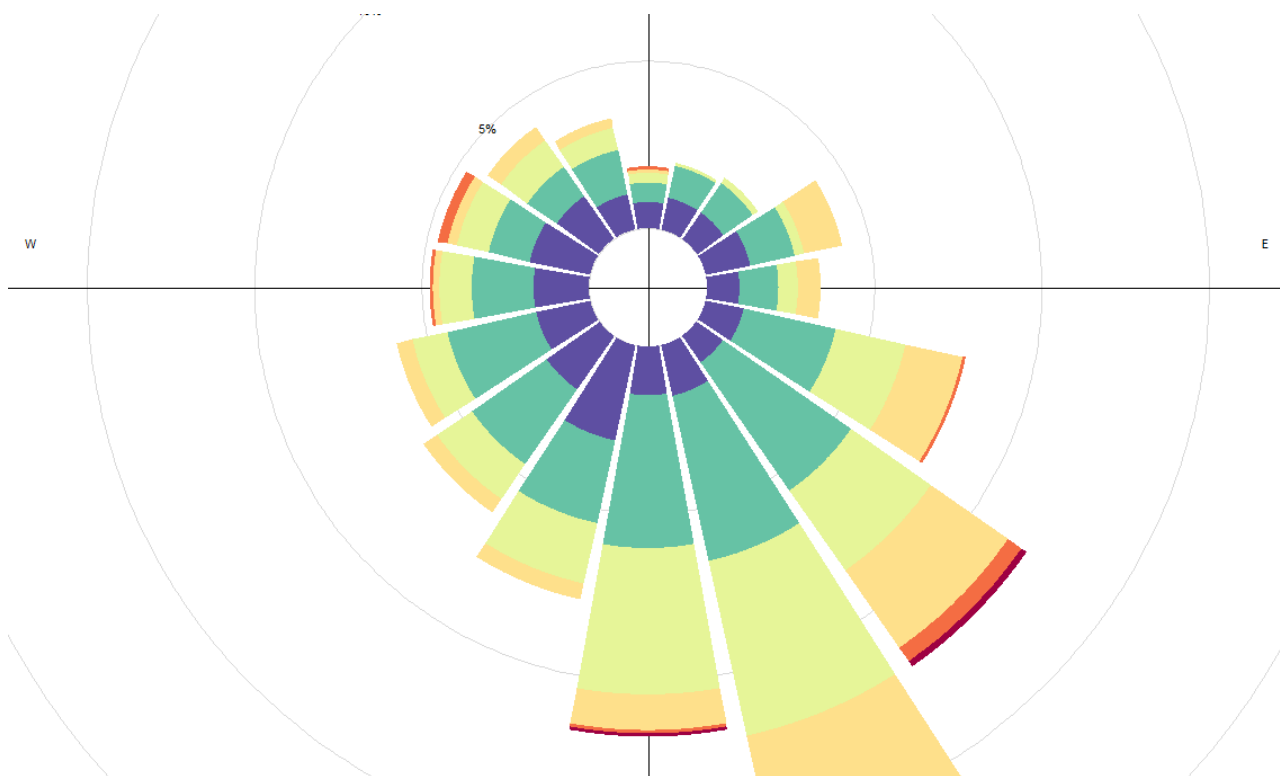


Beregnet til
Kystverket Sørøst

Dokument type
Datarapport

Dato
September, 2020

UTBEDRING FARLED INNSEILING MOSS **STRØMMÅLINGER VED DEPONILOKALITET**



UTBEDRING FARLED INNSEILING MOSS STRØMMÅLINGER VED DEPONILOKALITET

Oppdragsnavn **Kystverket - Innseiling Moss - utdyping, deponi og merking**
Prosjekt nr. **1350040555-005**
Mottaker **Kystverket**
Dokument type **Datarapport**
Versjon **001**
Dato **30.09.2020**
Utført av **Hanne Vidgren**
Kontrollert av **Karen Brinchmann**
Godkjent av **Tom Øyvind Jahren**
Beskrivelse **Det er utført strømmålinger ved deponilokalitet der det kan være aktuelt å deponere masser fra farledsutbedring til Moss Havn. Rapporten beskriver metoder og resultater for målingene. I tillegg er det gjort grove vurderinger for partikkelspredning under og etter deponering.**

Rambøll
Harbitzalléen 5
Postboks 427 Skøyen
0213 Oslo

T +47 22 51 80 00
<https://no.ramboll.com>

INNHALDSFORTEGNELSE

1.	Bakgrunn	2
2.	Områdebeskrivelse og tidligere strømundersøkelser	3
3.	Materiale og metode	5
3.1	Måleinstrument og målinger	5
3.2	Kvalitetssikring og bearbeiding av strømdata	6
3.3	Hydrografi	7
4.	Resultater	8
4.1	Hydrografi: salinitet og temperatur	8
4.2	Roseplott: dominerende strømrørninger	9
4.3	Tidsserier av horisontale strømhastighet og -retning	12
4.4	Strømstyrker i forhold til tidevannsvariasjonene	15
4.5	Strømstyrker i forhold til vind	18
4.6	Partikkelspredning under deponering	19
5.	Konklusjon	21
6.	Referanser	22

