



Strømmålinger i Sør fjorden Hardanger



Foto. Uni Research Miljø

Prosess Uni Research Miljø : Sam-marin / Sam Marin / Rapportering / Rapportering
Godkjent dato 26.03.2015 (Silje Hadler-Jacobsen)
Endret dato 26.03.2015 (Silje Hadler-Jacobsen)

Dokumentkategori Vedlegg
Siste revisjon
Neste revisjonsdato



	SAM-Marin	
Uni Research Miljø SAM-Marin Thormøhlensgt. 55 5008 Bergen, Norway		Tlf: 55 58 44 05 E-post: Sam-marin@uni.no Internet: www.uni.no Foretaksreg. nr. 985 827 117 MVA

Rapportens tittel: Strømmålinger i Sjørfjorden i Hardanger	Dato: 30.09-2015
	Antall sider og bilag: 49+77
Forfatter(e): Marte Haave, Einar Bye-Ingebrigtsen, Øyvind Thiem	Prosjektleder: Marte Haave
	Prosjektnummer: 808978
Oppdragsgiver: Fylkesmannen i Hordaland	Tilgjengelighet: Åpen

Abstract: This report presents the results from an investigation of the ocean currents in Sjørfjorden in Hardanger. The current measurements were made over three periods of one month: Sept.-Oct. 2014, Jan.-Feb. 2015 and Apr.-May 2015. The purpose of the project was to give an overview over the main currents from the inner (Eitheim) to the outer fjord (Utne) during three seasons. Sjørfjorden is a heavily polluted fjord, and previous studies have documented high levels of heavy metals and DDT in sediment and biota. There is a potential for resuspension and spreading of particle-bound contaminants with ocean currents. This study provides data which can be used for validating a 3D current model of the fjord, which will be able to estimate resuspension and transport of particles. The results show a general inward flow of water on the west-side of the fjord, and an outward flow on the east-side. The deeper layers at Tyssedal and Børve also show transport of water out of the fjord, but the currents are generally slower near the bottom. The typical wind direction is along the fjord (north-south) since the fjord is sheltered by steep high mountains. In autumn and winter, the currents are generally slow and largely driven by the tide with episodic surface-peaks that are probably wind-driven or influenced by heavy rainfall. In spring, the surface-currents are faster, and the freshwater influence is large. The river Opo releases large masses of water at the head of the Sjørfjorden. This leads to a mixture of physics on different scales that are forcing the currents. Such turbulent areas may have caused the unexpected east-west bound currents measured at one station outside Eitheidsneset. However, this cannot be concluded by this study alone. A large river like Opo should normally result in an outflowing surface current and it is possible that a northern flow occurs near land outside the area monitored by the Acoustic Doppler. Despite the generally northern movement of water in the deeper layers, the predicted particle-vectors at Tyssedal predict that particles will move north-west to the middle of the fjord and then south. At Eitheim, the predicted particle vector is south and west, but the data-resolution cannot detail the currents near land, where the currents may be moving particles northwards. No previous studies have mapped the current systems in Sjørfjorden to this detail. A numerical flow model based on salinity and temperature measurements for the corresponding three periods agrees to a large extent with the measured data. Although we are unable to provide a detailed picture of the currents in the entire fjord at all depths from Eitheim to Utne, the data will be used to refine the existing ocean current model, and as such provide a more complete picture.

Keywords: Sjørfjorden, currents, contaminant resuspension	Emneord: Sjørfjorden, strømmåling, forurensning, resuspensjon
---	---

ISSN NR.: 1890-5153
SAM e-Rapport nr. 15-2015

Ansvarlig for:	Dato	Signatur
Faglige vurderinger og fortolkninger:	30/10-2015 Øyvind Thiem	
Prosjektet / undersøkelsen:	30/10-2015 Marte Haave	

Prosess	Uni Research Miljø : Sam-marin / Sam Marin / Rapportering / Rapportering	Dokumentkategori	Vedlegg
Godkjent dato	26.03.2015 (Silje Hadler-Jacobsen)	Siste revisjon	
Endret dato	26.03.2015 (Silje Hadler-Jacobsen)	Neste revisjonsdato	

SAM-marin er en del av Uni Research Miljø (Uni Research AS), og er akkreditert av Norsk Akkreditering for prøvetaking, taksonomisk analyse og faglige vurdering og fortolkninger under akkrediteringsnummer Test 157.

Følgende er utført akkreditert ved SAM-marin:

Prøvetaking til - analyser, samlet av: -

Litoralundersøkelse utført av: -

Sortering av sediment utført av: -

Identifikasjon av marin fauna utført av: -

Faglige vurderinger og fortolkninger utført av: -

Ikke akkreditert:

Strømmålinger, SPMD utsett, SPMD analyser

Faglige fortolkninger og vurderinger av strømdata ved Øyvind Thiem (Uni Computing)

LEVERANDØRER

Toktfartøy: Kvitsøy Sjøtjenester

Kjemiske analyser utført av: Exposmeter **akkrediteringsnummer**

Akkreditert:

Ikke akkreditert: SPMD analyse og utregninger

Geologiske analyser utført av: - akkrediteringsnummer -

Akkreditert: -

Ikke akkreditert: -

Andre: -

Innhold

Sammendrag.....	2
1. Innledning og bakgrunn	5
Historikk.....	5
2. Material og metode	6
Områdebeskrivelse	6
Plassering av målestasjoner.....	11
Utstyr	13
Tekniske begrensninger.....	14
Passive prøvetakere for analyser av DDT – forbindelser i sjøvann.....	15
Måleperioder	15
Bearbeidelse av data.....	16
3. Resultat	17
Strømmåling.....	17
Høstperiode (16. september – 16. oktober):.....	18
HØST- Eitrheim	19
HØST- Tyssedal	21
HØST- Børve.....	23
Vinterperiode (16. januar-17. februar).....	24
VINTER- Eitrheim	25
VINTER- Tyssedal	27
VINTER- Børve.....	29
Vårperiode (16. april- 19. mai).....	30
VÅR- Eitrheim.....	31
VÅR- Tyssedal.....	33
VÅR- Børve	35
VÅR- Troneset/Utne.....	37
CTD-målinger	39
DDT i sjøvann	40
4. Diskusjon	42
Datagrunnlag	42
Strømforhold	42
Høst.....	42
Vinter.....	43
Vår	43
Værets betydning	45
Partikkelvektorer	45
Begrensninger.....	45
DDT	46
Anbefalinger	46
5. Konklusjon.....	47
6. Litteratur:	48
7. Innhold i Appendix	49

1. INNLEDNING OG BAKGRUNN

Rapporten inneholder resultatene fra oppdrag Straummålinger i Sjørfjorden (ref 2013/6490), bestilt av Fylkesmannen i Hordaland, Miljøvern- og klimaavdelinga, og utført av Uni Research Miljø SAM-Marin. Rapporten har som formål å beskrive mønsteret for hovedstrømmene i overflaten, midtre sjikt og bunnstrøm i Sjørfjorden i Hardanger i tre perioder om høsten, vinteren og våren. Strømforholdene ble kartlagt fra Eitrheimsneset til munningen av Sjørfjorden mot Hardangerfjorden ved Utne.

Seksjonen for Anvendt Miljøforskning (SAM-Marin) er en del av Uni Research sin avdeling Uni Miljø. Seksjonen har foretatt marine miljøundersøkelser og miljøovervåking på oppdrag fra kommuner, oljeselskap, industri og fiskeoppdrettere siden begynnelsen av 1970-tallet.

Arbeid utført av SAM-Marin er underlagt kvalitetssikringssystemet ISO 17025 og avdelingen er akkreditert for miljøovervåking og prøvetaking av Norsk Akkreditering (akkrediteringsnr. Test157). Utsett av strømmålere er ikke utført akkreditert, men gjøres etter gjeldende retningslinjer, og etter opplæring av NORTEK. Utsett av passive prøvetakere (Semipermeable Membrane device- SPMD) ble gjort etter retningslinjer fra NIVA, men er ikke utført akkreditert. Analysene av DDT- og DDT-metabolitter (DDE, DDD) i SPMD ble utført av Exposmeter AB (ikke akkreditert), Sverige. Utrengninger av vannkonsentrasjon ble gjort av Exposmeter (ikke akkreditert).

Historikk

Miljøforholdene i Sjørfjorden har vært underlagt statlig overvåking siden 1979. Sjørfjorden har vist seg å være svært forurensset av tungmetaller etter mange års industri, og med fortsatt pågående utslipp (NIVA 2013). Selv om utslippene er sterkt redusert fra 773 tonn bly og 1000 kilo kvikksølv i 1985 (NIVA 2013), var det fortsatt utslipp av tungmetaller til sjø i 2012, selv om mengdene var kraftig redusert. Eksempelvis ble det sluppet ut 0,77 tonn bly, 40 kilo kadmium, og 2,2 kilo kvikksølv til Sjørfjorden fra to bedrifter (NIVA 2013). I tillegg kommer avrenning fra land og spredning av tidligere utslipp. På bakgrunn av de høye tungmetallkonsentrasjonene har Mattilsynet innført kostholdsråd for fisk og skalldyr i Sjørfjorden.

Konsentrasjonene av tungmetaller i vannmassene har gått ned de senere årene (NIVA 2013). Tungmetaller binder seg til partikler, og vil dermed følge partiklenes bevegelser. Med andre ord vil partikler med adsorberte tungmetaller kunne sedimentere eller fraktes i vannmassene, avhengig av strømforholdene. Dersom strømhastigheten er tilstrekkelig, vil partiklene kunne remobiliseres fra bunnen og spres med havstrømmene. Et av hovedmålene med denne undersøkelsen har således

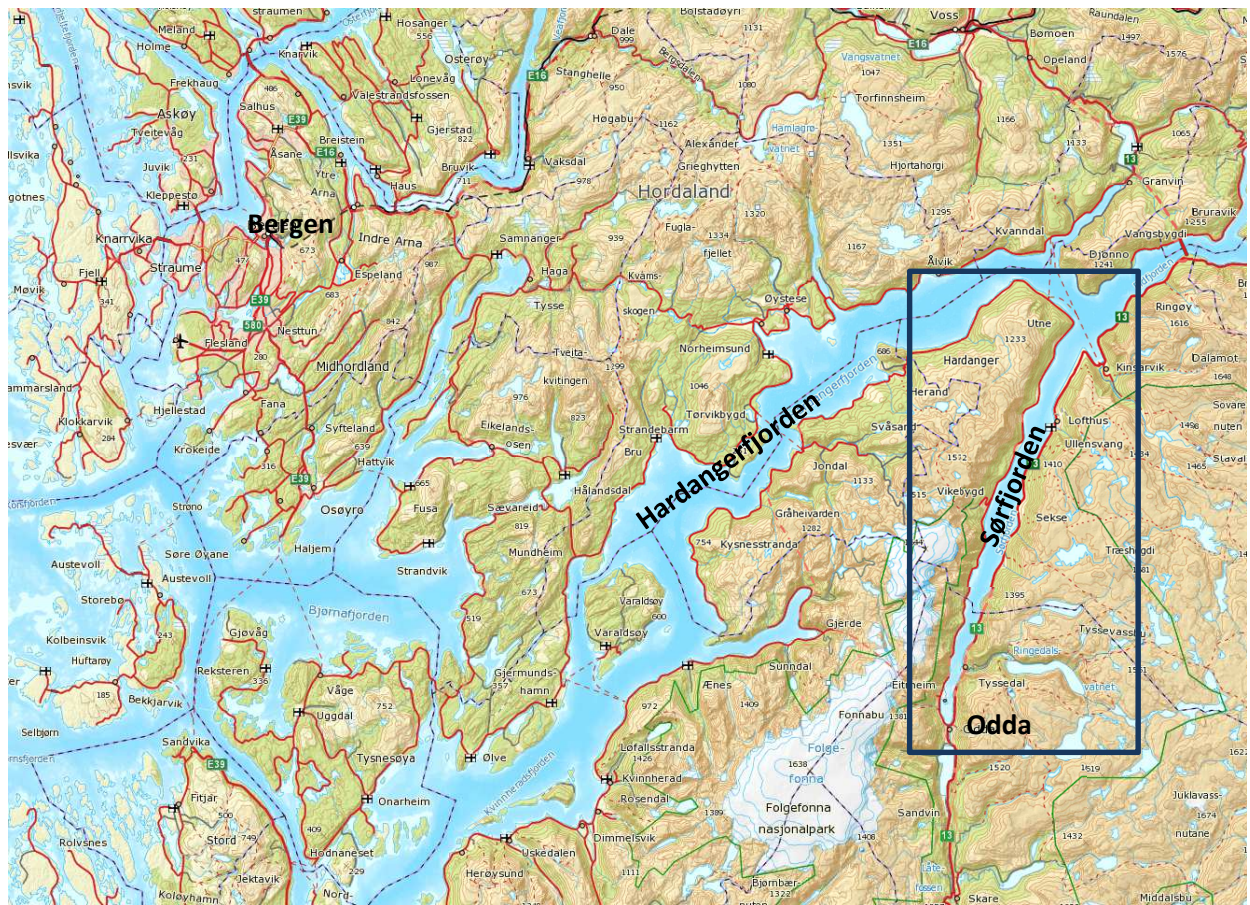
vært å kartlegge hovedstrømmene i fjorden, som vil gi et datagrunnlag for å modellere partikkeltransport og vurdere spredning av miljøgifter fra de indre deler av Sjørfjorden til områdene utenfor, der det blant annet drives akvakultur. Målepunkter ved utløpet mot Hardangerfjorden, ved Troneset, ble også inkludert for å kartlegge hovedstrømretning og for å belyse vanntransport og mulig spredning av det lite nedbrytbare pesticidet DDT i et område som tidligere har vist høye DDT konsentrasjoner (NIVA 2013). DDT var i bruk frem til 1970 (Botnen og Johansen 2006), og det er sannsynlig at de høye DDT/DDE nivåene skyldes utvasking fra forurenset jordsmonn, og/eller lekkasje fra nedgravde tanker med DDT.

2. MATERIAL OG METODE

Områdebeskrivelse

Sjørfjorden er en ca. 38 km lang og smal fjord (Fig. 2.1 og 2.2) med dyp fra ca. 50 meter innerst ved Eitrheimsneset (Fig 1.3) til et område med ca. 370-380 meter mellom Børve og Digranes. Ved Børveneset er det en forhøyning som går opp til ca. 300 meters dyp. Ved utløpet er fjorden ca. 400 meter dyp, og faller der brått mot 700 meter ut til Hardangerfjorden (Fig. 1.5). Det er ingen terskler i munningen som hindrer vannutskiftningen til Sjørfjorden. Den smale fjorden ligger skjermet for vind, omkranset av høye fjellsider som modifierer vindstyrken når vindretninger ikke går langsmed fjorden i nordlig eller sørlig retning. Der fjorden vider seg ut ved Børve, og også lengre ute ved Kinsarvik og Utne, kan også østlige og vestlige vinder medføre større omrøring i overflaten. Sjørfjorden er sterkt ferskvannspåvirket av store elver som Opo som renner ut fra Sandvinvannet innerst i Odda. Utstrømmingen av ferskvann fra dette vannet kan være stor (maksimalt 227 m³/s, og gjennomsnitt 43 m³/s målt i 2012 (NIVA 2013). Årsmiddel for vannføring er ca. 30-40 m³/s (NIVA 2013). Også Tyssø, som renner ut ved Tyssedal, medfører tidvis stor ferskvannstilførsel til Sjørfjorden, noe som kan ha betydning for strømmålingene. Overflatelaget i Sjørfjorden er ofte preget av brakkvann i perioder med mye regn og/eller snøsmelting. Variasjonen i salinitet gjennom året er tidligere rapportert (NIVA 2013).

Vekselvirkninger mellom lett brakkvann i overflaten og tyngre, saltare sjøvann som legger seg under, medfører inn- og utstrømming i de ulike vannsjiktene. Disse strømmene av vannmasser til Sjørfjorden fra Hardangerfjorden er beskrevet av NIVA (2013), og er også modellert av Thiem et al (2012) Innstrømming av vann vil også medføre en kompensasjonsstrøm i motsatt retning. Dette betyr at strømmen kan bevege seg i motsatt retning i de ulike vannlagene. Ofte vil slike skiller forekomme rundt sprangsjiktet.



Figur 2.1 Kart over Hordaland, med Bergen, Odda, Hardangerfjorden og Sjørfjorden. Rammen viser område for utsnitt i Figur 2.2. Kartkilde: Norgeskart.

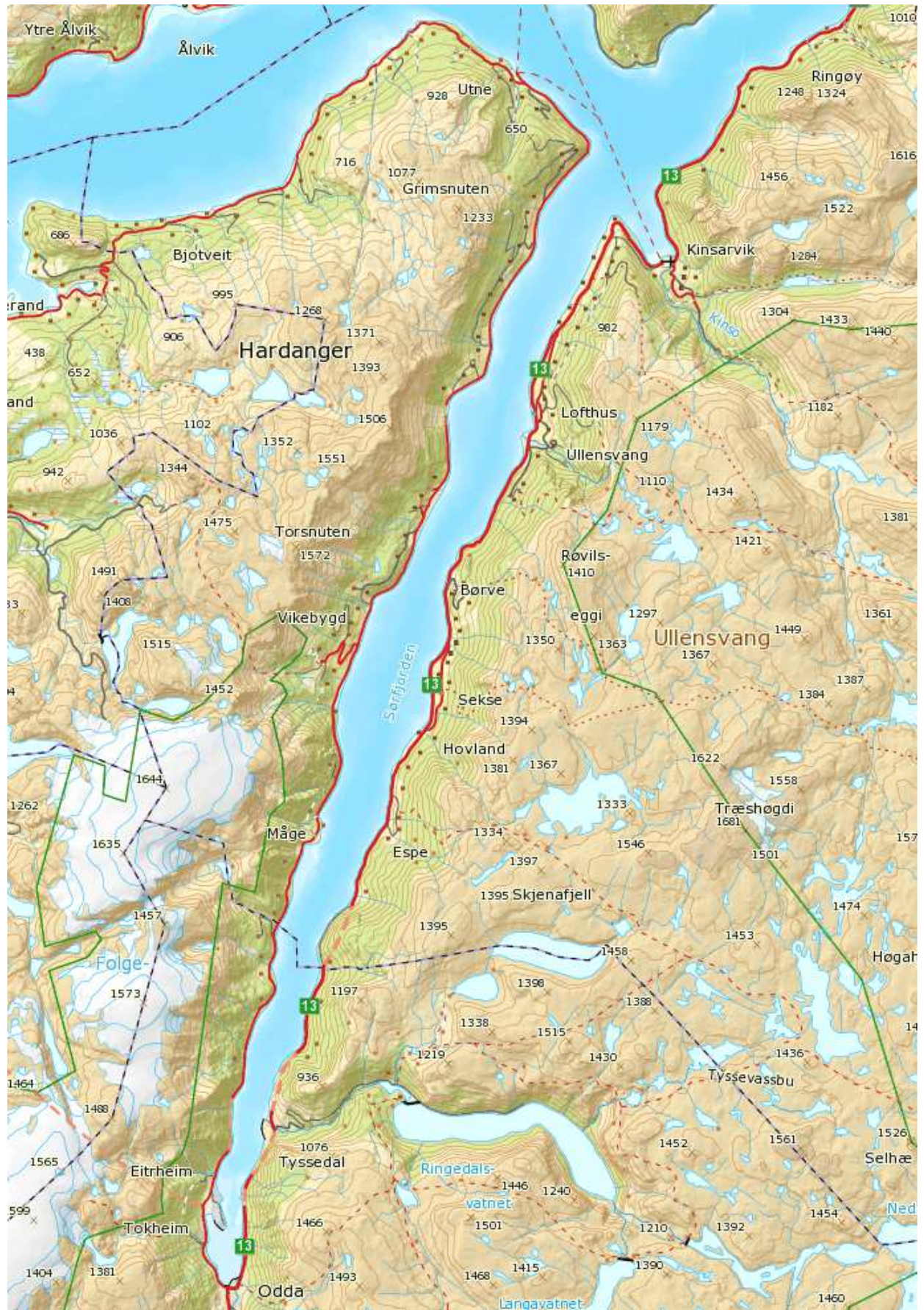


Fig. 2.2 Utsnitt av Sørfjorden som viser plasseringen av Odde, Eitrheim, Tyssedal, Børve, og Utne. Kartkilde: Norgeskart.

