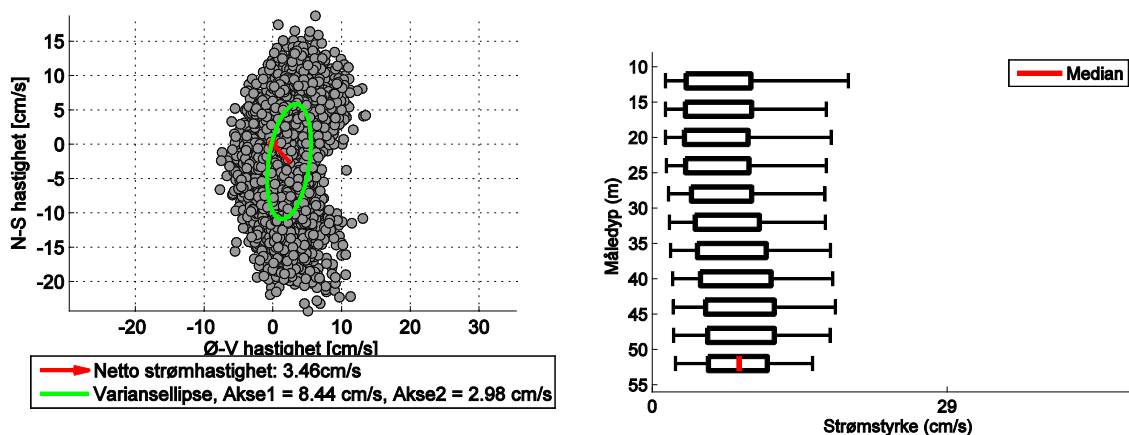


Figur 37 Samme som Figur 20 bare for måledata fra stasjon 5.

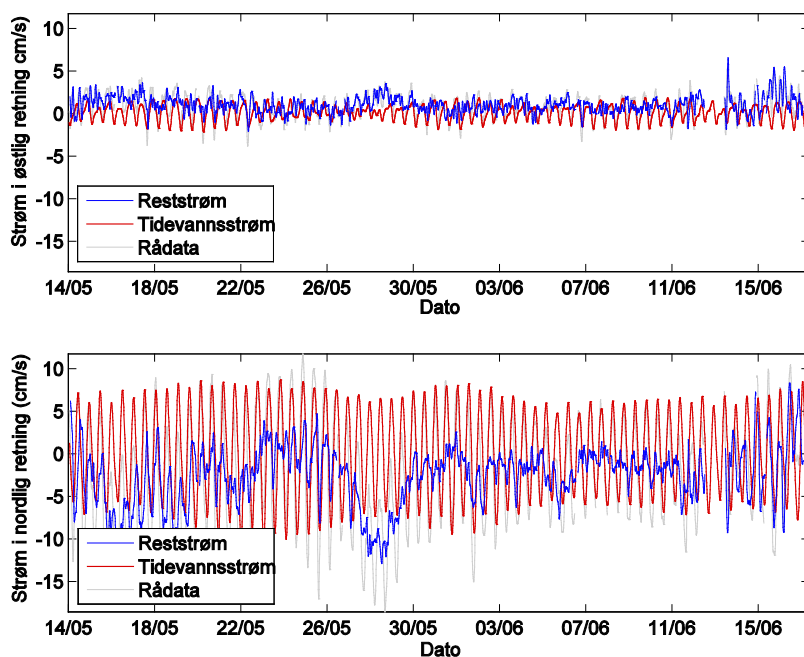


Figur 38 Samme som Figur 21 bare for måledata fra stasjon 5.

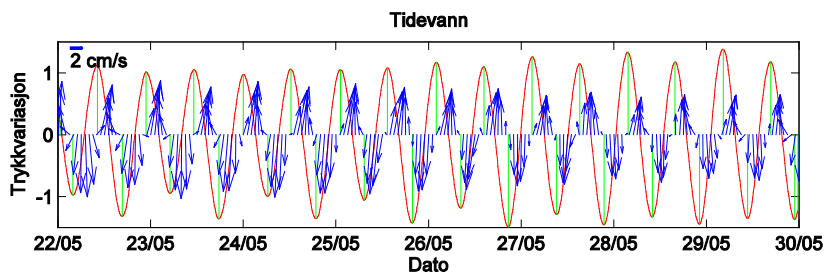
Stasjon 6: Nortek profilerene aquadopp (dypeste nivå – 52 m)