Vedlegg

Vedlegg 1. Oversikt over måledata og kvalitetssikring

Vedlegg 2. Histogrammer for horisontale hastighet og retning

Vedlegg 3. Vertikal strømhastighet

2. OMRÅDEBESKRIVELSE OG TIDLIGERE STRØMUNDERSØKELSER

Moss Havn ligger innerst i Verlebukta i Ytre Oslofjord på innsiden av Jeløya, sørvest for Moss sentrum (Figur 1). Jeløya er skilt fra fastlandet av en cirka 35 meter bred og 4-5 m dyp kanal, Mossekanalen, nord for Verlebukta. Det viktigste havneanlegget i Moss befinner seg innerst i Verlebukta. Nord for kanalen ligger Mossesundet med mindre havneaktiviteter og -anlegg. Største elva i området, Mosseelva, har utløp i den sørligste delen av Mossesundet. Tiltaksområdene i dette prosjektet ligger i Verlebukta, sør for Moss havn. Verlebukta ligger relativt værutsatt særlig når bølger, strøm og vind kommer sørfra. Strømmene i Ytre Oslofjord og i Verlebukta (og generelt i kystfarvann) er i hovedsak forårsaket av tidevann. Vannstanden måles kontinuerlig på 23 stasjoner langs Norskekysten, stasjon Oscarsborg ligger nærmest Moss havn og undersøkelsesområdet. Forskjellene mellom høy- og lavvann er generelt små i Ytre Oslofjord og vanligvis kun ca. 25-30 cm. (Sevannstand.no)

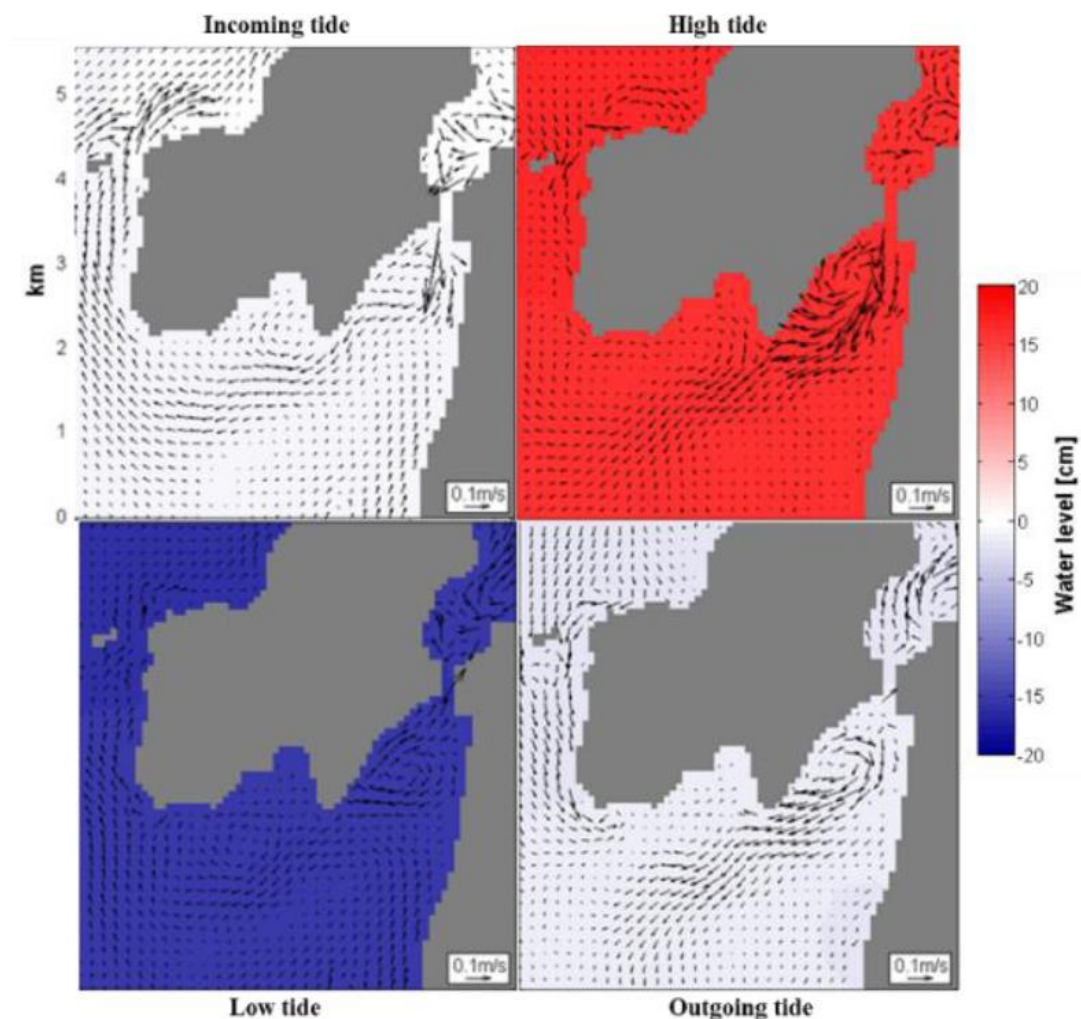
Tidevannsforskjellene blir periodevis betydelig større som følge av værrets påvirkning og vannstanden i Oslofjorden kan endre seg mer på grunn av meteorologiske forhold, enn av selve tidevannseffekten. For eksempel vil et kraftig lavtrykk ute i Skagerrak heve vannstanden utenfor Oslofjorden som videre sprer seg innover fjorden. Dersom dette sammenfaller med kraftig pålandsvind, forårsaker det stormflo. Vind kan ta med seg det øverste vannlaget og stue opp vann i noen områder, og dra ut vann fra andre. Vinden alene kan i enkelte tilfeller påvirke sirkulasjonen i hele fjorden ved at dypere liggende vannmasser blir presset ned eller sugd opp (NIVA, 2014). Det foreligger lite informasjon om dypvannsstrømninger i Ytre Oslofjord. Forbindelsen fra Verlebukta og sør mot Skagerrak er relativt åpen, uten noen grunner terskler. Det kan likevel forekomme perioder når tyngre vann strømmer inn i fjorden. Dypvannsstrømninger har trolig lite betydning for strømforhold ved deponilokalitet.