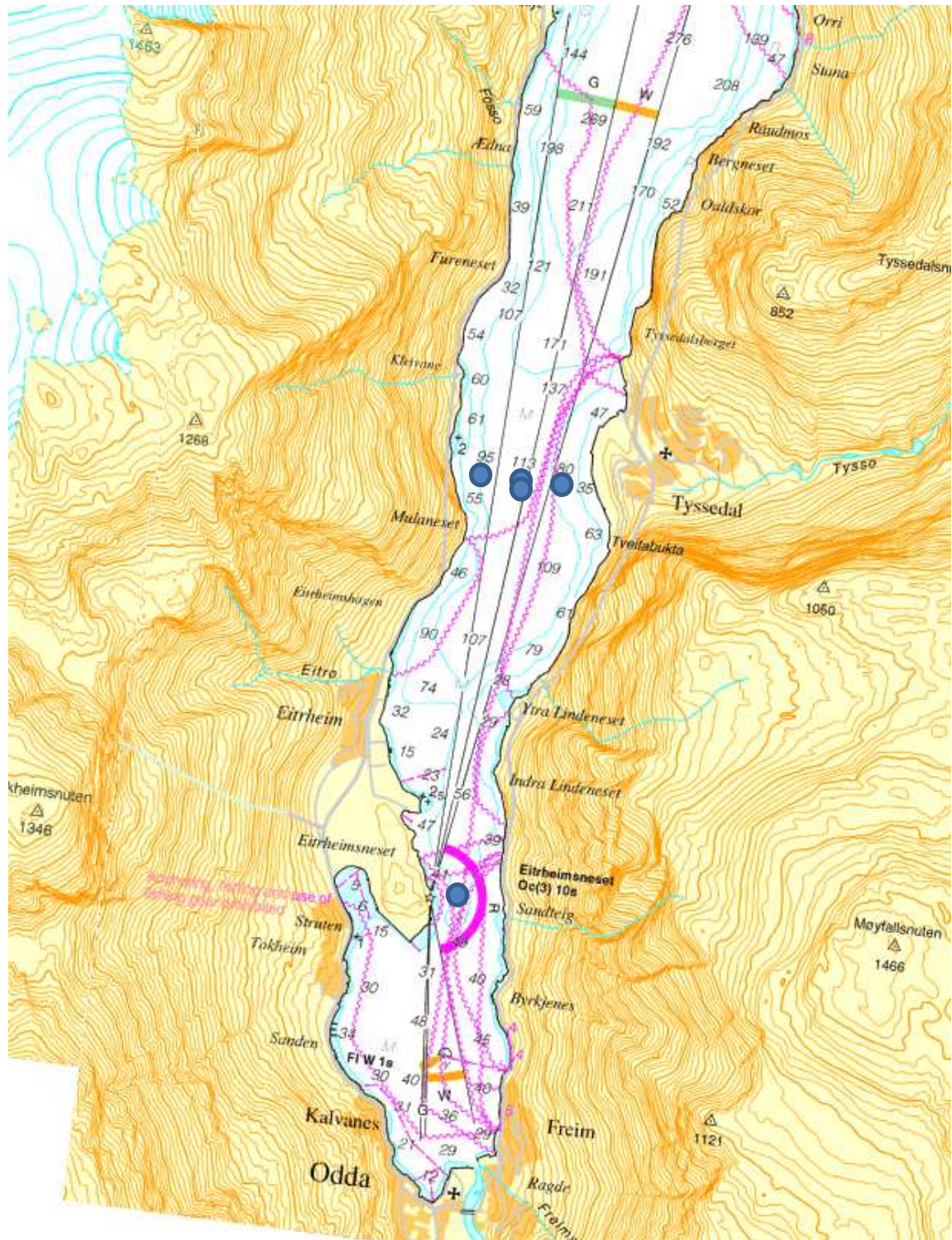


Fig 2.3. Utsnitt av Sørfjorden som viser plassering av 400 kHz Aquadopp® Profiler strømmålere (blå sirkler) ved Eitrheimsneset og Tyssedal. Kartkilde: Norgeskart.

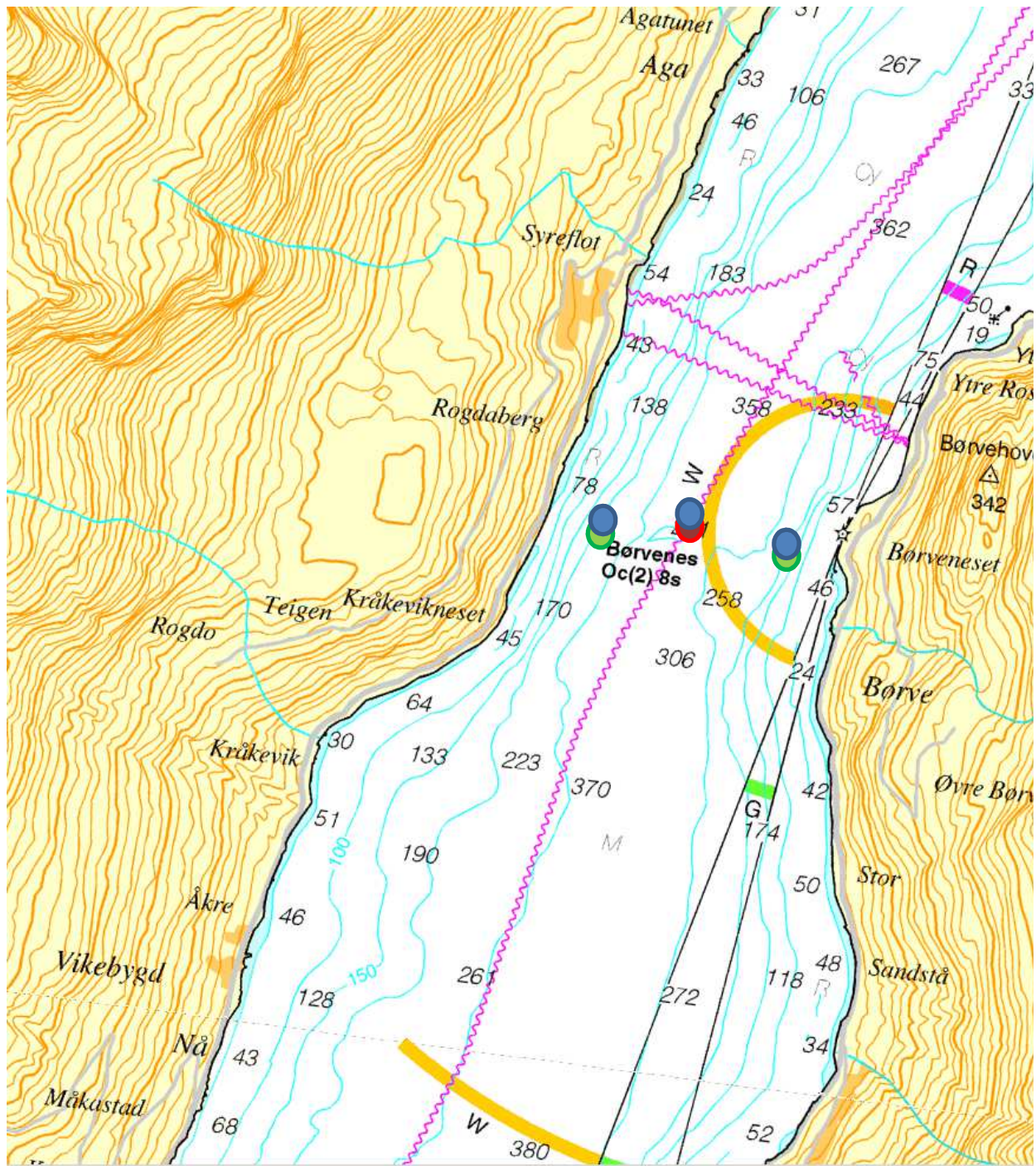


Fig 2.4. Utsnitt av Sørfjorden som viser plassering av profilerende strømmålere av type Continental (190 kHz: rød sirkel) og Aquadopp[®] Profiler (400 kHz: blå sirkler)- ved Børve og Rogdaberg. En ekstra 400 kHz Aquadopp[®] Profiler ble benyttet ved Rogdaberg (vest) i september 2014, og ved Børve (øst) i januar 2015 (grønne sirkler). Kartkilde: Norgeskart.

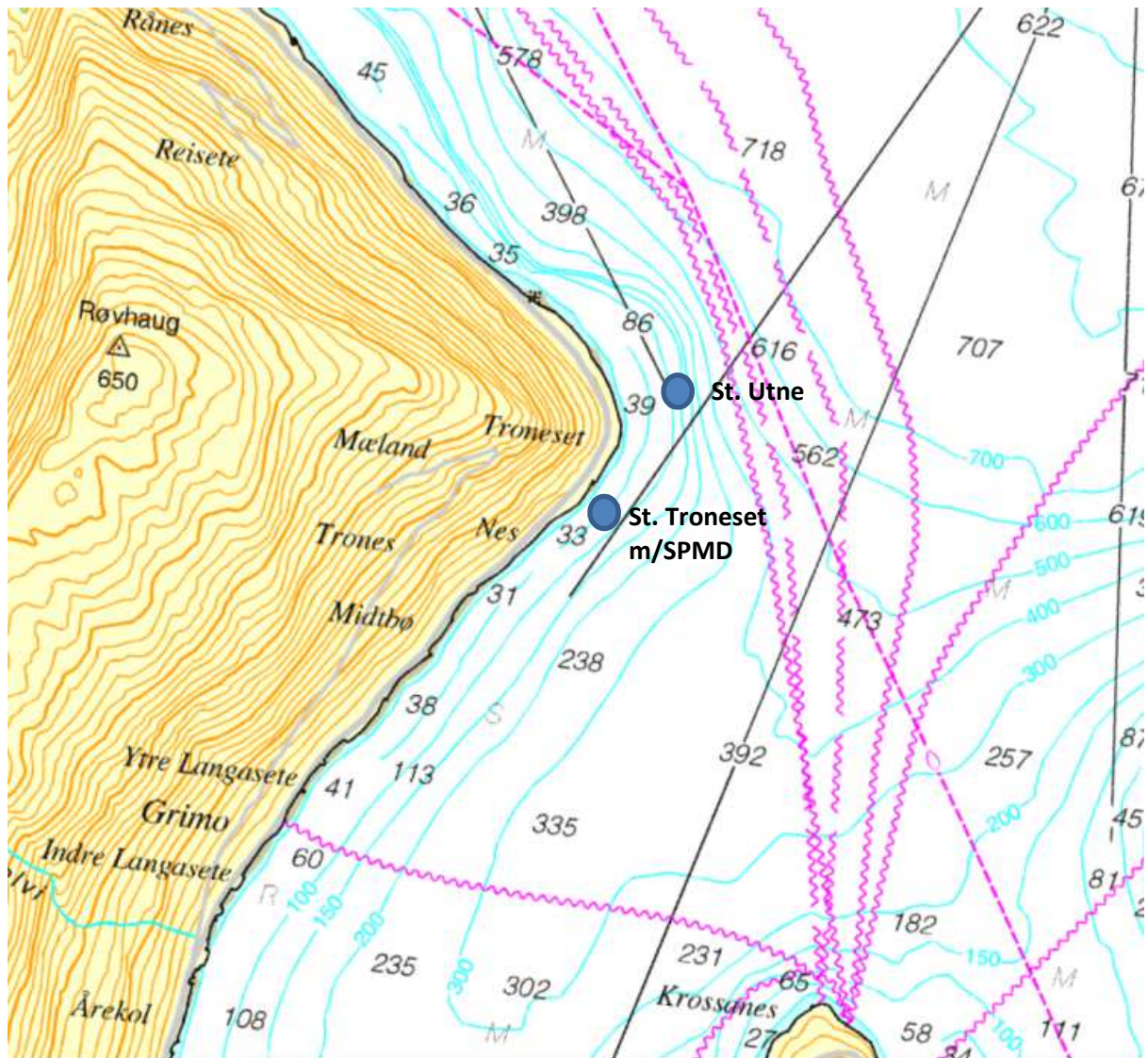


Fig 2.5. Utsnitt av Sjørfjorden som viser plassering av profilerende strømmålere (blå sirkel) av type Aquadopp® Profiler (400 kHz)- ved Troneset i april. Ved den innerste stasjonen ble det også satt ut passive prøvetakere av typen Semipermeable Membrane Device (SPMD) for analyse av klororganiske pesticider (DDT) i sjøvann.

Plassering av målestasjoner

Målepunktene er valgt i samarbeid med Uni Research Computing, som utførte en simulering av strømningsforholdene i Sjørfjorden i 2012 (Thiem et al. 2012) ved hjelp av en numerisk modell (Bergen Ocean Model) basert på stratifiseringsdata fra NIVA. Uni Computing har gjennom dette arbeidet fått god kjennskap til hvilke områder som er avgjørende å undersøke for å kartlegge hovedstrømmer i fjorden. Oppsettet som her er benyttet har også til hensikt å fremskaffe data som kan brukes til å validere de tidligere modellerte strømsystemene. Plasseringen av stasjonene har tatt hensyn til forventet turbulens og strømvirvler som følge av topografien, og er lagt der man har forventet jevne strømmer basert på den eksisterende strømmodellen. Nortek AS har bistått i planlegging av utsett og utstyrsbruk for å oppnå best mulig data fra hvert målepunkt. Det var et mål

at strømndata ikke ville reflektere spesielle forhold eller områder, men være representative for hovedstrømmene i området. Det ble også tatt hensyn til at topografiske forhold ikke skulle forstyrre signalet fra profilmålerne, f.eks. ved refleksjon fra fjellvegger. I tilfeller der bunntopografien har vært svært bratt og det er store steinblokker under vann, vil en liten horisontal forflytning medføre flere titalls høydemeter. Dette har skjedd ved Rogdaberg, på vestsiden ved Børve, og har redusert måleområdet noe i enkelte perioder.

Tabell 2.1. Stasjonsopplysninger, utstyr og målerdyp for strømmålere satt ut i Sørfjorden i september 2014, samt i januar og april 2015.

Stasjon Dato	Sted Posisjon (WGS-84)	Bunndybde (m)	Måleområde* Høst (m)	Måleområde* vinter/vår (m)	Målertype
Eitrheimsneset (EM)	60° 05,287' N 06°32,661' Ø	50	0-47	0-47	AquaPro 400kHz
Tyssedal Vest (TV)	60° 06,854' N 06°32,335' Ø	65-75 (svært bratt)	0-60	0-55	AquaPro 400kHz
Tyssedal Midtre (TM)	60° 06,848' N 06°32,681' Ø	115	0-55	0-50	Topp: AquaPro 400kHz
			60-115	55-115	Bunn: AquaPro 400kHz
Tyssedal Øst (TØ)	60° 06,850' N 06°33,032' Ø	70	0-65	0-50	AquaPro 400kHz
Rogdaberg (Børveneset Vest- BV)	60° 16,818' N 06°35,937' Ø	180-200 (svært bratt)	27-85***#	0-55 /0-25#	Topp: AquaPro 400kHz
			90-150**		Bunn: AquaPro 400kHz- Kun høst
Børveneset Midtre (BM)	60° 16,856' N 06°36,396' Ø	300-310	0-60	Se under	Topp: AquaPro 400kHz
			65-290**		Bunn: Continental 190 kHz
			0-55		Topp: AquaPro 400kHz
	-VINTER/ VÅR	300-310	Se over	30-240	Bunn: Continental 190 kHz
Børveneset Øst (BØ)	60° 16,805' N 06°36,881' Ø	170 (bratt)	0-60	0-45/55	Topp: AquaPro 400kHz- vinter/vår
			65-120	50-110	Bunn: AquaPro 400kHz- Kun vinter
Troneset	60° 24,205' N 06°40,116' Ø	52,5	-	0-50	AquaPro 400kHz-
Utne	60° 24,379' N 06° 40,407' Ø	100	-	0-50	AquaPro 400kHz-

Posisjonering ved hjelp av GPS (WGS-84) og Olex. Kontroll av målerdyp med ekkolodd.

*Teoretisk maksimalt måleområde, ikke tatt hensyn til blanking distanse og støy. Støy i overflaten vil medføre tap av data fra de øverste 10 % (ca. 0-5 meter.) **rekkevidden er avhengig av bl.a partikkelmengde i vannet. I september/oktober var rekkevidden ca. 35-40 meter på grunn av lite partikler i vannet. Dybden ble justert for å ta høyde for dette i januar og april. # svært bratt terreng, og vanskelig å plassere måleren på eksakte dyp.

Utstyr

Ved utsett ble det benyttet GPS, Olex kartsystem for kartlegging og navigasjon, samt ekkolodd for nøyaktig og hensiktsmessig plassering av utstyret, og kontroll av plasseringen etter utsett. Bunnforholdene i Sørfjorden er ikke godt kartlagt, og før utsett ble det derfor kjørt transekter med ekkolodd for å finne den best mulige posisjonen for strømmålerne i nærheten av ønsket punkt. Svært bratte fjellside og steinrøyser under vann ved Børve/Rogdaberg, gjorde plasseringen i skråningen svært krevende. Utstyret måtte plasseres slik i vannsøylen at det ikke var til hinder for båttrafikk, og med sikring til land for å hindre tap av utstyret dersom forankringen skulle skli utfor røyser. Ved Børve ble utstyret derfor sikret med to separate landtau til ankeret, for innhenting av utstyret.