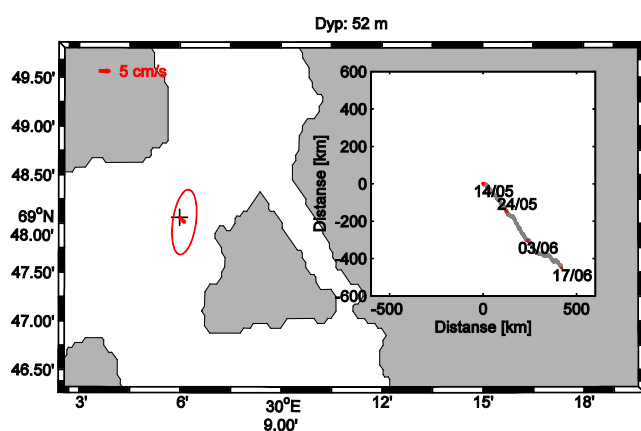
Figur 39 Samme som Figur 18 bare for måledata fra stasjon 6. Spredningsplottet i venstre panel er målinger på dypeste nivå (52m dyp) som korresponderer med de målingene som er brukt i rapporten.



Figur 40 Samme som Figur 19 bare for måledata fra stasjon 6. Tidevannsanalysen er gjort for vertikalmidlet strøm.

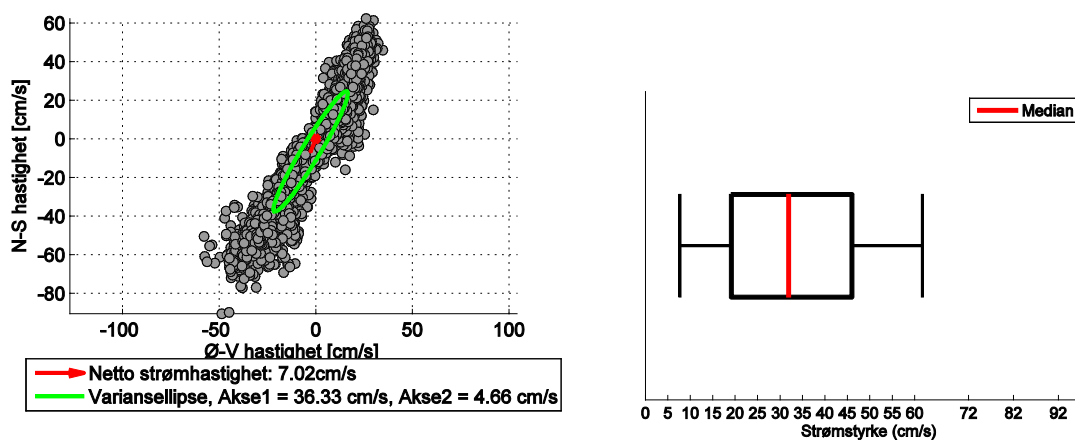


Figur 41 Samme som Figur 20 bare for måledata fra stasjon 6. Tidevannsanalysen er gjort for vertikalmidlet strøm.

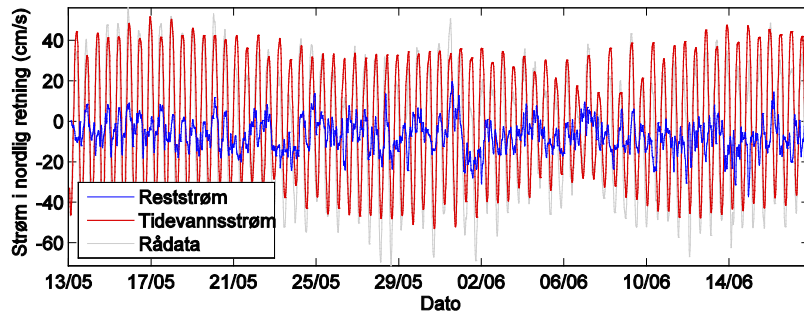
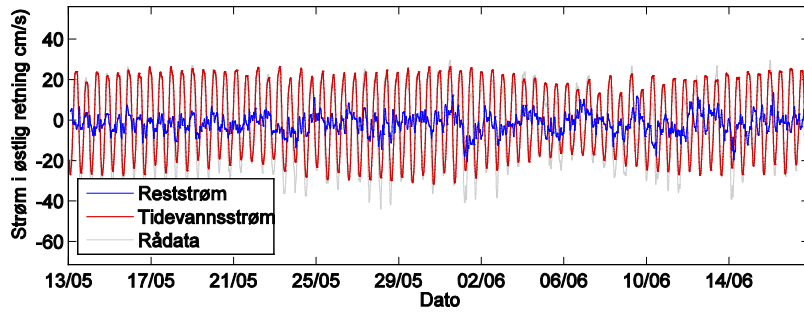


Figur 42 Samme som Figur 21 bare for måledata fra stasjon 6. Dette er målingene fra dypeste cellen i datasettet som er de samme som er brukt i rapporten.