Det ble benyttet Acoustic Doppler Current Profiler (ADCP) teknologi med kombinasjoner av 400 kHz Aquadopp® Profilere (AqP) (Nortek AS) med rekkevidder opptil 80 meter ved alle stasjoner (Tabell 2.1). En 190 kHz Continental strømmåler (Nortek AS) med en rekkevidde på ~240 meter ble også benyttet midtfjords utenfor Børveneset, for å kartlegge så mye som mulig av vannsøylen. I tilfeller der det var deler av vannsøylen som ikke ble dekket av rekkevidden til strømmålerne, ble oppsettet planlagt slik at datamengden ble maksimert med de tilgjengelige strømmålerne. Hensikten var å måle i de mest relevante områdene, og å forsøke å unngå støy. Oppsett for strømmålerne er vist i Appendix 1. Ved først utsett var cellestørrelsen for 400 kHz målerne satt til 1 meter og måleintervallet 60 sek/600sek. For å øke signalstyrken i tilfelle lite partikler i vannet ble cellestørrelsen økt til 2 m i januar og april, og måleintervallet ble økt til 120 sek/600 sek. For Continentalmåleren var standard cellestørrelse 3m og måleintervallet standard 120 sek/600 sek.

For å unngå konflikter med båttrafikk ble utstyret plassert ca. 50 meter under overflaten, pekende oppover i vannsøylen. Midtfjords ved Tyssedal ble to 400 kHz strømmålere satt ved ca. 55 meters dyp, med den ene pekende oppover og den andre pekende nedover, for å kartlegge strøm fra overflaten og ned mot bunnen. To strømmålere montert «rygg mot rygg» ble også benyttet på stasjonene ved Rogdaberg (høst) og Børveneset Øst (vinter), for å kartlegge strømmen fra overflaten ned til de dypere vannlagene. Dessverre rakk ikke de tilgjengelige midlene til flere strømmålere per stasjon på alle stasjoner i hver periode, og bunnstrømmen kunne derfor ikke kartlegges ved alle transektene. Flere målere per transekt ville også gitt mer informasjon om strøm langs sidene av fjorden. Det ble prioritert å kartlegge hovedstrømmene midt i fjorden og i overflaten ned under sprangsjiktet så langt som mulig.

Salinitet og temperatur i vannsøylen ble kartlagt ved bruk av en CTD – sonde av typen (SD204 og SD208, SAIV AS, Bergen) i forkant av utsett og ved opptak. CTD profilen ble kartlagt i forkant for å

kunne justere strømmålerens plassering i vannsøylen for at måleområdet skulle dekke sprangsjiktet, i tilfeller der ikke hele vannsøylen var innenfor rekkevidden til strømmålerne. Modellering av strømforholdene har vist størst strømvariasjon nær sprangsjiktet og dermed ble akkurat disse lagene i vannsøylen holdt i fokus under målingene. Denne avveiningen av kartlegging av overflate - og bunnstrøm var nødvendig, da det ikke var midler til strømmålere for å dekke hele vannsøylen i de dypeste områdene.

Tekniske begrensninger

Ved bruk av Dopplerteknologi for måling av strømhastighet og strømretning vil et fenomen med navn sidelobe inntreffe. Sidelobe oppstår når utsendte lydbølger treffer harde flater som f.eks. vannoverflaten eller bunn. Signalstøyen som oppstår ved disse flatene vil redusere målenøyaktigheten i dette området. Som en konsekvens av dette vil en måler som plasseres på 50m dyp avskrive opptil 10 % av måleprofilen (~5 øverste meter). Se fig. 2.6.

Bølgeaktivitet og luftbobler i overflaten vil øke støy i overflaten. Kartlegging av strøm i overflatelaget vil dermed ikke kunne garanteres med en profilerende strømmåler.

Dopplerteknologien er avhengig av partikler som reflekterer lydbølgene. Klart vann med lite partikler (dyreplankton og alger) i vannsøylen om vinteren vil dermed medføre et svakere signal, og kortere måleavstand. Om sommeren vil derimot alger og plankton reflektere signalet sterkere. Måleavstandene er dermed lengre om sommeren enn om vinteren.

Det vil i tillegg alltid være en blindsoner (blanking distance) ca. 1-2 meter over instrumentet, og en liten avstand fra bunnen opp til instrumentet som ikke kan måles med en profilmåler. Dermed vil bunnstrømmene inntil ca. fem meter over bunnen ikke kartlegges med profilerende strømmålere.

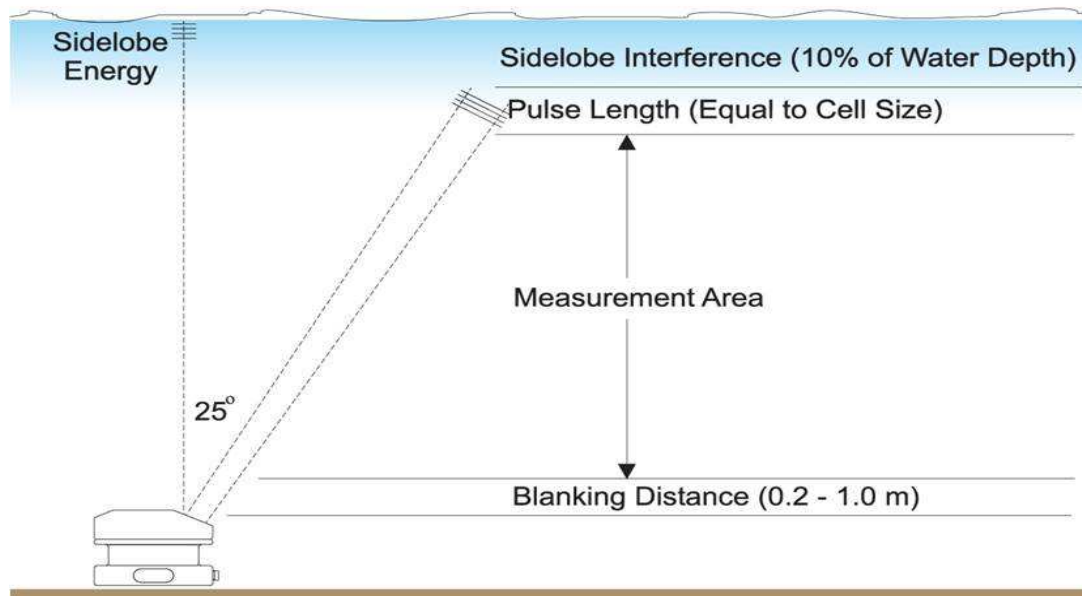


Fig. 2.6. Illustrasjon av side-lobe-effekten, som medfører støy og tap av signal i den øverste 10% av vandybden ved en strømmåler som peker oppover. Samme effekten ses over bunn dersom måleren peker nedover mot bunn.

Passive prøvetakere for analyser av DDT – forbindelser i sjøvann

Passive prøvetakere (SPMD, kjøpt fra Exposmeter AB, Sverige) ble satt ut i syrefaste stålbur, ca. 0,5 meter under overflaten ved Troneset, festet mellom en boye i overflaten og strømmåleren. Det ble benyttet triplikate analyser, og en feltblank ble eksponert for luft under utsett og opptak, for å kontrollere for luftforurensning, eller annen kontaminering. Etter opptak fra sjø ble membranene tørket forsiktig med rent tørkepapir og pakket i originalemballasjen for forsendelse til laboratoriet. Sjøvannstemperatur ble lest av CTD- måler ved utsett og opptak. Feltblankprøven ble oppbevart frosset ved $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$ i perioden mellom utsett og opptak, og prøvene ble holdt kjølige under transport. Under forsendelse til analyselaboratoriet ble prøvene borte under transport (Bring) og var da uten kjøling i ca. 2 måneder. Prøvene ble oppbevart i tette metallbokser med lite volum, slik at perioden uten kjøling ikke er forventet å påvirke utlekking av den interne referansekomponenten som benyttes for utregning av vannkonsentrasjonene (PRC) (Huckins et al. 2002),

Måleperioder

Målingene ble utført i periodene 16.sept-16. oktober 2014, 15. januar - 17. februar 2015, og 15. april - 19. mai 2015. I slutten av september 2014 var det et døgn med ekstrem nedbør (27. sept.) Ved Ullensvang Forsøksgård ble det målt 94,1 mm nedbør på ett døgn av totalt 170 mm i september

2014. Normal nedbør for september er 157 mm (yr.no). Målerne stod ikke ute i perioden med flom i Odda i slutten av oktober 2014. Vinteren 2015 var det også ekstremt mye nedbør, med 544 mm ved Ullensvang forsøksgård i januar mot normalt ca. 144 mm. 95,5 mm av dette kom i løpet av ett døgn 11. januar, men da var ikke målerne i vannet. I perioden etter opptak av strømmålerne 17. februar var også en periode med sterk vind fra sør/sørvest, som nok påvirket strøm i overflatelaget i Sjørfjorden. Dette ble heller ikke fanget opp av strømmålerne.

April og mai var nedbørsrike måneder med henholdsvis 108 og 144 mm nedbør mot normalt 51 og 50 mm. Perioden var ellers preget av god snøsmelting.

Bearbeidelse av data

Strømdata er bearbeidet og kvalitetssikret ved bruk av programmene Surge (versjon 1.14.01, Nortek AS) og SeaReport (versjon 1.1.1, Nortek AS). Programvaren gir mulighet for å identifisere støy og forstyrrelser og dermed fjerne disse fra datamaterialet (Antallet benyttede datapunkter av totalen er oppgitt i Appendix 1). SeaReport standardinnstillinger for kvalitetskontroll har vært benyttet, med unntak av terskelen for signalstyrke («SNR threshold») som i stedet er tilpasset støygulvet til målingene. Støygulvet identifiseres i Surge ved å måle signalstyrken til målinger i luft, før utsett. 3 dB-regelen for datakvalifisering er benyttet, dvs. at alle målinger må ha en signalstyrke som er minst 3 dB høyere (tilsvarer en dobling i energi) enn støygulvet. Målinger som ikke møter dette kravet blir fjernet fra datamaterialet. SeaReport antar et støygulv på 30 db for AquaPro-målerne og 45 db for continental-målerne. For å sette riktig terskel for signalstyrke i SeaReport må man benytte følgende formel:

$$SNR\ threshold = (S_0 - S_{SR}) * \frac{0.43\ dB}{counts} + 3dB$$

S_0 : signalstyrken til støygulvet, målt i luft før utsett

S_{SR} : signalstyrken til støygulvet som SeaReport antar at den bestemte måleren har.

Utvalgte dyp representerer, så langt det er mulig, målinger fra overflate, over og under eventuelle sprangsjikt, midtre sjikt og bunn. Hensikten med utvalgte dyp er å få med de største forskjellene i strømbildet nedover i vannsøylen.

3. RESULTAT

Strømmåling

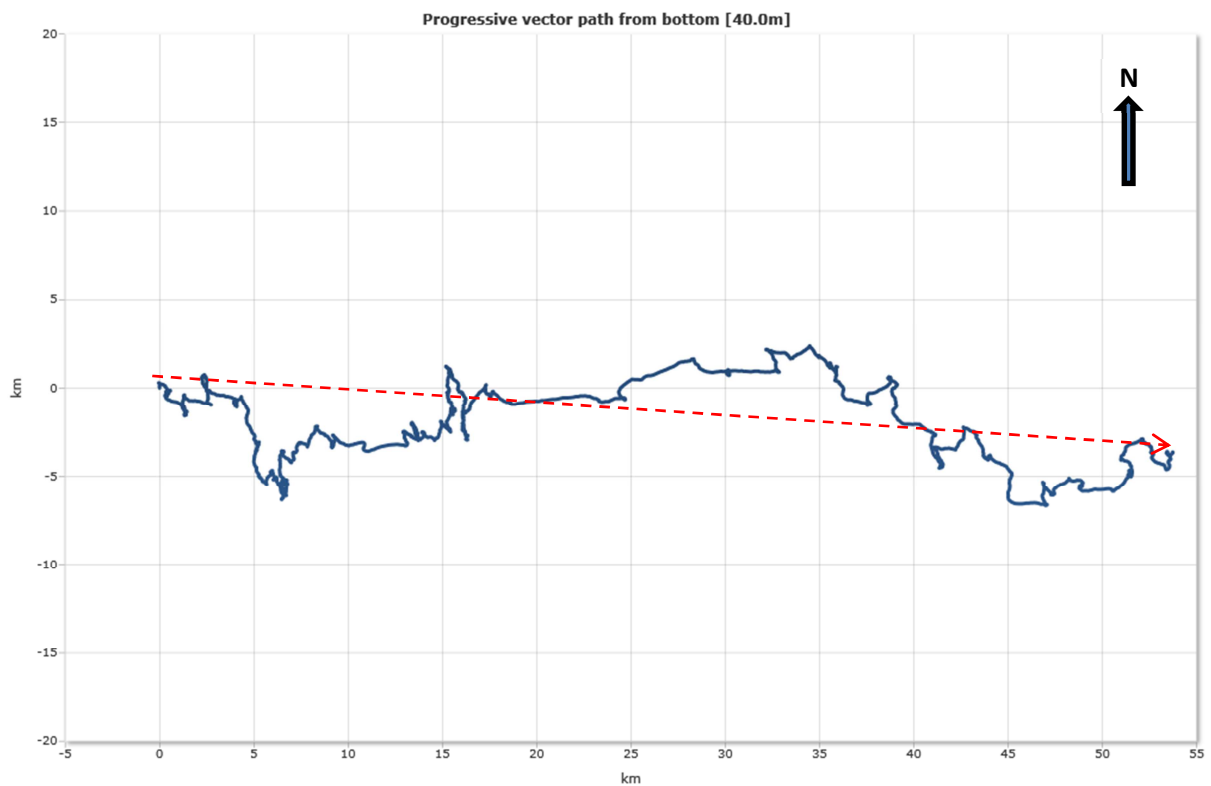
Figurer som viser gjennomsnittlige vannbevegelser, dominerende vannstrøm og gjennomsnittlig vannmengde ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$) i målepunktene er vist i Figur 3.1- 3. 14. Målestatistikk per periode per stasjon og fra alle dyp som er vist i figurene er vist i Appendix 1. Målerinnstillinger er også oppgitt i Appendix 1.

Figurene som viser partikkelvektor (Fig. 3.1, 3.2, 3.6, 3.10, 3.15 og 3.16) viser banen til en tenkt partikkel som starter ved koordinat 0, 0 (km). Partikkelen vil teoretisk bevege seg som den blå banen viser. Netto transport av en tenkt partikkel vil da være som illustrert av den røde pilen, med teoretisk avstand og retning vist på koordinatsystemet. Nord er opp i kartet.

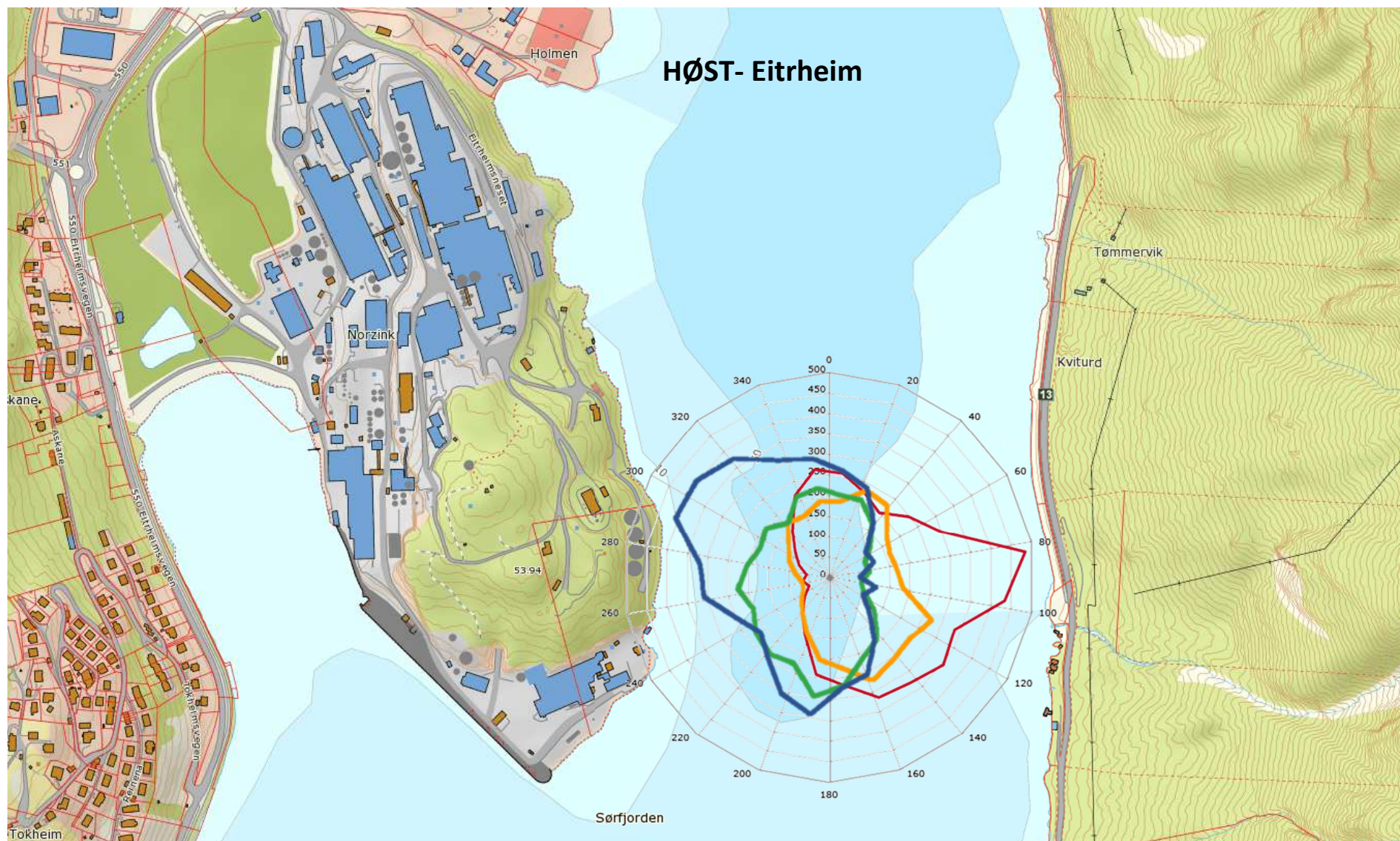
Hensikten med figurene er å visualisere volumene og retningene for vanntransport fra overflaten til laveste målte dyp, og for dypet omkring sprangsjiktet ved hver stasjon og for hver periode. Antallet dyp som er vist per stasjon varierer mellom stasjonene. Ettersom dypet for sprangsjiktet også kan variere mellom periodene, er det ikke alltid de samme dypene som er vist for en stasjon i de ulike periodene. Fokus har vært på å få frem områder i vannsøylen der strømretningen skifter. Strømretningen er vist på en gradeskive (0-360 grader) der 0 og 360 grader er nord og 180 grader er sør. Nord er alltid opp i kartene. Volumene for vanntransport ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$) er vist på den loddrette akse i gradeskiven i rosettene (Fig. 3.3-3.14). Størrelsene på rosettene er ikke proporsjonale med vannmengden for målepunktene, og kan ikke brukes for sammenlikning av vannmengder mellom stasjoner eller perioder. For sammenlikning av måltall mellom stasjoner og perioder henvises til Appendix 1.

Høstperiode (16. september – 16. oktober):

Ved Eitrheim (Fig 3.3) er det målt lav strømhastighet og lite vanntransport (opptil ca. $400 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$) om høsten. Vannstrømmen i overflaten er dominerende i retning nord, nordvestvest og også noe mot sør. Bunnspredningen går dominerende mot øst og sør. Utstrømmende vann fra Opo forventes å legge seg oppå saltvannet, og elvens størrelse vil ha mye å si for dynamikken i vannmassene. Det er derfor interessant at modellert partikkeltransport ved 40 meters dyp ved Eitrheim, basert på måledata fra denne perioden, er nokså rett østover.



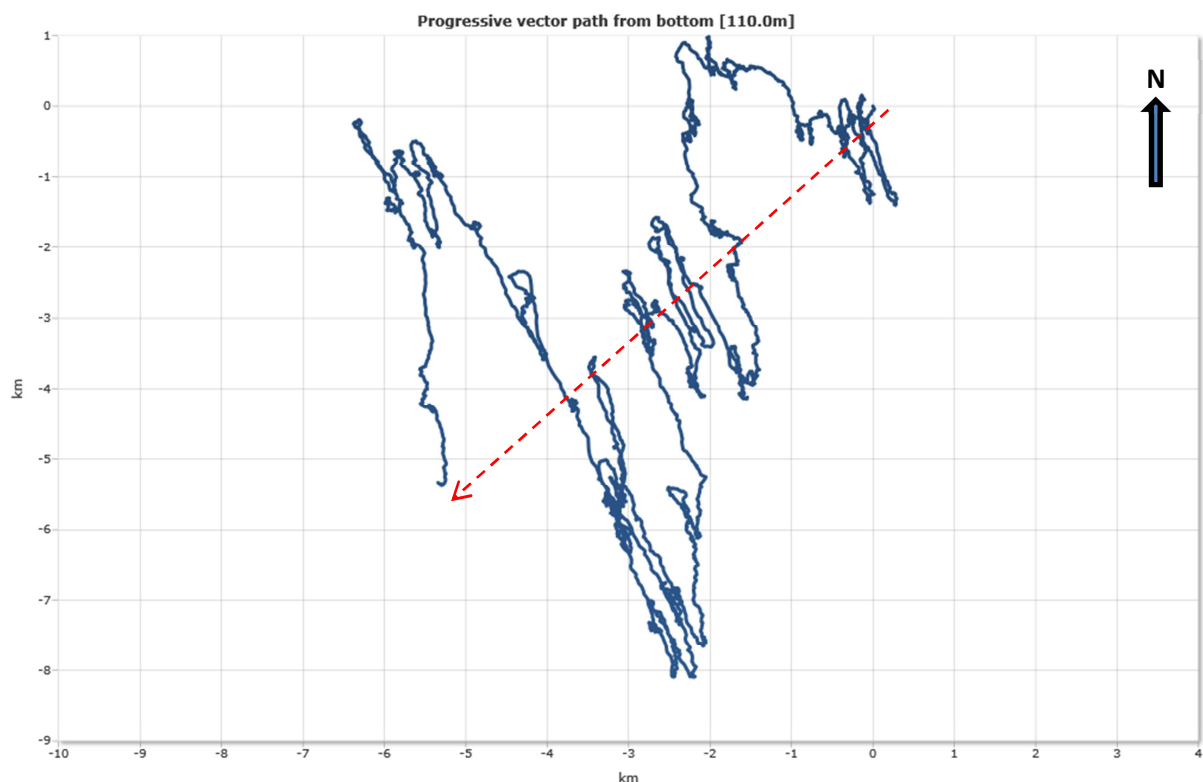
Figur 3.1: Modellert partikkelvektor ved 40 m dyp ved Eitrheim, i perioden 16. september- 16. oktober 2014 (SeaReport). Stiplet rød linje viser modellert start og stopp for partikkelvektoren.



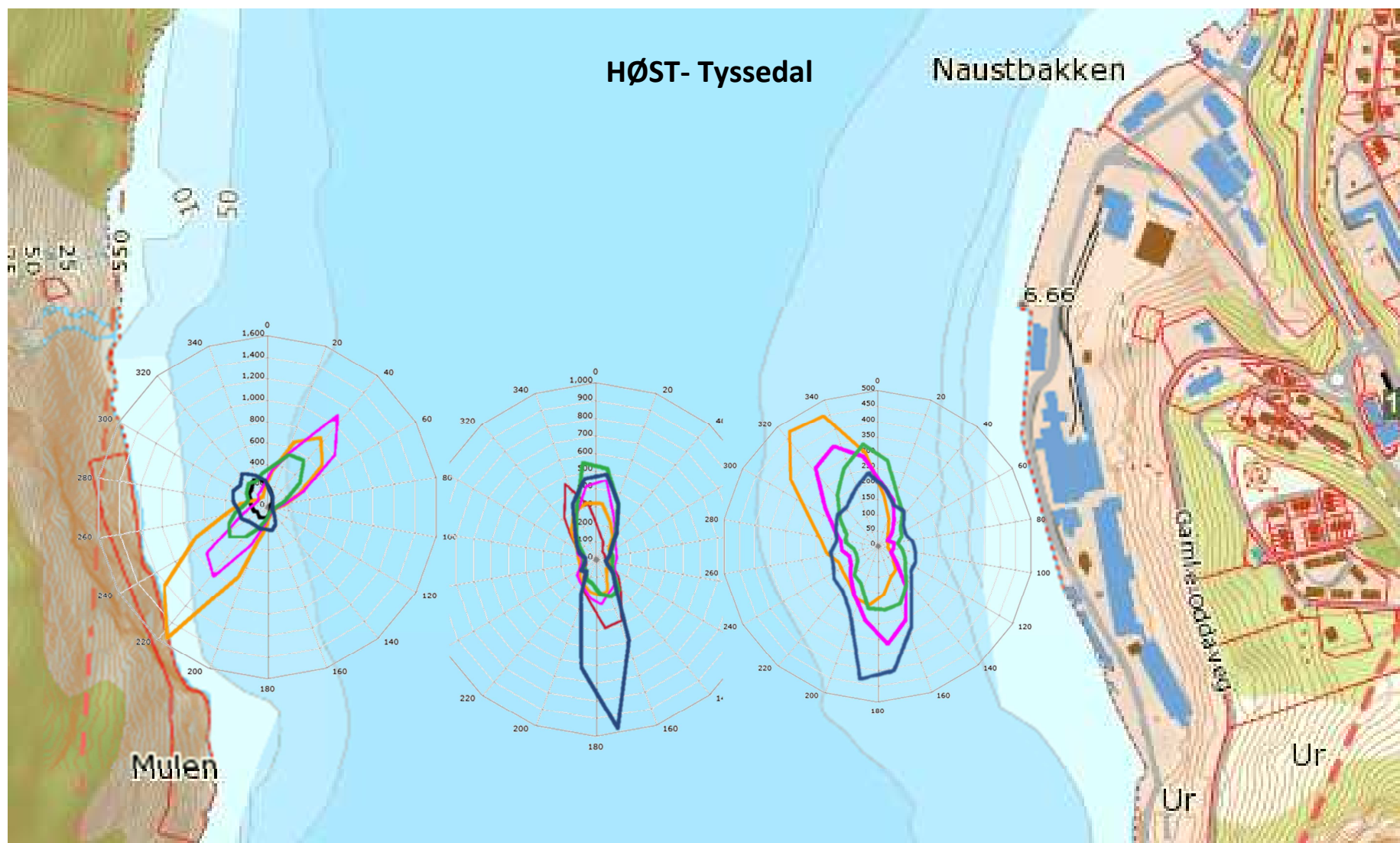
Figur 3.3: Rosett som viser vannstrøm ($m^3/m^2/dag$) ved utvalgte dyp ved Eitrheimsneset i perioden 16. september-16. oktober 2014. Fargekoder: blå=6m, grønn=10m, orange =25m og rød=40 meter.

Ved Tyssedal er det på vestsiden målt svært lite overflatestrøm (snitt 0,05 m/s) uten noen dominerende strømrretning denne høsten (Fig. 3.4). Dominerende vannstrøm på vestsiden går innover fjorden (sør) ved 60 meters dyp (opptil 1600 m³/m²/dag), og utover (nord) ved 40-45 meters dyp (ca. 1000 m³/m²/dag). Lite overflatestrøm og observasjoner av en gjennomsnittstransport i målepunktet ved Tyssedal Vest som går mot land ved 60 m, tyder på at målepunktet er plassert i en strømvirvel som påvirkes av bunntopografien i området. Med det gjeldende måleoppsettet kan vi ikke løse opp dette bildet. Sprangsjiktet er i denne perioden høyt i vannsøylen (ca. 10-15 m).

På østsiden ved Tyssedal dominerer vannstrømmen nordover i de dypere lagene (40-60 meter), i motsetning til vestsiden. Strømmen i overflaten er dominerende innover fjorden, i likhet med den midtre stasjonen. Midtfjords er vannstrømmen hovedsakelig nordover ved bunn (110 m), med dobbel så høy vannmengde i overflaten som ved bunn (1000 vs 500 m³/m²/dag). Dypet gjør at vannstrømmen utover kan fordele seg vertikalt. På østsiden, nærmere land, er det litt lavere vannstrøm i overflaten enn midtfjords (ca. 450 m³/m²/dag) Vannet bremses naturlig langs land. Partikkelvektoren på østsiden ved Tyssedal går ut i fjorden (nordvest), mens ved stasjonen midtfjords varierer modellert partikkelvektor nedover i dypet. En netto sørligvestlig partikkelvektor dominerer ved 110 meters dyp. Målingene gir ikke informasjon om vannstrøm og partikkelvektorer langs land.



Figur 3.2: Modellert partikkelvektor ved 110 m dyp midtfjords ved Tyssedal i perioden 16. september- 16. oktober 2014 (SeaReport). Stiplet rød linje viser modellert start og stopp for partikkelvektoren

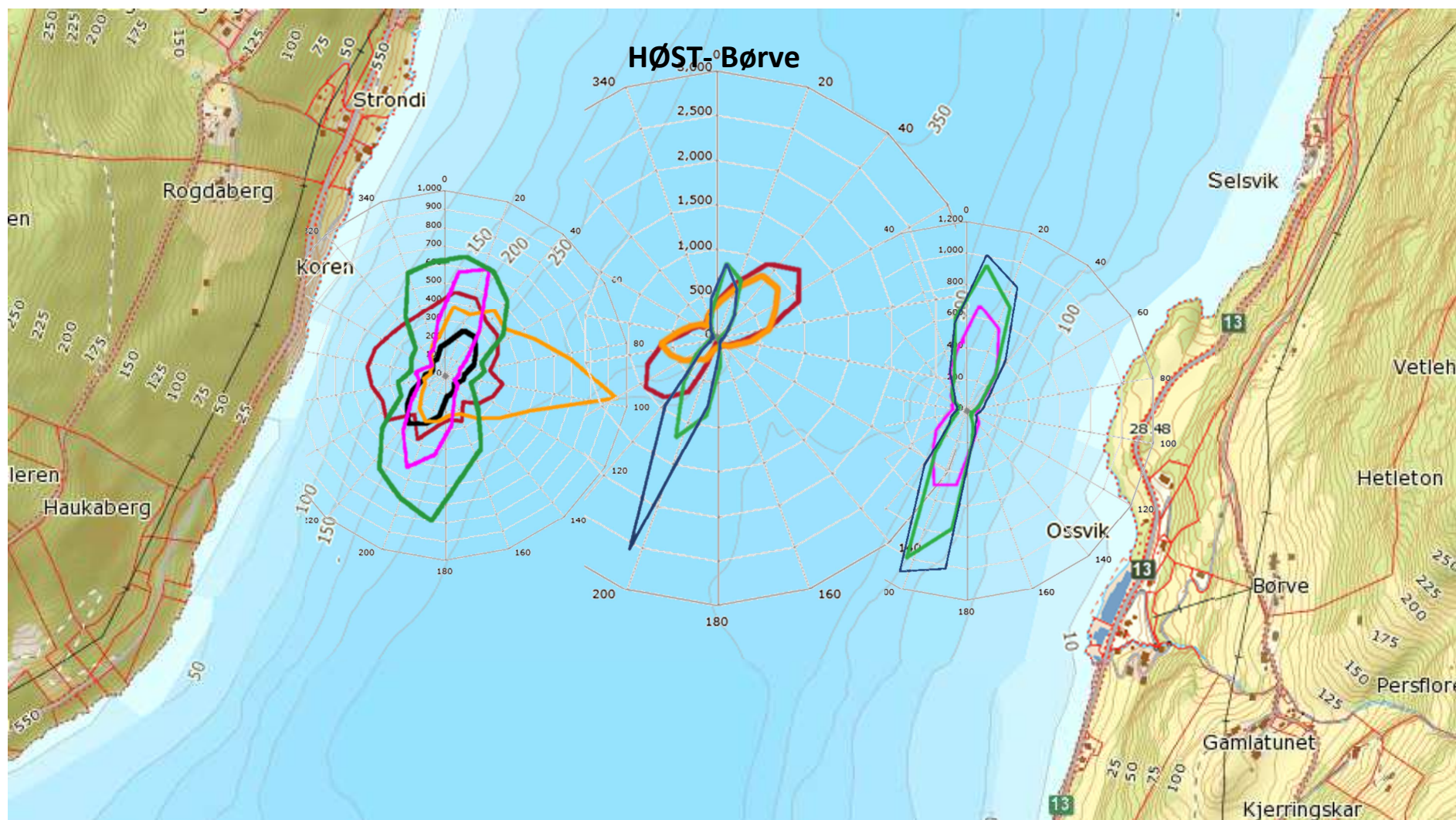


Figur 3.4: Strømrosetter som viser vannstrøm ($m^3/m^2/dag$) ved utvalgte dyp ved tre undersøkte stasjoner ved Tysedal 16. september-16. oktober 2014. Fargekoder: blå=overflate (5-10m), grønn=20m, rosa=40-45 m, orange =60m, svart 65 m og rød= bunn (110) m. Rosettstørrelsene er ikke proporsjonale med vannmengden.

Ved Børve (Fig. 3.5) går ikke signalet til overflaten på vestsiden (Rogdaberg) om høsten på grunn av lite partikler i vannet, slik at strømmåling fra det øverste sjiktet mangler. Ved 25 meters dyp er vannstrømmen hovedsakelig nord-sør, med like stor vannstrøm begge veier gjennomsnittlig over perioden ($700-800 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$) Dette tyder på påvirkning av tidevann, men kan også skyldes andre krefter, som vind og ferskvannsavrenning. Også ved 55 meter er strømrretningen den samme, men som forventet med noe mindre vannstrøm ($500-600 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$). Midtfjords ved Børve er vannstrømmen dominerende sør i overflaten med opptil $2500 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$, Strømrretningen dreier fra overflaten nedover i dypet, og dypeste målte punkt har strømrretning mot nordøst (ved ca. 200m) men da med halvparten så stor vannstrøm som i overflaten (ca. $1200 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$). Ved Børve øst er den dominerende strømrretningen den samme i overflaten og ved 55 meter (dominerende nordøst og sørvest), med om lag like stor vannstrøm i begge retninger (ca. $1000-1100 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$). Dette tyder på en tidevannsstyring av strømmen, men i overflatelaget kan også andre faktorer som vind og avrenning spille en rolle. Det ble ikke satt dypere målere på østsiden ved Børveneset om høsten, og bunnstrøm ved Børve øst i denne perioden er ikke kjent. Ved 200 meter er modellert partikkeltransport ved Børve øst av svært skiftende retning, men netto transport er nordøstover. Ettersom det er dypt ved Børve vil vannmengdene og hastigheten avta når vannet fordeler seg i dypet. Basert på målingene ser det ut til at transporten av vann ut fjorden skjer i dypet midtfjords ved Børve.