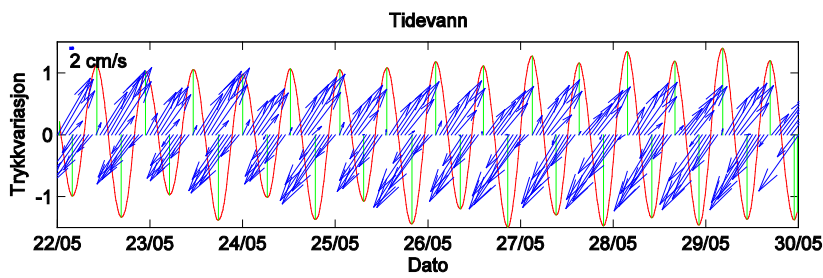
Stasjon 7: Nortek punktmåler



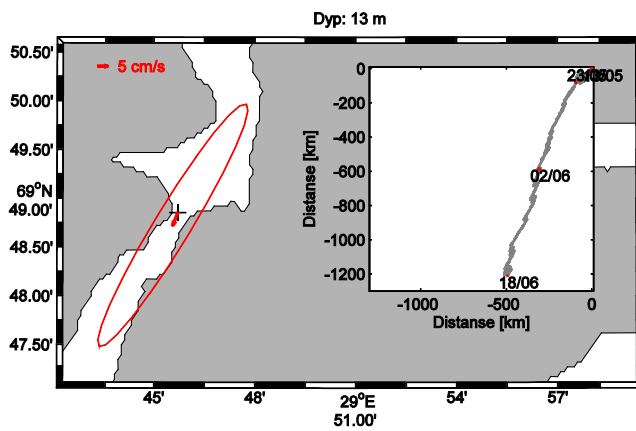
Figur 43 Samme som Figur 18 bare for måledata fra stasjon 7.



Figur 44 Samme som Figur 19 bare for måledata fra stasjon 7.

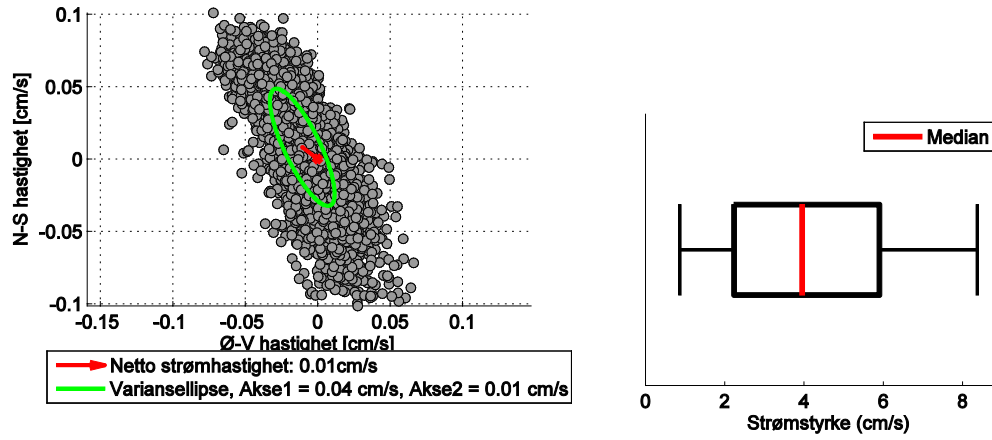


Figur 45 Samme som Figur 20 bare for måledata fra stasjon 7.