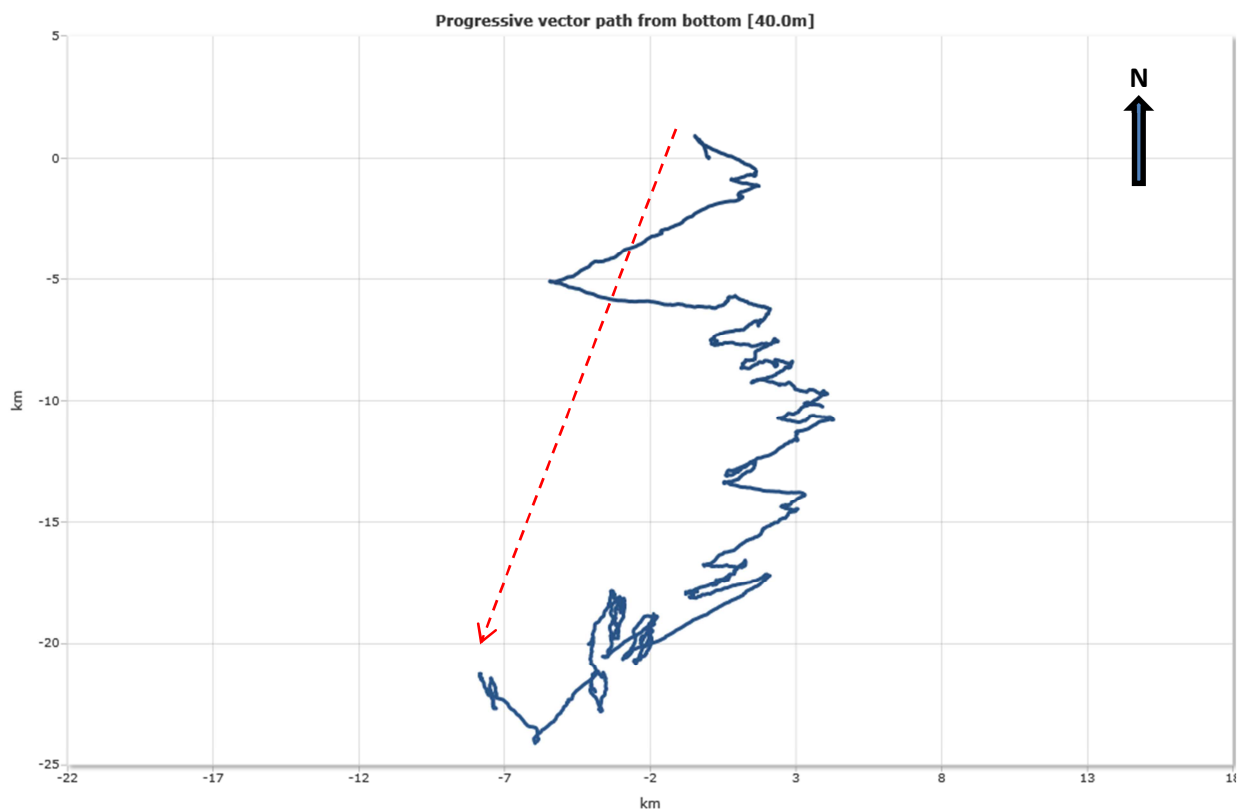
Foto. Uni Research Miljø



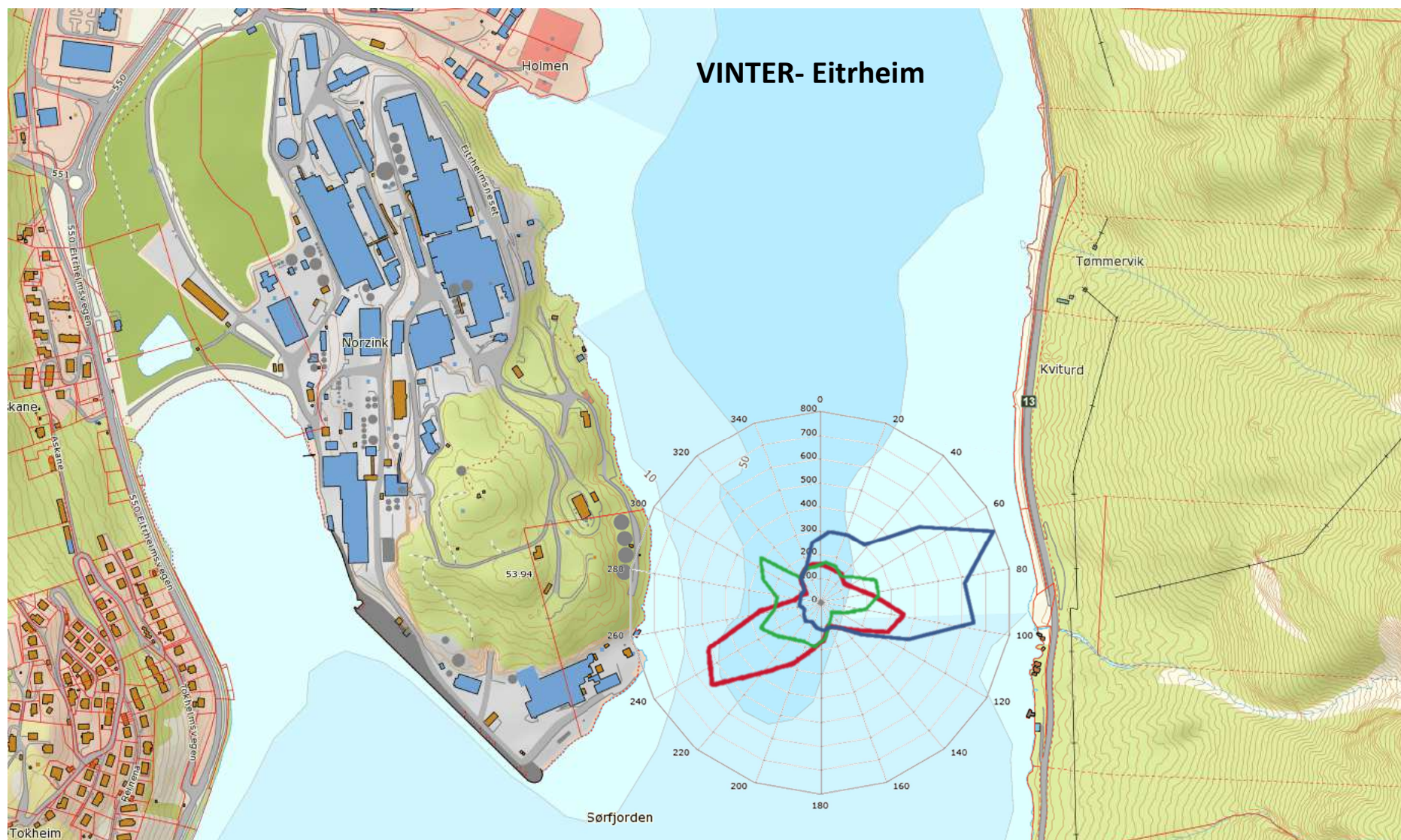
Figur 3.5: Strømrosetter som viser vannstrøm ($m^3/m^2/dag$) ved utvalgte dyp ved Børveneset 16. september-16. oktober 2014. Fargekoder: blå= overflate (8m), grønn=25-27m, rosa=50-55m, orange =70m, svart=125m og rød= 180-200m. På grunn av lite partikler i vannet ble overflatesignalet for svakt til å vise overflatestrom ved Rogdaberg (vestsiden). Øverste måling på vestsiden i september- oktober er fra 25 meter. Rosettstørrelsene er ikke proporsjonale med vannmengden.

Vinterperiode (16. januar-17. februar)

Ved **Eitrheim** er det målt sporadiske vannhastigheter i overflate på opptil 0,49 m/s, men gjennomsnittshastigheten er lav om vinteren (0,07 m/s, Appendix 1). Vannstrømmene i overflaten er dominerende 65-70 grader østlig (Fig. 3.7), og ved bunn er dominerende vannstrøm 240 grader sørvest, noe som fører til at modellert partikkelvektor går sør/sørvest (Fig. 3.6).



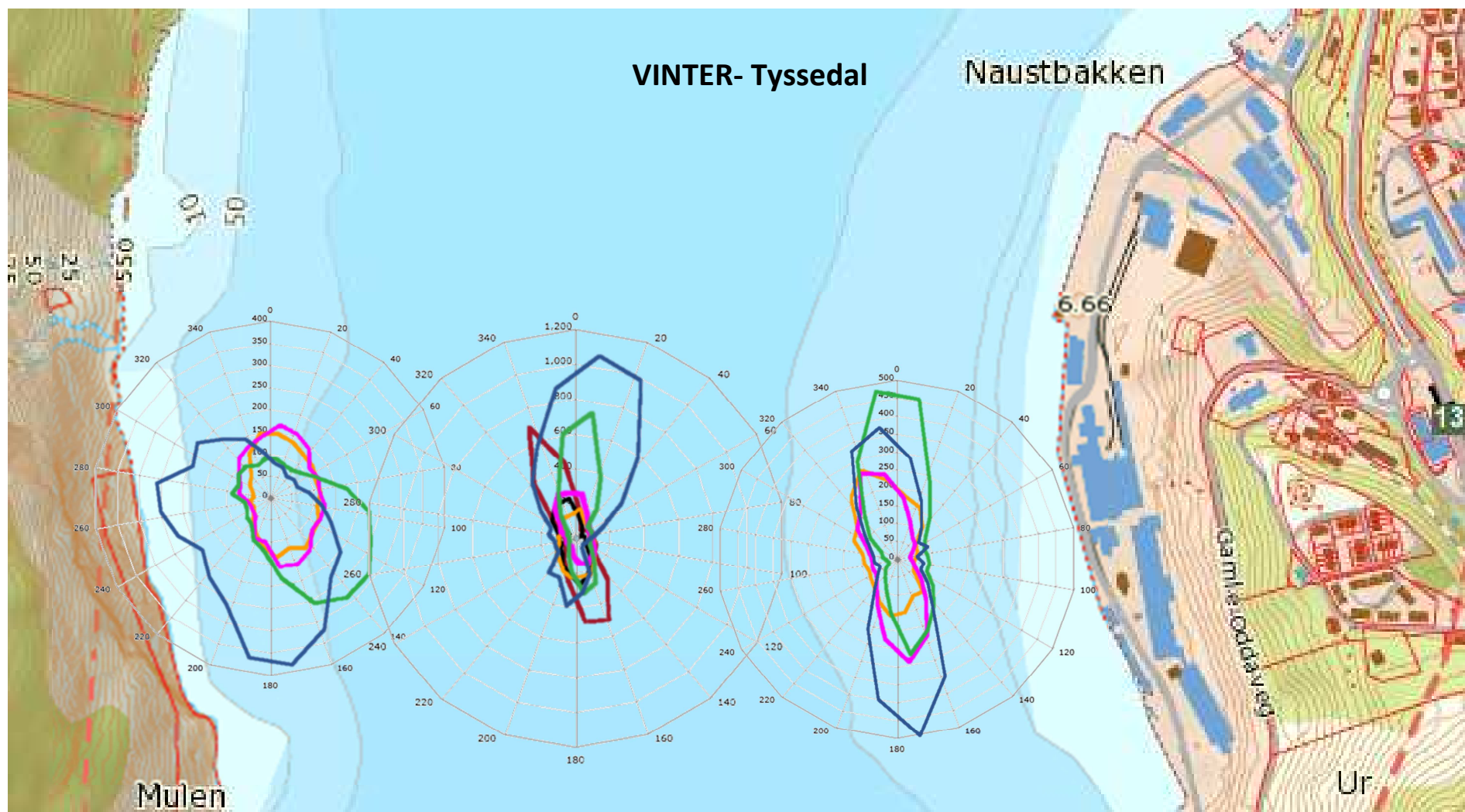
Figur 3.6: Modellert partikkelvektor ved 40 m dyp ved Eitrheim, i perioden 16. januar- 17. februar 2015 (SeaReport). Stiplet rød linje viser modellert start og stopp for partikkelvektoren.



Figur 3.7: Rosett som viser vannstrøm ($m^3/m^2/dag$) ved utvalgte dyp ved Eitheimneset 15. januar - 17. februar 2015. Fargekoder: blå=5m, grønn=25m, rød= 40m. Rosettstørrelsene er ikke proporsjonale med vannmengden.

Ved **Tyssedal** er det på vestsiden målt lav gjennomsnittlig strømhastighet i overflaten om vinteren (0,05 m/s ved 10 m, Appendix 1), og avtagende strøm mot bunn (Fig. 3.8). Dominerende vannstrøm i perioden er innover fjorden (sør) både i overflaten og ved 20 meters dyp, men med maksimalt 400 m³/m²/dag betyr at det er relativt lite vanntransport. Ved 40-60 meter sprer vannet seg både nordover og sørover med lav vanntransport på ca. 100-150 m³/m²/dag.

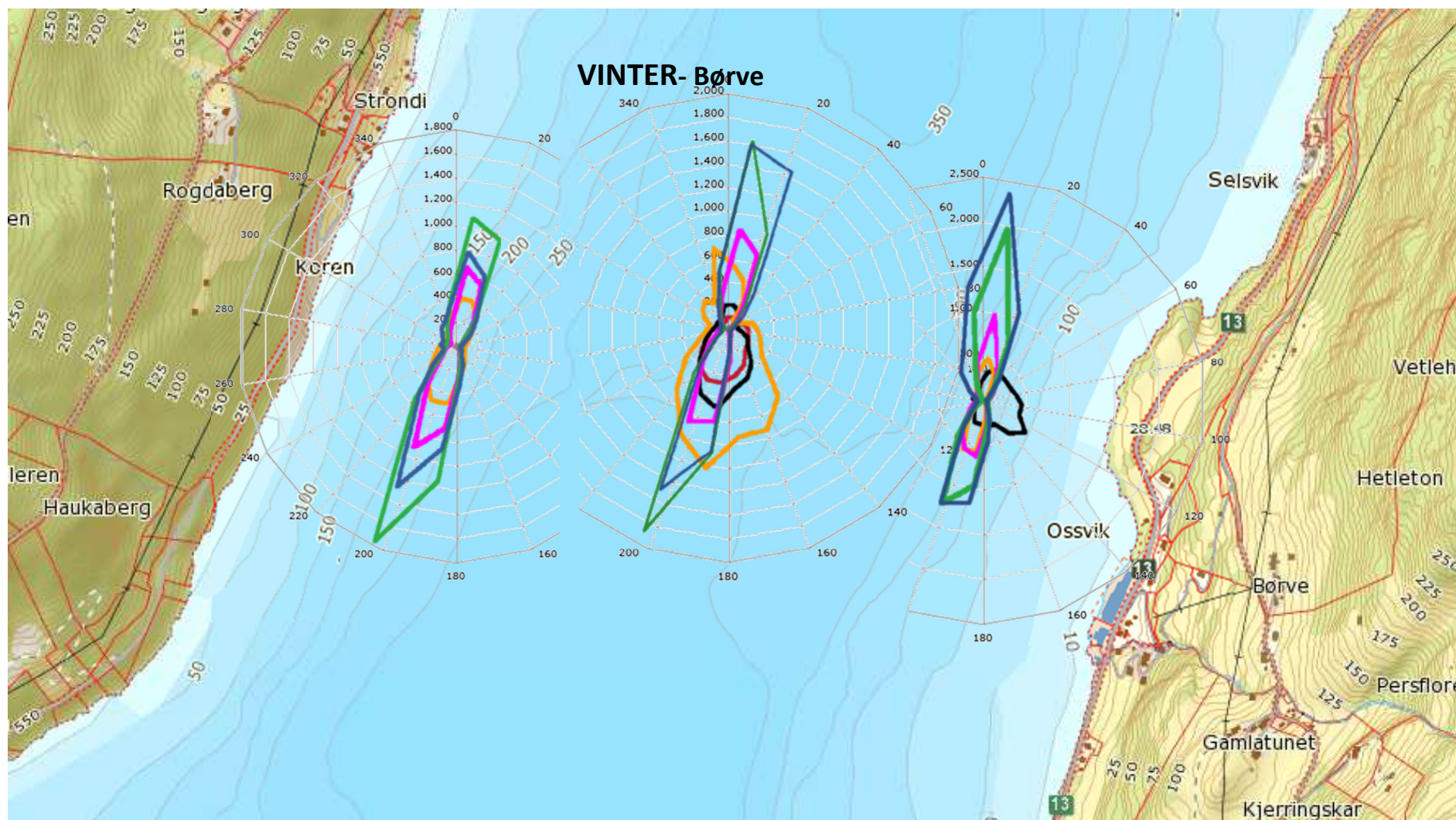
Midtfjords ved Tyssedal er dominerende vannstrøm nordover i overflaten og også hovedsakelig nord/nordvest ved bunn (110 m), med betydelig høyere strøm i overflaten enn ved bunn, der det er 115 meter dypt og vannet fordeler seg i vannsøylen (ca. 1100 mot 700 m³/m²/dag). Ved Tyssedal øst er vannstrømmen, i likhet med på vestsiden, dominerende innover fjorden (sør) i overflaten. Vannmengden er lavere enn midtfjords (ca. 500 m³/m²/dag). Vannstrømmen går også delvis utover (nord) i overflaten i samme perioden, som kan være styrt av tidevann og vind. Ved 20 meters dyp dominerer en nordlig vannstrøm. I de dypere lagene ned mot 60 meter avtar vannstrømmene, men retningen er fortsatt dominerende nordlig og til dels sørlig, som på vestsiden. Netto vanntransport ved Tyssedal øst er derfor innover (sør) i overflaten og utover (nord) i de dypere lagene. Modellert partikkelvektor er nordvestlig fra 47 meters dyp ved Tyssedal øst (Omkring dypet for utslipp fra Tyssedal), mens midtfjords er partikkelvektoren av svært varierende retning, med netto sørlig retning ved både 60, 85 og 110 m. Målingene fanger ikke opp vannets bevegelser langs land.



Figur 3.8: Strømrosetter som viser vannstrøm ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$) ved utvalgte dyp ved tre undersøkte stasjoner ved Tysedal 16. januar -17. februar 2015. Fargekoder: blå=overflate (5-10m), grønn=20m, rosa=40m, orange =47-60m, svart=85m og rød=bunn (110 m). Rosettstørrelsene er ikke proporsjonale med vannmengden.

Ved **Børve** i vinterperioden (Fig. 3.9) er gjennomsnittlig dominerende vannstrøm ved alle tre stasjonene både utover og innover fjorden (nordøst og sørvest) i vinterperioden, fra overflaten ned til ca. 30 meter. De skiftende retningene kan være styrt av tidevannet, men også andre faktorer som vind og ferskvannsavrenning kan påvirke overflatelagene, spesielt ned til sprangsjiktet. På vestsiden (Rogdaberg) strømmer vannet innover med opptil $1800 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$, og en maksimal hastighet på ca. $0,60 \text{ m/s}$ (Appendix 1), mens på østsiden strømmer vannet utover med opptil $2500 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$ og $0,65 \text{ m/s}$. Midtfjords ser vi en sørlig vannstrøm i overflaten på opptil $1900 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$, med høye topphastigheter på $0,80 \text{ m/s}$ (én enkelt måling hadde $1,60 \text{ m/s}$). I de dypere vannlagene avtar strømmen, og ved dypeste målepunkt midtfjords (240 m) spres den i flere retninger, med en vannmengde på ca. $500 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$. Modellert partikkelvektor ved 240 meters dyp er nokså rett sørover.

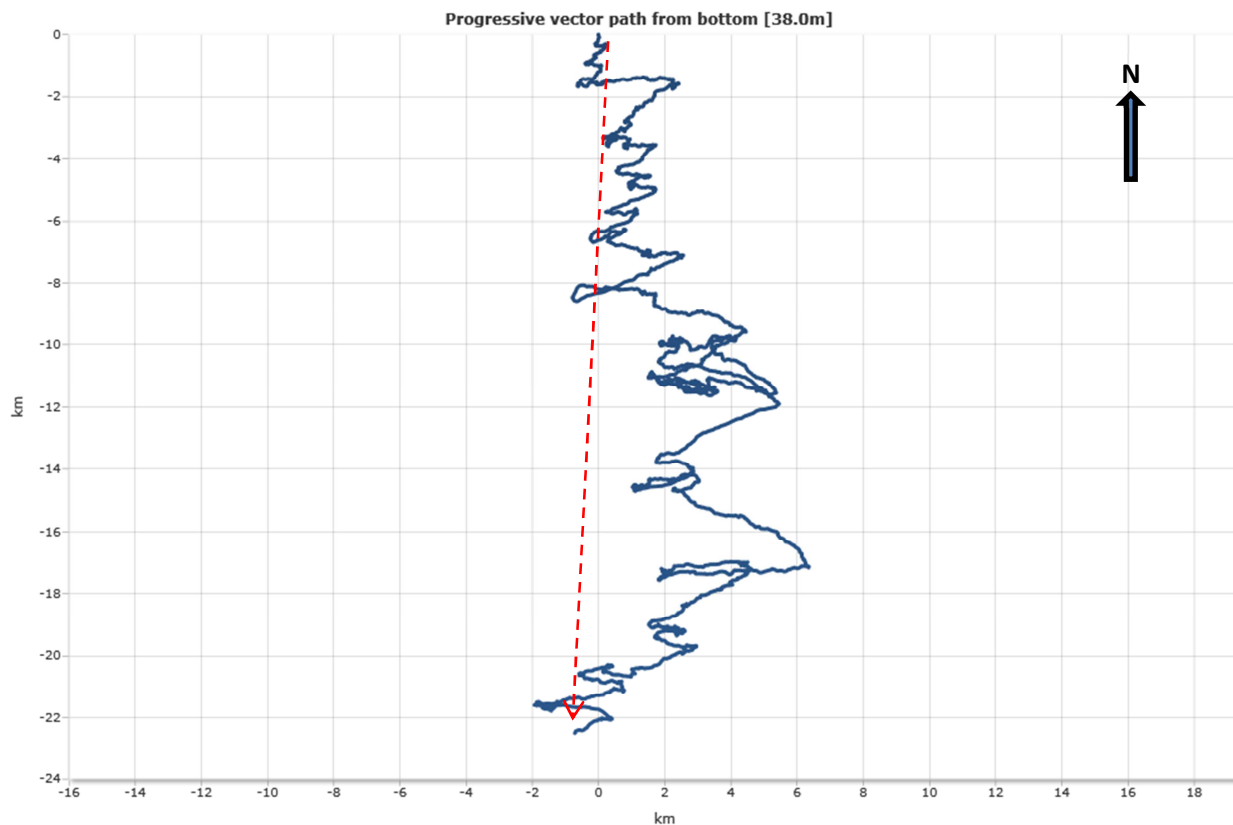
Ved Børve øst er det sørlig vannstrøm i overflaten, mens det i dypeste målte punkt (120 m) er målt en dominerende sørøstlig vannstrøm med relativt lavt volum på ca. $500 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$.



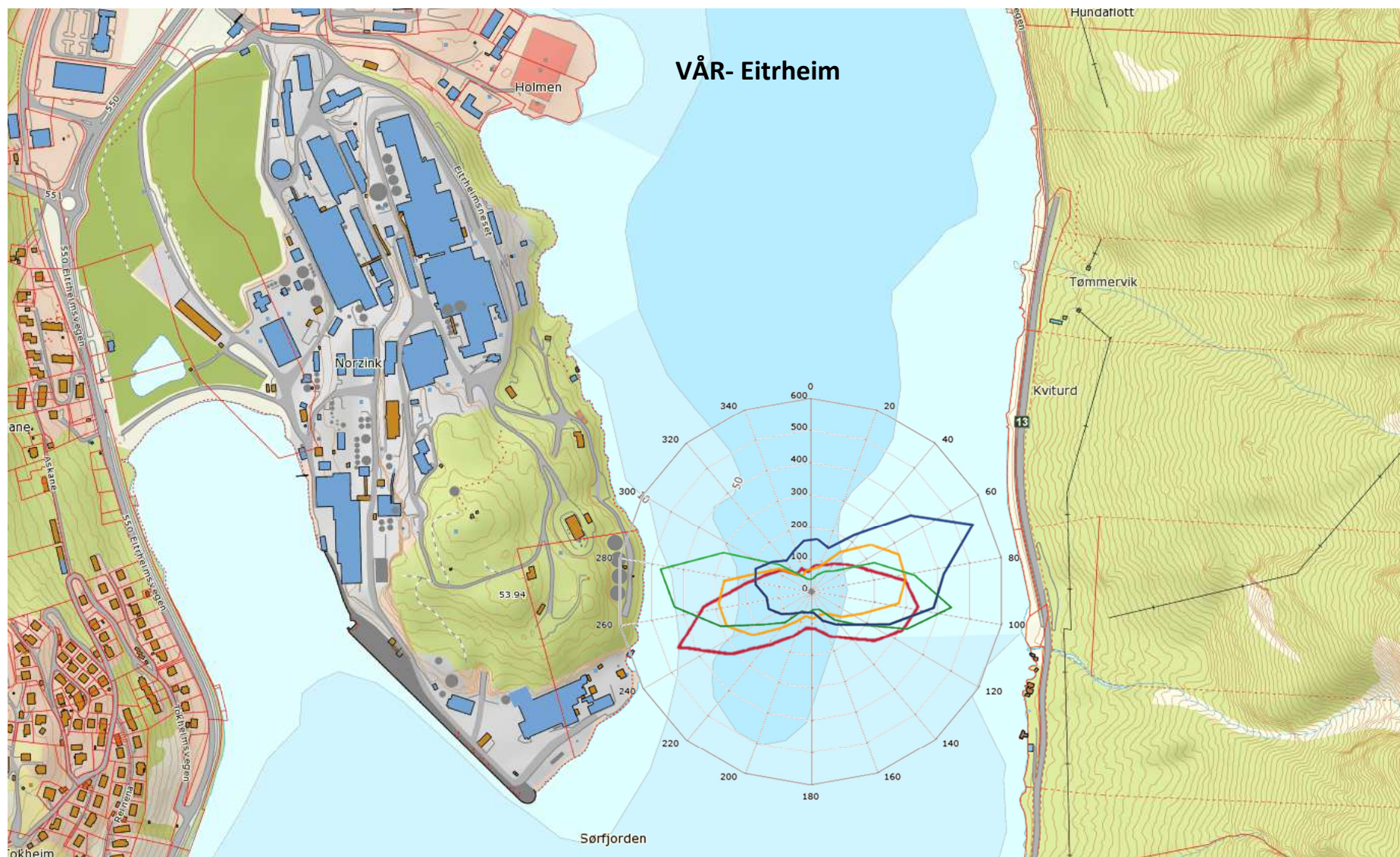
Figur 3.9: Strømrosetter som viser vannstrøm ($m^3/m^2/dag$) ved utvalgte dyp ved Børveneset 16. januar-17. februar 2015. Fargekoder: Blå=overflate (5-7m), Grønn=15m, Rosa=30m, Orange =50-60 m, Svart =120m og rød= 220 meter. Bunndypet midtfjords ved Børve er ca. 310 m. Rosettstørrelsene er ikke proporsjonale med vannmengden.

Vårperiode (16. april- 19. mai)

Ved **Eitrheim** er det om våren målt sporadiske vannhastigheter i overflaten (5 m) på opptil ca. 0,66 m/s, men gjennomsnittshastigheten er lav (0,05 m/s, Appendix 1). Vannstrømmene er dominerende 75 til 105 grader nordøst og sørøst i overflaten, og ved bunn er retningen sørvest til sørøst (Fig. 3.11). Modellert partikkelvektor er fortsatt dominerende sørover. Dette er fornuftig med tanke på at det ferske ellevannet som strømmer nordover i overflaten og vil kompenseres med en innstrømming langs bunn.

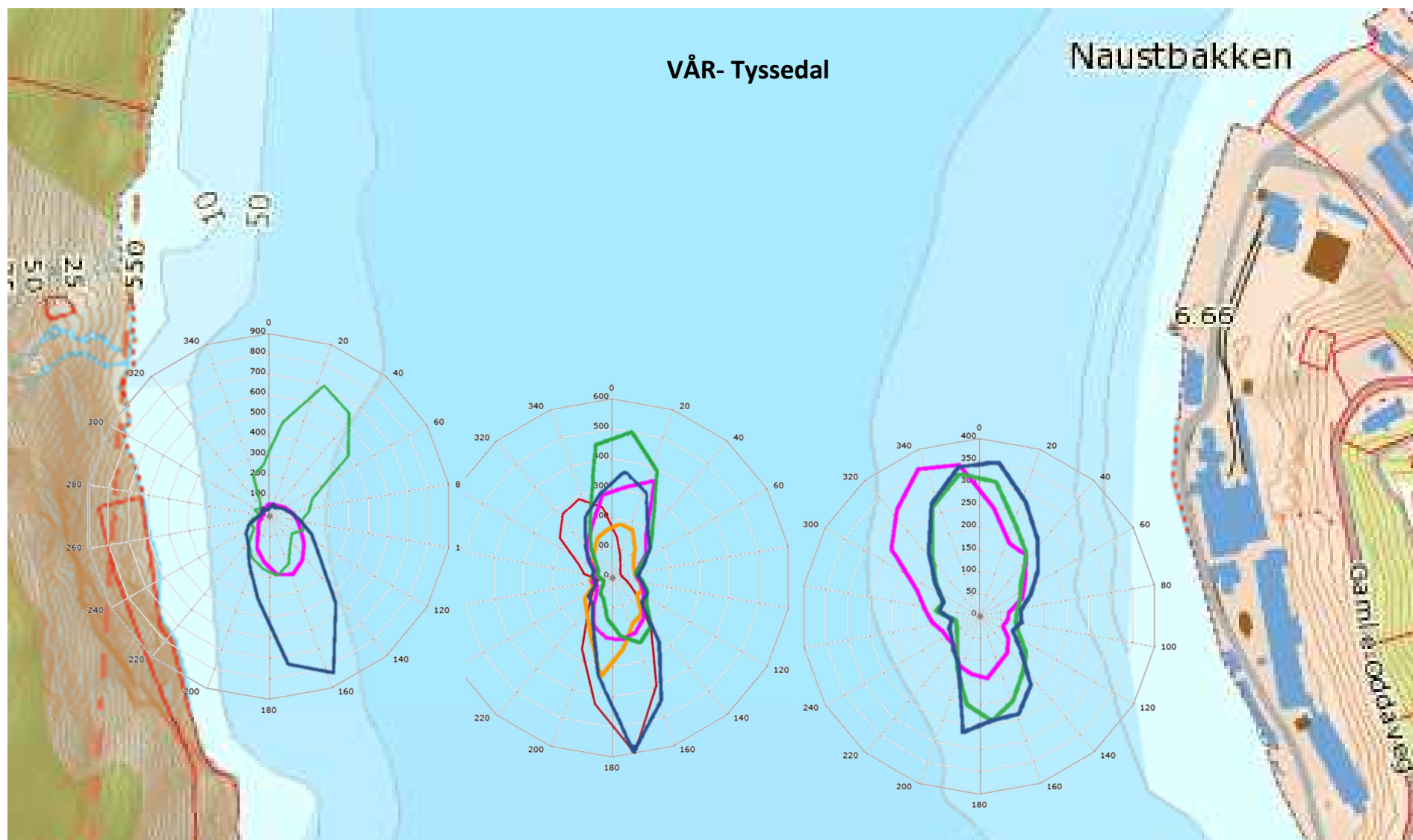


Figur 3.10: Modellert partikkelvektor ved 38 m dyp ved Eitrheim, i perioden 16. april - 19. mai 2015 (SeaReport). Stiplet rød linje viser modellert start og stopp for partikkelvektoren.



Figur 3.11: Rosett som viser vannstrøm ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$) ved utvalgte dyp ved Eitrheimsneset i perioden 16. april-19. mai 2014. Fargekoder: blå=5m, grønn=10m, orange=20 m og rød= 38 meter.

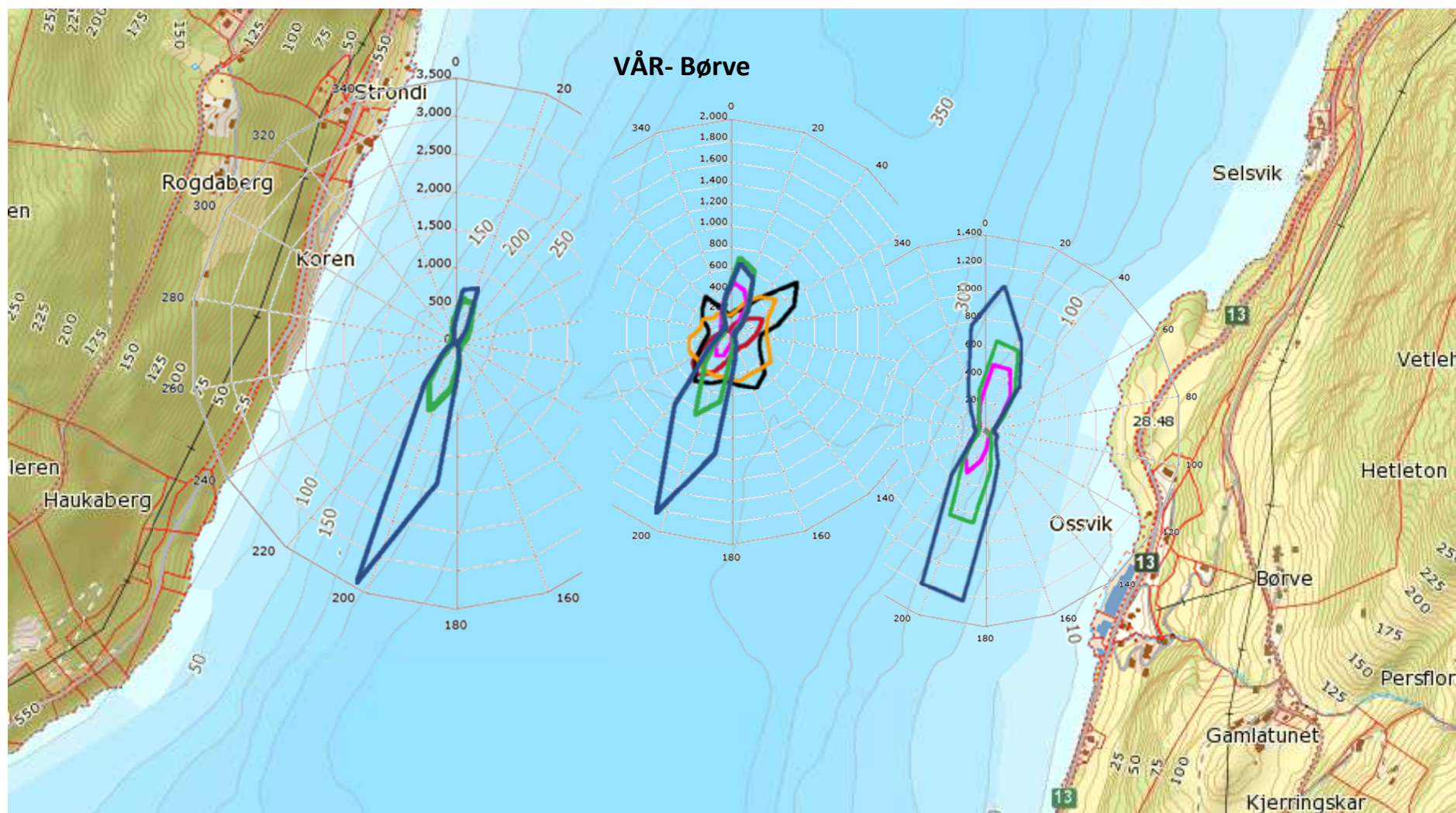
Ved **Tyssedal** (Fig. 3.12) er det på vestsiden dominerende vannstrøm innover fjorden (sørøst) i overflaten. Maksimal vannstrøm er ca. $900 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$. Ved 40-55 meter avtar strømmen, men er fortsatt dominerende i retning innover (sørøst) med opptil $300 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$. Midtfjords ved Tyssedal er dominerende overflatestrøm og bunnstrøm også innover (ca. $600 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$), mens på østsiden er vannstrømmen motsatt av på vestsiden med dominerende strømretning utover (nordvest) i overflaten og ved 55 meter (ca. $350 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$). Ved 20 meters dyp, under sprangsjiktet, går vannstrømmen utover fjorden (nord) ved alle tre målepunktene. I likhet med vinter og høst-periodene er modellert partikkeltransport ved Tyssedal øst i nordvestlig retning om våren, mens midtfjords er modellert partikkeltransport sørover ved 70 og 110 meters dyp. Transporten langs land er ikke kjent.



Figur 3.12: Rosett som viser vannstrøm ($\text{m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$) ved utvalgte dyp ved Tysedal 16. april -19. mai 2015. Fargekoder: blå= overflate (7-10m), grønn=20m, rosa= 40-55m, orange =70m og rød=bunn (110m). Rosettstørrelsene er ikke proporsjonale med vannmengden.

Ved **Børve** (Fig. 3.13) er dominerende vannstrøm på vestsiden (Rogdaberg) innover fjorden (sørvest) med store vannmengder på opptil $3500 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$ i denne perioden. Også midtfjords er strømmen dominerende innover, men med noe lavere vannmengder (ca. $2000 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$). På østsiden går strømmene i overflaten både utover og innover fjorden, noe som vil påvirkes av tidevannet og kortvarig vindpåvirkning. Vannmengdene er ca. $1000 - 1200 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$. Ved 20 meter er vannstrømmen om våren på østsiden også både innover og utover fjorden, men da med noe mindre vannmengder enn i overflaten (ca. $600 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$). I de dypere vannlagene midtfjords avtar strømmen, og ved ca. 200 meter midtfjords går strømmene i alle retninger i denne perioden, med maksimal flyt på ca. $600 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$ nordøstover. I dypeste målepunkt (245 m) avtar strømmen, og volumene er på under $200 \text{ m}^3/\text{m}^2/\text{dag}$ mot nordøst og sørvest. Modellert partikkelvektor i dette dypet er likevel nokså rett sørlig. Bunnstrømmen kunne ikke måles midtfjords med det tilgjengelige antallet målere.

Både midtfjords og ved Børve øst er det ved ca. 50 meters dyp en dominerende nordgående strøm, men med lavere volumer per dag enn i overflaten, ettersom vannmengdene fordeler seg i dypet.

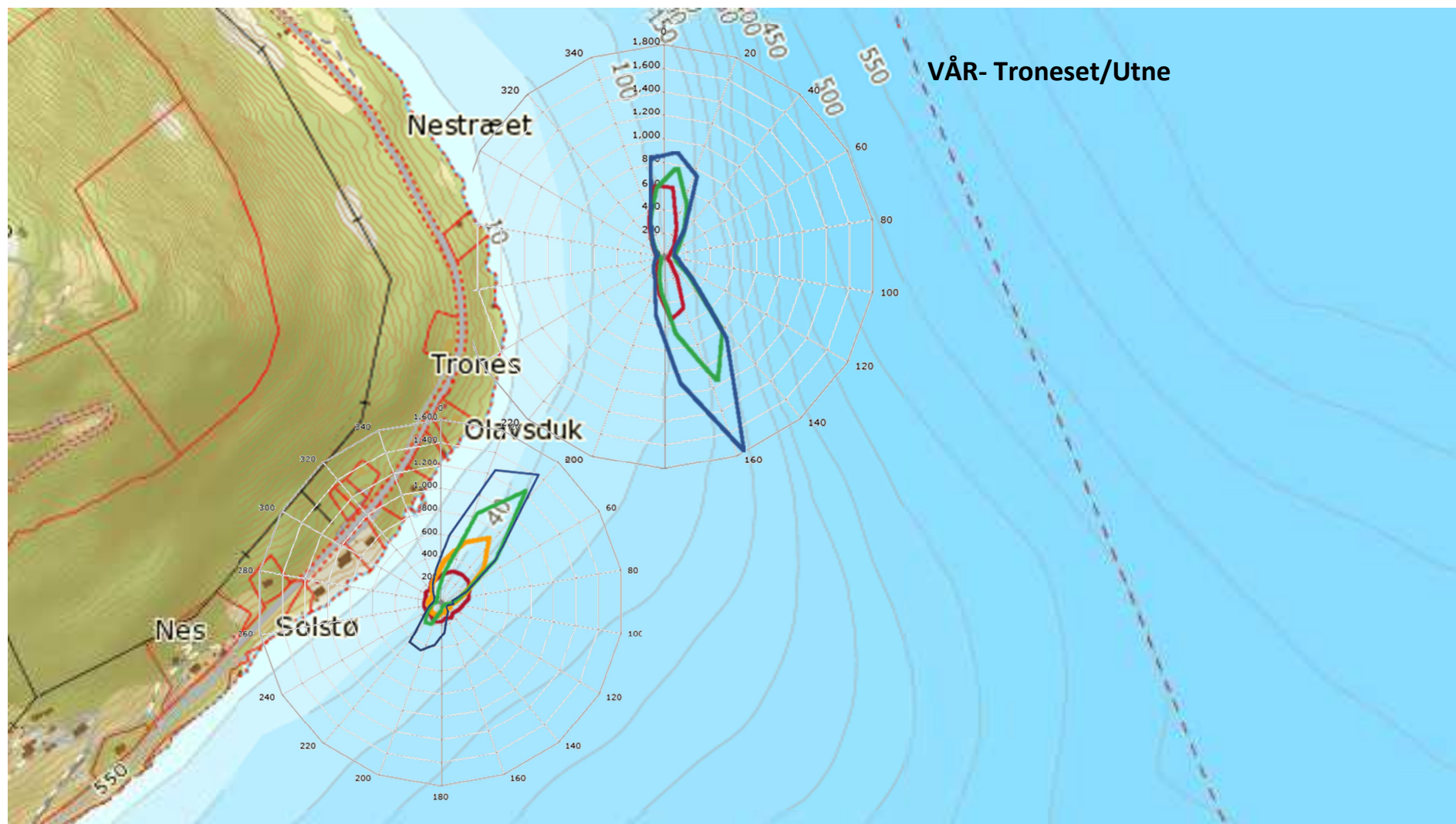


Figur 3.13: Strømrosetter som viser vannstrøm ($m^3/m^2/dag$) ved utvalgte dyp ved Børveneset 16. april-19. mai 2015. Utvalgte måledyp er angitt med fargekoder: blå = overflate (7m), grønn=25m, rosa=45-50m, orange =100m, svart =200m og rød= 245 meter. Bunn dypet midt fjords ved Børve er ca. 310 m. Rosettstørrelsene er ikke proporsjonale med vannmengden.