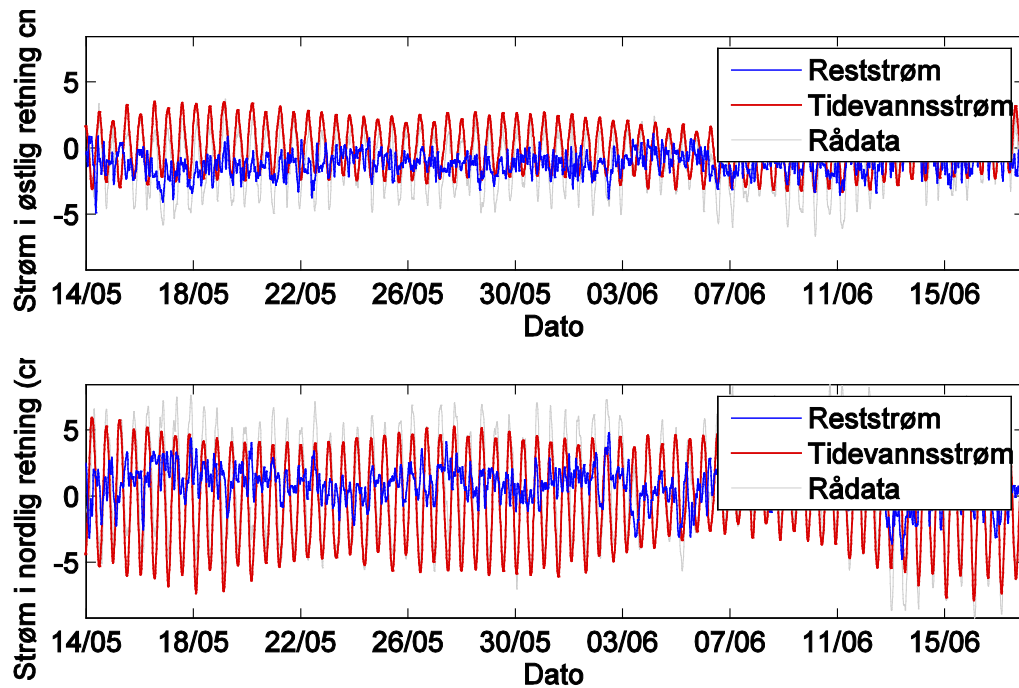


Figur 46 Samme som Figur 21 bare for måledata fra stasjon 7.

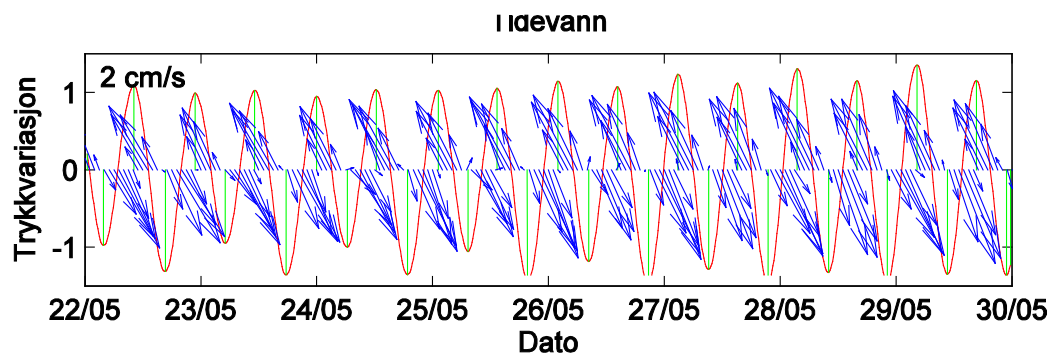
Stasjon 8: RCM Seaguard



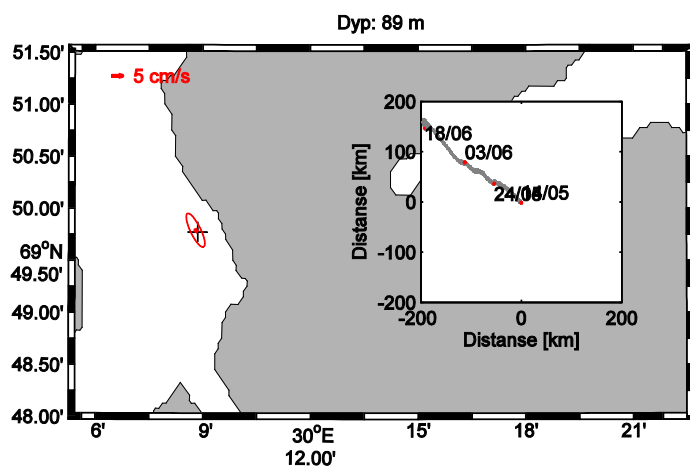
Figur 47 Samme som Figur 18 bare for måledata fra stasjon 8.



Figur 48 Samme som Figur 19 bare for måledata fra stasjon 8.

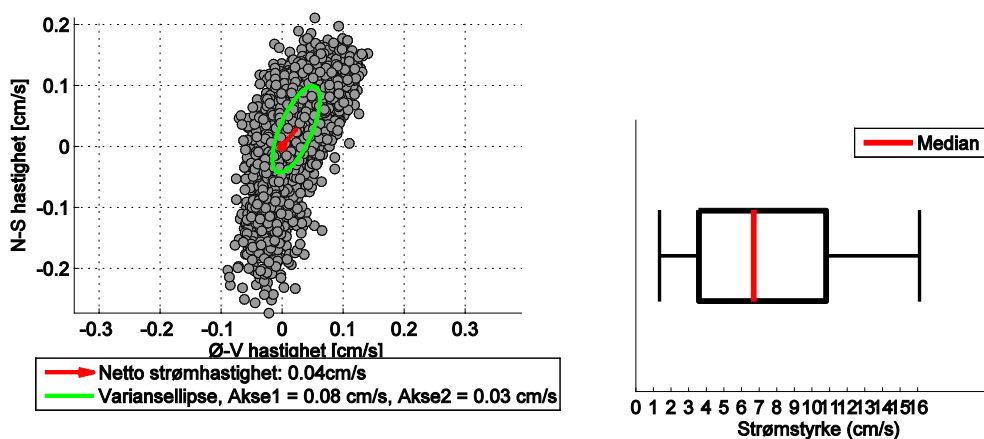


Figur 49 Samme som Figur 20 bare for måledata fra stasjon 8.

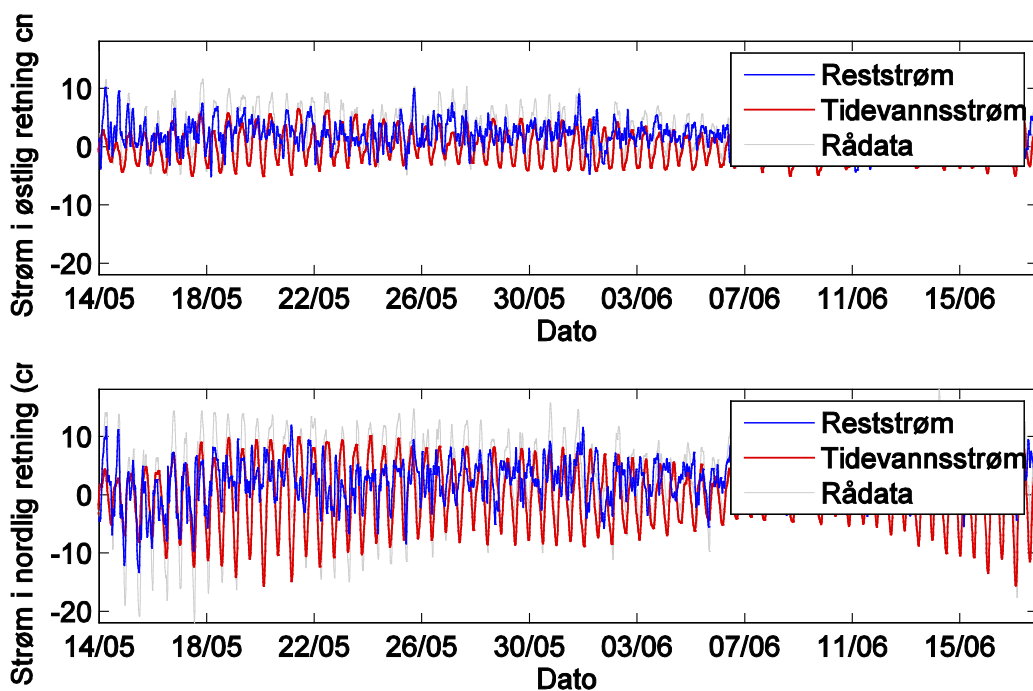


Figur 50 Samme som Figur 21 bare for måledata fra stasjon 8.