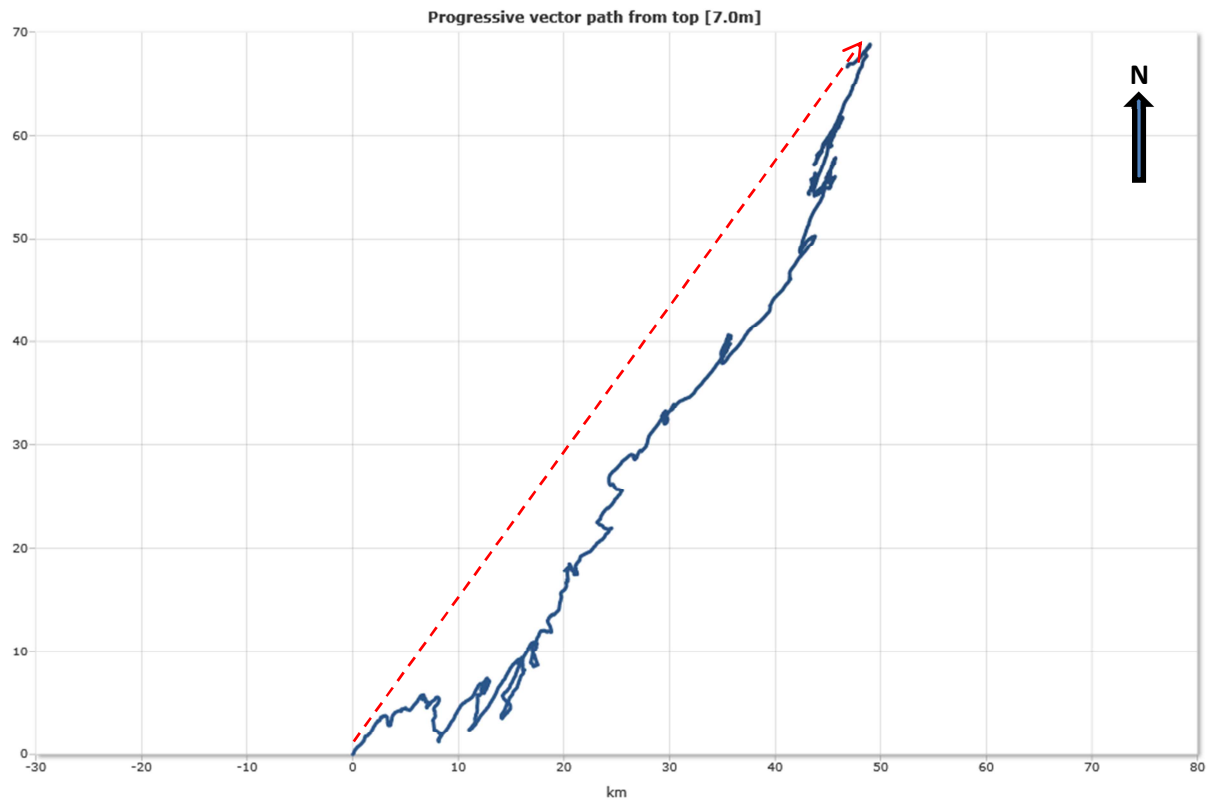
På innsiden av **Troneset**, er strømrretningen dominerende nordøst-sørvest (Fig. 3.14). Strømhastigheten i overflaten er gjennomsnittlig lav (0,09 m/s) og avtar mot bunn, men maksimalhastigheten i overflaten kan sporadisk komme opp i 0,40 m/s. Den dominerende vanntransporten er mot nordøst, og modellering av partikkel transport i overflaten i dette punktet viser at partikler vil fraktes nokså rett nordøstlig (Fig. 3.15).

Målepunktet på utsiden av Troneset (**St. Utne**) viser en dominerende sørøstlig strømrretning, med noe strøm også mot nordøst. Bunntopografien, med den bratte skrenten ned mot Hardangerfjorden leder vannet i den dominerende strømrretningen. Strømhastigheten i overflaten er gjennomsnittlig lav (0,11 m/s) og avtar mot bunn, men maksimalhastigheten i overflaten kan sporadisk komme opp i 0,45 m/s. Den dominerende vanntransporten i overflaten er mot sørøst, mens ved bunn er dominerende retning nordover. Modellert partikkelvektor i overflaten er i retning sørøst (Fig. 3.15).

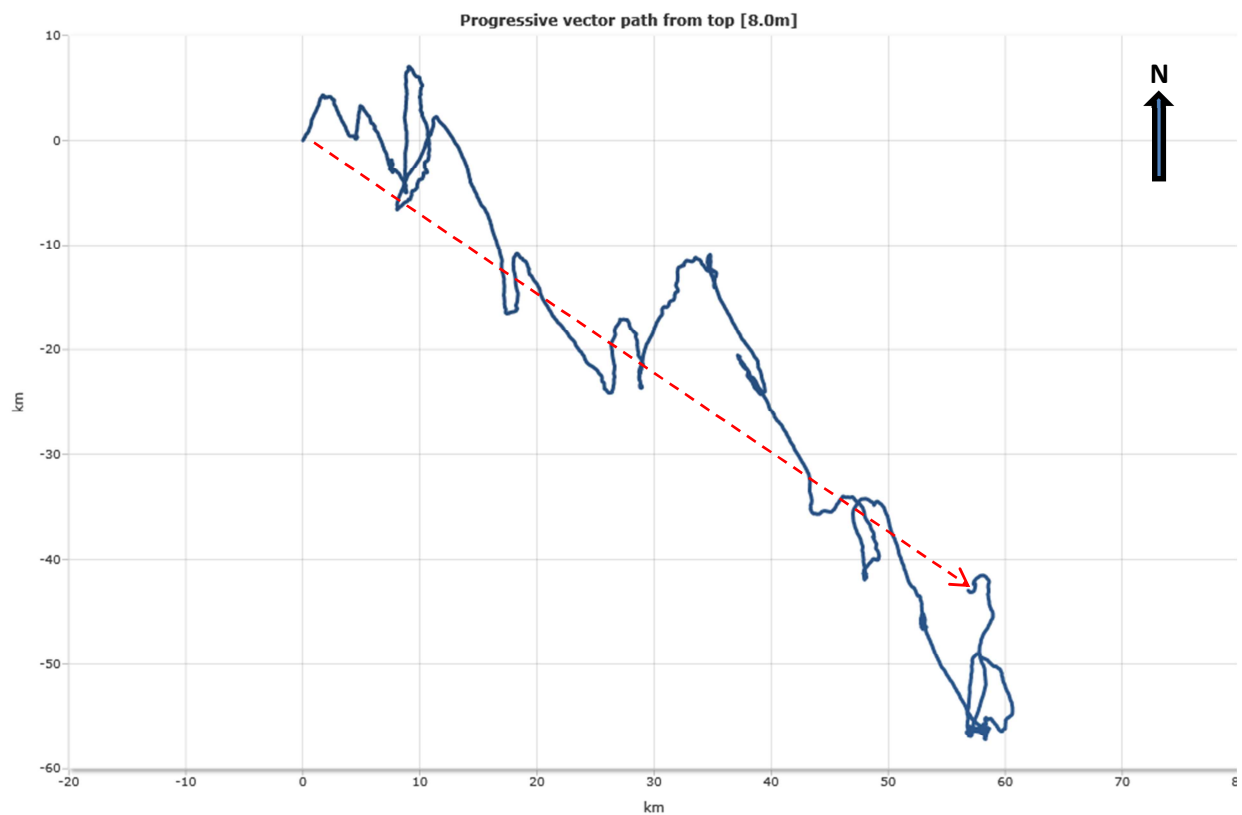




Figur 3.14: Rosett som viser vannstrøm ($m^3/m^2/dag$) ved utvalgte dyp ved Troneset/Utne 16. april-19. mai 2015. Utvalgte måledyp er angitt med fargekoder. blå = overflate (7m), grønn=15m, orange =30m og rød= 40-44 m. Rosettstørrelsene er ikke proporsjonale med vannmengden.



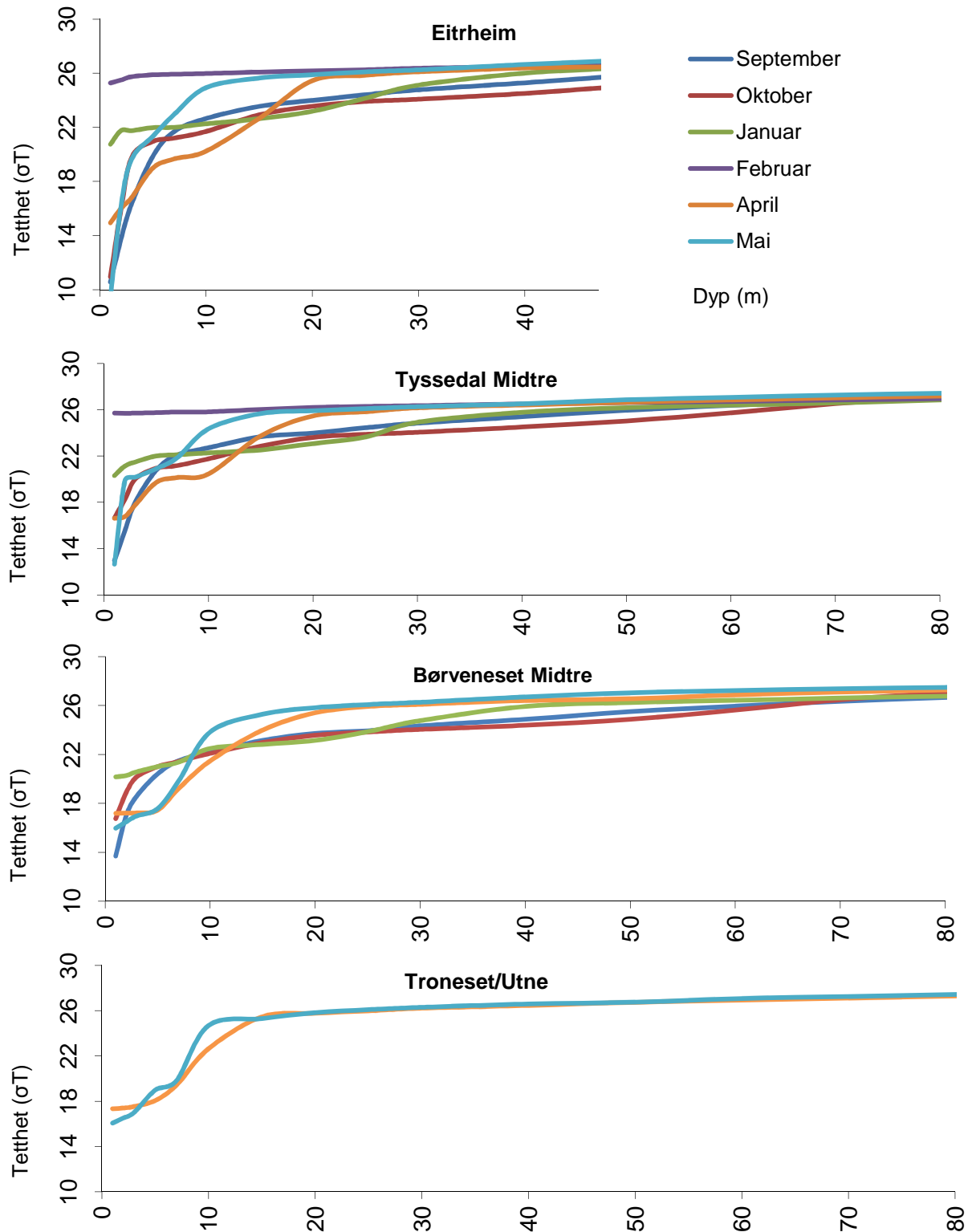
Figur 3.15: Progressiv vektor som viser teoretisk partikkeltransport ved 7 meters dyp nordøstover fra målepunktet ved stasjon Troneset. Stiplet rød linje viser modellert start og stopp for partikkelvektoren. Kilde: SeaReport.



Figur 3.16: Progressiv vektor som viser teoretisk partikkeltransport ved 8 meters dyp sørøstover fra målepunktet ved stasjon Utne. Stiplet rød linje viser modellert start og stopp for partikkelvektoren. Kilde: SeaReport.

CTD-målinger

Lagdeling av vannmassene ved tidspunkt for utsett og opptak av strømmålere



Figur 3.17: Lagdeling i vannsøylen ved utsett og opptak av strømmålerne i Sørfjorden høst, vinter og vår 2014-2015, ved stasjoner fra innerst i Sørfjorden (Eitrheim) til Hardangerfjorden (Utne). Tetthet (σ_T) er en funksjon av salinitet og temperatur. Data for Børveneset i februar mangler på grunn av uvær.

Figur 3.17 viser tetthet (en funksjon av salinitet og temperatur) nedover i dypet, ned til 100 meter. Kun stasjonen midt i fjorden er vist for områdene Tyssedal og Børve, da det var liten variasjon mellom øst- og vestsiden av fjorden. (Alle stasjonene er vist i Appendix 2). I september og oktober var det et ferskvannslag mellom 3-10 meter ved alle stasjonene. I denne perioden kom det store nedbørsmengder på kort tid, selv om flomhendelsene i Odda i slutten av oktober 2014 ikke er dekket av disse målingene.

I januar og februar var det en mindre grad av lagdeling, og tettheten stabiliserer seg under ca. 30 meter ved Tyssedal og Børve. Store nedbørsmengder i midten av januar viser ikke på disse målingene. I februar er tettheten jevn i hele vannsøylen, uten lagdeling eller tydelige sprangsjikt. Data mangler for Børve i februar, grunnet uvær ved opptak av strømmålere, som gjorde at arbeidet måtte avbrytes og utsettes.

I april var det igjen et tydelig sprangsjikt med lavere tetthet i vannsøylen ned til 20 meters dyp ved alle stasjonene. I mai lå sprangsjiktet høyere oppe, ved 10 meters dyp, etter en periode med sterk snøsmelting.

DDT i sjøvann

Konsentrasjoner av DDT og DDT-forbindelser målt ved SPMD fra stasjonen på innsiden av Troneset i perioden 16. april til 19. mai er vist i Tabell 3.2. Analysebeviset lagt ved (Appendix 3).

Parallell #1 hadde de høyeste målte konsentrasjonene av alle de klororganiske pesticidene Hexaklor syklohexan (HCH), Hexaklorbenzen (HCB), diklor difenyl trikloretan (DDT) og metabolittene diklor difenyl dikloretan (DDD) og diklor difenyl dikloretylen (DDE). En viss grad av intern variasjon mellom analyser er forventet, både i opptak og teknisk variasjon under analysering. Med svært lave konsentrasjoner (pg/L), vil små variasjoner gi et stort relativt utslag. Felt-blanken viste konsentrasjoner under kvantifiseringsgrensen (LOQ) for alle forbindelser utenom pp-DDE og HCB, men også for disse forbindelsene var konsentrasjonene svært lave og bare like over LOQ.

I likhet med tidligere undersøkelser var konsentrasjonene høyest av DDE, som er en metabolitt av DDT. Samlet konsentrasjon av DDT og DDT metabolitter i sjøvann tilsvarte tilstandsklasse IV (dårlig).

Dette stemmer overens med tidligere undersøkelser som har vist konsentrasjoner av DDT i blåskjell ved Troneset i tilstandsklasse V -Svært dårlig (NIVA 2013). I forhold til tidligere rapporter der det er benyttet SPMD (Botnen og Johansen 2006) er konsentrasjonene tilsynelatende høyere i 2015. Botnen og Johansen (2006) rapporterte imidlertid ikke vannkonsentrasjoner, men kun DDT-forbindelser per SPMD ($\mu\text{g}/\text{SPMD}$), slik at en direkte sammenlikning ikke er mulig. Perioden for

prøvetakning var to måneder i 2006, mot en måned i denne undersøkelsen. I 2006 var det målt høyt innhold av DDT i blåskjell ved denne stasjonen (Stasjon: Utne), og konsentrasjonene har deretter falt ved senere undersøkelser (NIVA 2013). Dette antyder at det ikke er sannsynlig at det er en reell økning i DDT ved Troneset fra 2006 til 2015, slik en sammenlikning med Botnen og Johansen (2006) alene kunne gi inntrykk av. I rapporten fra Botnen og Johansen var rapporteringsgrense for SPMD 0,005 µm/SPMD. Dette er langt høyere enn dagens kvantifiseringsgrense (0,07-0,24 ng/SPMD), og gjør at resultatene ikke kan sammenliknes.

ΣDDT i sjøvann (Tabell 3.1) kan forventes å oppkonsentreres 10 000- 50 000 ganger i blåskjell (Geyer et al. 1991) basert på log K_{ow} 6-6,9 for DDT og dens metabolitter. Tatt i betraktning den målte vannkonsentrasjonen i årets undersøkelse (0,068 ng/l, Tabell 3.2) synes ΣDDT-konsentrasjonen målt i blåskjell ved Troneset i 2012 (NIVA, 2013) å være høy (93,6 µg/kg ww, NIVA 2013). Analyser av blåskjell fra Troneset i samme periode som vannkonsentrasjonene ble målt, og flere utsett av SPMD ville vært av interesse for å belyse sammenhengen mellom vannkonsentrasjoner utenfor Troneset og konsentrasjoner av DDT i blåskjell ved land.