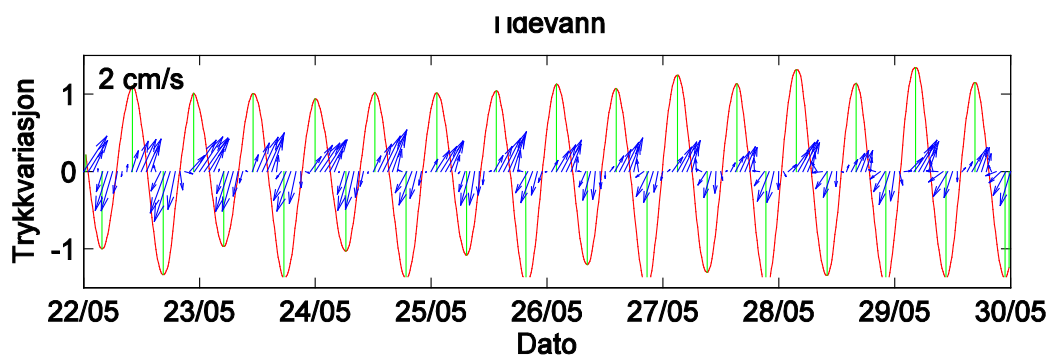
Stasjon 9: RCM Seaguard



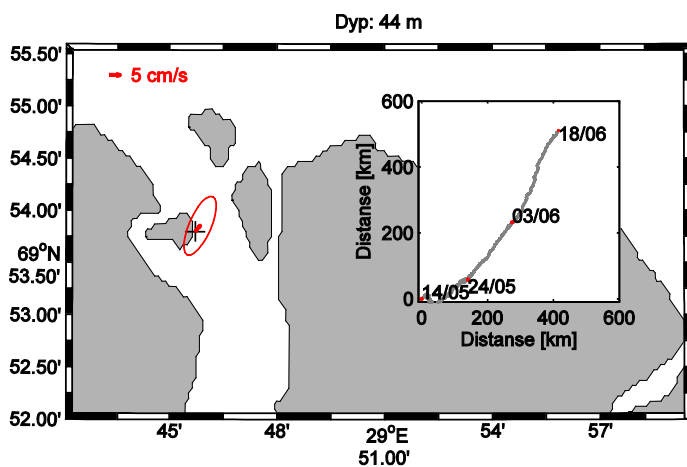
Figur 51 Samme som Figur 18 bare for måledata fra stasjon 9.



Figur 52 Samme som Figur 19 bare for måledata fra stasjon 9.

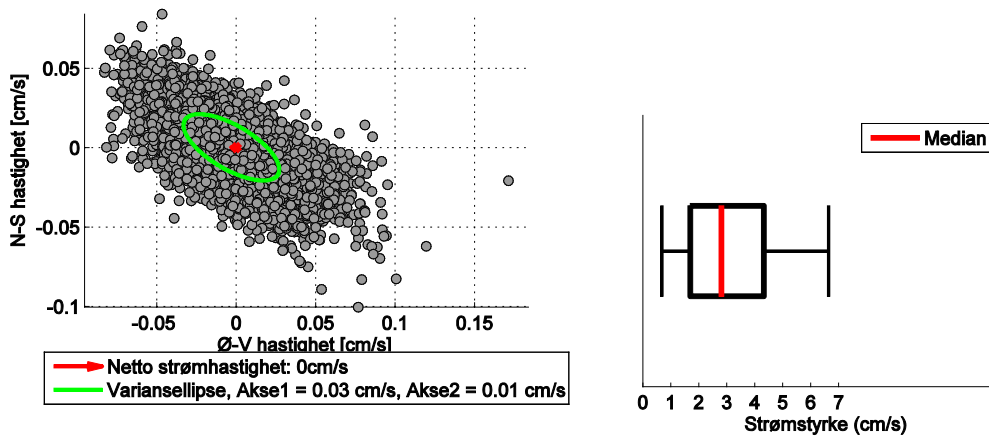


Figur 53 Samme som Figur 20 bare for måledata fra stasjon 9.

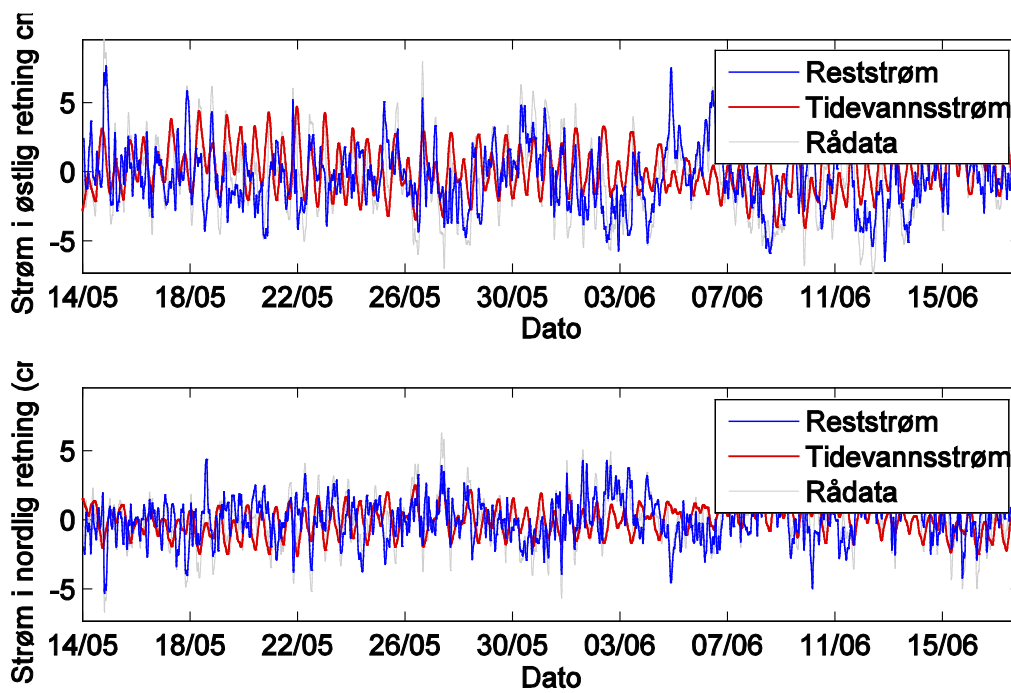


Figur 54 Samme som Figur 21 bare for måledata fra stasjon 9.

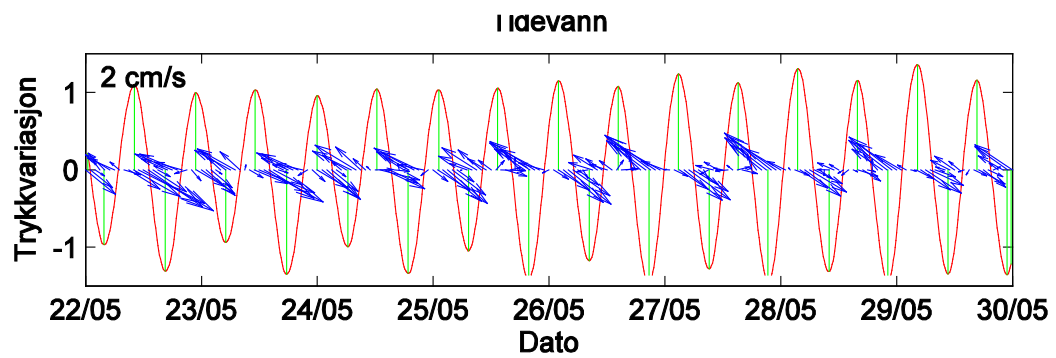
Stasjon 10: RCM Seaguard



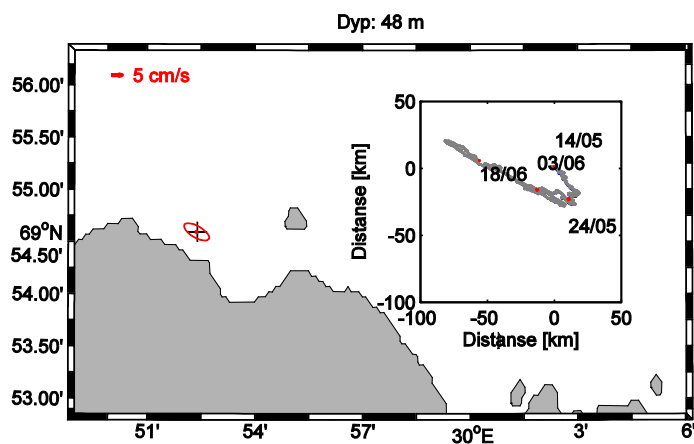
Figur 55 Samme som Figur 18 bare for måledata fra stasjon 10.



Figur 56 Samme som Figur 19 bare for måledata fra stasjon 10.



Figur 57 Samme som Figur 20 bare for måledata fra stasjon 10.



Figur 58 Samme som Figur 21 bare for måledata fra stasjon 10.