Vi ser av strømmålingene at strømmen går sørvest langs land og avtar på innsiden av Troneset i forhold til utsiden (St. Utne) der hovedstrømmene går dominerende sørøstlig. Av erfaring vet vi at strømmer kan danne bakevjer med stille vann der vannet skifter retning, f.eks innenfor fjordmunninger. Hvis det dannes en bakevje eller virvel, vil partikler kunne avsettes i området, og DDT som fraktes med partikler i vannmassene kan få lengre oppholdstid på denne stasjonen. Dette vil igjen kunne gi grunnlag for akkumulering i blåskjell over tid.

Tabell 3.1: Konsentrasjoner (pg/L) av klororganiske forbindelser i sjøvann (0-0,5 m) ved Troneset/Utne i april-mai 2015, målt ved SPMD. Tilstandsklasse er tildelt etter TA2229/2007.

Forbindelse	p#1	p#2	p#3	Gjennomsnitt	SD	Tilstandsklasse
HCH (α,β,γ og δ)	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	-	
HCB	3,8	1,9	2,3	3	1,00	
opDDE	1,3	0,4	0,6	1	0,47	
ppDDE	48	16,3	16,4	27	18,27	
opDDD	3,3	1,4	1,2	2	1,16	
ppDDD	14	5,6	6,7	9	4,57	
opDDT	7,7	3,2	2,4	4	2,86	
ppDDT	38	15,1	21,5	25	11,82	
Sum of HCHs	<LOQ	<LOQ	<LOQ	<LOQ	-	n.a
HCB	3,8	1,9	2,3	3	1,00	I
Sum of DDTs	112	42,0	48,8	68	38,77	IV

Tilstandsklasse I= Bakgrunn; tilstandsklasse IV = Dårlig

4. DISKUSJON

Datagrunnlag

Strømmålingene som er utført dekker tre områder av Sørfjorden der man forventet at hovedstrømmene ville vise seg uten store forstyrrelser av topografi eller andre forhold som kunne danne virvler og bakevjer.

Målepunktene ved Eitrheim, Tyssedal og Børve gir et generelt overblikk over hovedstrømmene i fjorden, ut til ytterste målestasjon, men det er ikke mulig å danne et komplett bilde med god oppløsning over alle detaljer i fjorden. Målingene dekker ikke hele fjordens bredde eller lengde, og hele vannsøylen fra topp til bunn blir ikke kartlagt med de tilgjengelige målerne i denne studien. Der måledata mangler vil kunnskap om tidevann, vind og topografis påvirkning på strømsystemer gjøre det mulig å stipulere forventet strømrretning. Undersøkelsen vil dermed gi et nokså godt bilde på hvordan hovedstrømmene beveger seg i tre perioder av året. Ikke minst gir målingene viktige data som vil gjøre det mulig å utføre en databasert 3D modellering av strømsystemene i området, og studien er delvis tilpasset en slik modellering. En 3D modellering vil være uvurderlig for å løse ubesvarte spørsmål om strømmens bevegelser langs land, eller strømforhold i de dypene vi ikke fikk målt med det tilgjengelige antallet målere. Det vil alltid være perioder eller områder man ikke kan dekke med direkte målinger, og en modellering kan da gi et bedre bilde av totale strømforhold, og mulighet for spredning av partikler og partikkelbundne miljøgifter i fjorden. Informasjon om værforhold, vind og avrenning er også utfyllende informasjon om drivere av strømmen i Sørfjorden som må innhentes og kan benyttes i en videre modellering.

Strømforhold

Periodene for strømmåling overlapper periodene som ble modellert av Thiem et al (2012), og vil dermed også fungere som en validering av og forbedringsmulighet for den eksisterende modellen.

I likhet med de tidligere modellerte resultatene viser resultatene fra målingene i denne undersøkelsen at det er ulike strømmønstre mellom de tre periodene.

Høst

Resultatene støtter modelleringen (Thiem et al. 2012) som tilsier at høsten er en periode hvor overflatelaget både har inn- og utstrøm. Ved Børve oppfører derfor strømmene seg som forventet. Strømmene ved Tyssedal, går både innover og utover ved 40-60 meters dyp, og støtter den tidligere

modelleringen som tilsier at kompensasjonsstrømmene spres over fjordens tverrsnitt om høsten. Modellen støttes også i at vi finner den største vanntransporten innover fjorden. Makshastigheter er ifølge modellen knyttet til overflatelaget, (med opptil 0,37 m/s), men våre målinger viser at ved Tyssedal er de største hastighetene knyttet til dypere lag (60 m), opptil 0,76 m/s (én måling), og sporadiske målinger på ca. 0,50 m/s. Ferskvannsavrenningen om høsten varierer ofte sterkt, og dette kan gi pulser av ferskvann i høye hastigheter ifølge Thiem et al. Dette ser vi også ved Eitrheim i dagene etter er episode med ekstrem nedbør 27. september. Relativt høye hastigheter på 0,30 m/s oppstår da ved 30 og 40 meters dyp, men ikke i overflaten. Ved Eitrheim er det opptil 50 meter dypt. Modellering av partikkelvektor i dette området viser en rett østlig vektor ved 40 meter ved målepunktet i denne perioden, noe som er interessant, ettersom forventet transport er utover (nord) eller innover fjorden (sør). Med det valgte oppsettet er det dessverre ikke mulig å forklare hvorfor vi får en tverrstrøm. Det er fortsatt mulig at det er en langsgående transport langs sidene som vi ikke fanger opp siden måleren er midt i fjorden.

Vinter

Ved Børve er transporten om vinteren innover i overflatelaget og ned til 60 meter midtfjords, men det forekommer også transport utover i overflatelaget, særlig midtfjords. Det er ikke mulig fra de utførte målingene å fastslå retning på vanntransporten i dypet, men det er sannsynlig at kompensasjonsstrømmen utover går langs bunn. Om vinteren er det varierende retning på vannstrømmen i overflaten ved Tyssedal, med dominerende nordlig (utover) vannstrøm midtfjords. Det er også vanntransport utover ved Tyssedal under overflaten og ved bunn. Overflatelaget gir vanntransport innover på vestsiden, i likhet med tidligere modellerte strømrørninger. De ulike transektene har ulikheter i forhold til dyp og retning, og resultatene støtter på den måten tidligere modellering som viste at vinterstrømmene (januar) gikk hovedsakelig innover i mellomdypet og utover i bunnlaget (Thiem et al. 2012). Modellen tilsa også at strømmene var variable i styrke og retning, noe disse målingene også viser. De modellerte hastighetene var lave. Vi ser også lave gjennomsnittshastigheter, men også sporadisk svært høye hastigheter på over 1,50 m/s ved Børve.

Ved Eitrheim er strømrørningene noe uventet i østlig retning i overflaten, og ikke nordlig, som forventet ettersom Opo og ferskvann i overflaten vil være en viktig driver her. I likhet med høstperioden vil flere strømmålere plassert i et transekt være nødvendig for å kartlegge strømforholdene her bedre.

Vår

Om våren dominerer innstrømming langs vestsiden av fjorden, og utstrømming langs østsiden og ved bunn. Tyssedal og Børve har likheter i forhold til retning, med vannstrøm sørover i overflaten, og

nordover i de dypere lagene fra 20-50 meter. Det er ikke mulig fra disse målingene å kartlegge nøyaktig dyp for utstrømming ved Børve, men det synes som om nordgående strøm fordeler seg i de dypere lagene.

Resultatene støtter tidligere modellering (Thiem et al. 2012) som tilsier utstrømming langs østsiden av fjorden, men støtter ikke modellen som tilsier innstrømming langs bunn. Partikkelvektor modellert fra målingene viser også partikkelvektor først nordøstover deretter sørover ved Tyssedal, i motsetning til tidligere antakelse (Thiem et al 2012).

Til støtte for tidligere modellering ser vi sterk overflatestrøm innover fjorden, særlig ved Børve. Mye ferskvannstilførsel og sterk stratifisering med kaldt ferskvann/ smeltevann over varmere salt vann er vist om våren. Sporadiske hendelser og innstrømming av kaldt havvann kan gi store variasjoner i strømretning.

Ser vi på Eitrheimsneset spesielt er dette et område som gir noe uventede resultater. En vårmelting med kraftig utstrømming fra Opo er forventet å gi en netto nordgående vanntransport i overflaten, mens vi ser en øst-vest rettet strøm i overflaten og ved bunn. Over kortere tidsrom (1-3 dager) ser vi at strømretningen i overflaten og ved bunn kan skifte mellom øst og vest, og at strømmene i overflaten og ved bunn som regel er motsatt rettet. Det er mulig at en kraftig utstrømming fra Opo medfører meandrering av utstrømmende vann, og at denne har en tversgående retning i målepunktet ved Eitrheimsneset. Strøm i flere retninger i trange områder kan også medføre turbulens. Verken topografi eller overflatestrøm gir gode forklaringer på de uventede resultatene fra den ene strømmåleren som ble plassert midt i sundet. Kvalitetssikring og nøye undersøkelser avslører ingen mangler ved utsettet eller måleren, eller andre forhold som tyder på at resultatene ikke er korrekte. For å gi et bedre svar på hva som styrer strømforholdene ved Eitheim om våren vil det være nødvendig å plassere flere strømmålere i et transekt som også dekker sidene av fjorden.

Under arbeidet med modellering av strømforholdene i Sjørfjorden i 2012 erfarte Uni Computing også at modellering av området ved Eitheim var svært vanskelig, og ga svært mange ulike strømretninger og raske endringer, og et transekt av fjorden ved Eitheim ble ikke vist i rapporten (Thiem, pers. comm.). Dette støtter vårt inntrykk av at strømsystemet ved Eitrheimsneset drives av flere ulike krefter, og at topografi, tidevann og overflateutstrømming fra Opo danner sammensatte forhold som det er krevende å forutsi.

Værets betydning

Ekstremvær med kraftige vinder eller nedbør kan gi episoder med kraftig strøm i overflaten, eller pulser av ferskvann som kan sette opp lokalt store hastigheter (Thiem et al 2012). Denne vinteren var det perioder med ekstremvær (vind og nedbør) etter at strømmålerne var tatt opp (16. oktober og 17. februar) Strømmålerne stod derfor ikke ute under flomeepisoden i oktober 2014, eller under vinterstormene med sørlig vindretning i januar. Det er derfor ikke grunn til å tro at målerne viser spesielt avvikende resultater som ikke kan forventes i et normalt år.

Partikkelvektorer

Partikkelvektoren (eks Fig. 3.1) er modellert ut fra punktet og dypet der måleren står, og viser en snittverdi for strømmen og retningen i punktet i den angitte perioden. Partikkelvektoren må derfor tolkes med forsiktighet. Partikkelvektoren tar ikke hensyn til at strømretning vil endres med avstand fra målepunktet, i ulike dyp, eller annen retningsendring som følge av elver, sidefjorder, land eller varierende bunnforhold, og må ikke tolkes som en fasit på hvordan partikler i området vil bevege seg utenfor måleområdet.

Begrensninger

For å gi et bedre bilde av strømsystemet langs land og i dypet ville det vært ønskelig med et høyere antall målere. Det er likevel slik at man aldri kan måle alle detaljer som påvirker strømmen i et område fullstendig og nøyaktig. Vanntransport kan skje i svært lokaliserte områder (celler) utenfor rekkevidden til en måler, selv om disse er nokså tett plassert, og episoder vil da ikke fanges opp.

Vi har basert strømtolkningene i stor grad på gjennomsnittet over en månedsperiode. Kortere episoder med retningsendringer og høye eller lave hastigheter blir ikke fremhevet av å se på gjennomsnittet. Ved å bruke lenger tid på å studere detaljer i vekslinger strømforholdene fra dag til dag, og å sette materialet sammen med informasjon om værforhold og vannføring i elvene vil man kunne få et enda bedre bilde av vekselvirkninger mellom vær og strømforhold i Sørfjorden. Det lå dessverre utenfor rekkevidden av denne rapporten å innhente slik detaljert informasjon.

Det var også et ønske å kartlegge bunnstrømmene. Dette lot seg ikke gjøre ettersom hovedstrømmer med overflatelag og sprangsjikt ble prioritert kartlagt med de tilgjengelige ressursene. De dypeste målinger er ca. fem meter over bunn ved Eitrheim og Tyssedal midtre. Blank distanse over profilerende målere (når måleren peker oppover fra bunn) eller sidelobe-effect i overgangen vann-

bunn (dersom måleren peker nedover) vil alltid redusere måleområdet ved bunn. Ved bunn avtar også strømmene mot null og dreier (Ekman effekten), og topografien vil ha stor betydning for strømmens retning og hastighet.

Dersom man er interessert i å få kartlagt bunnstrømmene nøyaktig for å kunne beregne transporten av sedimenter vil nye målinger med punktmålere plassert på bunn være å anbefale. Det er mulig å ta utgangspunkt i målingene som er gjort nært bunn ved Eitrheim og Tyssedal for å gi en indikasjon på sediment transporten for disse seksjonene, men slike estimater vil inneholde store usikkerheter da målingene ikke fanger variasjonene i strømstyrke i perioden. Som eksempel kan det nevnes at det i vårmålingene ved Eitrheim (Figur 3.11) var sterk tverrfjordlig (øst-vest) vannstrøm ved bunn midt i seksjonen med en svak innstrømskomponent. Tar en utgangspunkt i den målte bunnstrømmen fra denne ene måleren vil en ha som forventning at sedimenttransporten ved Eitrheim er på tvers av fjorden, noe som bryter med vanlige antagelser om fjordtransport. Det er derfor viktig å innhente utfyllende informasjon om hvordan vannstrømmen er på sidene for et slikt snitt, enten ved utfyllende målinger eller ved modellering, før en trekker slutninger om sediment transporten. Lenger ute i fjorden, ved Tyssedal viser målingene nært bunn at transporten hovedsakelig er langs fjorden som forventet. Her kan en gjøre transport estimater for bunnstrømmen, men det er viktig å være klar over at variasjoner i strømmen også vil finne sted for dette transektet og estimatene ikke vil gi et fullgodt bilde på virkelig transport.

DDT

Undersøkelsen viser at det fortsatt er høye nivåer av DDT i vannet ved Utne. I kombinasjon med strømmålingene er det grunnlag for å anta at det kan være en bakevje i området som dannes ved at strømmen skifter retning rundt neset. Oppholdstiden til partikler i vannmassene kan derfor forlenges, noe som kan gi grunnlag for oppkonsentrering av DDT. Det kan ikke utelukkes at det finnes lokale kilder til DDT i området. Det er ikke mulig å fastslå omfanget av en slik virvel ved Troneset på bakgrunn av ett enkelt målepunkt, men undersøkelsen har lagt et datagrunnlag for videre modellering av vannstrømmene.

Anbefalinger

For å modellere eller studere spredning av sediment fra Eitrheim, og for å kartlegge de skiftende og uventede strømretningene utenfor Eitrheimsneset, vil det være nødvendig med flere strømmålere i et transekt. På samme måte vil flere målere langs land ved Tyssedal være av interesse for å øke

oppløsningen. Plassering av en strømmåler litt lengre ut fra land enn den nåværende plasseringen av måleren ved Tyssedal Vest kan gi bedre data fra hovedstrømmene, ettersom det kan virke som Tyssedal Vest var påvirket av turbulens langs land i det nåværende målepunktet.

Det vil også være av interesse å sette punktmålere ved bunn over lengre perioder, for å kartlegge bunnstrømmen ut og innstrømming av havvann. Dette er viktige drivere for strømmen i Sjørfjorden.

5. KONKLUSJON

Studien er den første som kartlegger strømforholdene i Sjørfjorden med direkte strømmålinger fra innerst i Sjørfjorden ved Eitrheimsneset nord til Børve, i tre perioder, høst, vinter og vår. Studiet gir et overblikk over hovedstrømsystemene i disse periodene, uten å ha ambisjoner om å løse opp detaljer og å vise kortvarige strømeperioder. Målinger av bunnstrøm var ikke mulig å gjennomføre innenfor de gitte økonomiske rammene i dette prosjektet, og det ble lagt vekt på å kartlegge hovedstrømsystemet i fjorden, og strømhastigheter i overflatelaget og rundt sprangsjiktet. Fremfor alt gir studiet et godt datagrunnlag for ytterligere 3D-modellering av strømforhold og partikkelspredning i Sjørfjorden, og vil benyttes til å forbedre den eksisterende modellen. Strømforholdene viser i store trekk mye av de samme trendene som ble beskrevet av Thiem et al 2012, men med noe variasjoner som forventet.

Det kan være behov for å kartlegge bunnstrømmene nærmere for å modellere partikkeltransport, f.eks. ved Tyssedal, der tidligere modellering har antydnet store hastigheter med mulig resuspensjon av sedimentert materiale (Thiem et al. 2012).

Takk

Takk til Aquakompetanse og SINTEF for hyggelig og godt samarbeid. Takk til Kvitsøy Sjøtjenester for god assistanse under oppdraget. Takk til Thord Paulsen og mannskap for alltid hyggelig og velvillig hjelp, god service og rask levering av reservedekk.



Stasjon ved Rogdaberg

6. LITTERATUR:

- Botnen, H. og P.-O. Johansen (2006). "Kartlegging av DDT-nivået langs Sørfjorden i Hardanger - 2006." UNIFOB AS (10-2006).
- Geyer, H. J., I. Scheunert, R. Bruggemann, C. Steinberg, F. Korte and A. Kettrup (1991). "QSAR for organic chemical bioconcentration in Daphnia, algae, and mussels." Sci Total Environ 109-110: 387-394.
- Huckins, J. N., J. D. Petty, J. A. Lebo, F. V. Almeida, K. Booij, D. A. Alvarez, R. C. Clark and B. B. Mogensen (2002). "Development of the permeability/performance reference compound approach for in situ calibration of semipermeable membrane devices." Environmental Science & Technology 36(1): 85-91.
- NIVA (2013). "Overvåking av Miljøforholdene i Sørfjorden 2012. Rapport no. 1150 /2013." Miljødirektoratet rapport M15-2015.
- Thiem, Ø., H. Avlesen and A. Graham (2012). "Numerisk simulering av strøm i Sørfjorden." Uni Research Computing (Rapport no. 29, 1. desember).

7. INNHOLD I APPENDIX

Appendix 1: Instrumentkonfigurasjon, og strømstatistikk per periode og stasjon.

Appendix 2: CTD-Figurer for alle stasjoner.

Appendix 3: Analysebevis for klororganiske pesticider, SPMD

MARINBIOLOGISKE UNDERSØKELSER

SAM-Marin er en avdeling ved Uni Miljø hos Uni Research AS. Uni Research AS er Universitetet i Bergen sitt forskningsselskap. SAM-Marin har foretatt marine miljøundersøkelser siden 1970, og gjennomfører marine miljøundersøkelser og miljøovervåkning på oppdrag fra kommuner, oljeselskap, bedrifter og oppdrettere. SAM-marin er akkreditert for biologisk prøvetaking og taksonomisk analyse under akkrediteringsnummer Test157.

Våre internettsider finnes på www.uni.no