Rambøll er ikke kjent at det er gjort strømmålinger ved deponilokalitet ved Store Revlingen tidligere. NIVA (2014) har modellert strømforholdene i Verlebukta ved bruk av ved 2D modellen FVCOM (Finite-Volume Community Ocean Model). Simuleringer ble gjort ved 3 ulike alternativer for utfyllinger i havna. Modellen ble drevet kun av tidevann, og påvirkning av ferskvannstilførsel eller meteorologi var ikke tatt med i simuleringer. Modellresultatene ga dermed et relativt begrenset bilde av reelle strømhastigheter i området. Resultater viste at strømbildet er dominert av svake strømmer nordover langs Jeløya mot Mossekanalen og sørover midt i Verlebukta. Strømvirvel var i hovedsak med klokka innerst i Verlebukta. Resultatene viste også at ved høyvann og synkende tidevann går strømmen sørover i Mossekanalen. Dette betyr at ferskvann fra Mosseelva renner sørover mot Verlebukta under disse forholdene. Modellstudiet viste at strømningene gjennom kanalen er svært viktige for strømmønsteret i Moss havn. Ved lavvann og stigende tidevann ble strømmen beregnet å gå nordover i kanalen.

NIVA (2014) presenterte også resultater fra en eldre ROMS modell med gitteroppløsning på 75 meter (grovere enn FVCOM modellen) som dekker også området ved deponilokalitet. Noen av de hovedresultatene fra modellkjøringer med ROMS er vist i Figur 2. Resultatene var relativt like som beregnet med modellen med høyere oppløsning. Ingen av tidligere modellkjøringer avslører noen tydelige strømningsmønster ved deponilokalitet sør for Revlingen. Også typografien og formen av fjorden har stor betydning for strømforholdene. Deponilokalitet ligger skjermet med øyene Lille og Stor Revlingen på sørsiden, samt grunne områder direkte vest for undersøkelsesområdet.

Multiconsult utførte strømmålinger i vinter 2016/2017 ved Steinergrunnen og Espenesgrunnen (Multiconsult 2017), hhv. omtrent 1 km vest og 1,5 km nord for deponilokalitet omtalt i denne

rapporten. Ved Steinergrunnen var strøm i nordlig retning dominerende alle dyp. Nærme bunnen (35 m dyp) forekom det også en del strøm mot sørvest. Strømmen ved Espenesgrunnen oscillerte i hovedsak i nordøst-sørvestlig retning, men i overflatelag (5 m dyp) var det også en del vanntransport mot nordvest, dvs. mot Reiertangen. Multiconsult (2017) konkluderte at tidevannsstrømmen spiller en liten rolle i strømforholdene både ved Steinergrunnen og Espenesgrunnen.



Figur 2. Kartet viser hovedfunnene fra simulering av strømforhold med ROMS modellen (75 m grid). NIVA (2014) sin modell med høyere oppløsning viste noenlunde like strømmønster i indre delen av Verlebukta. Deponilokalitet ligger rett sør for området vist i kart.

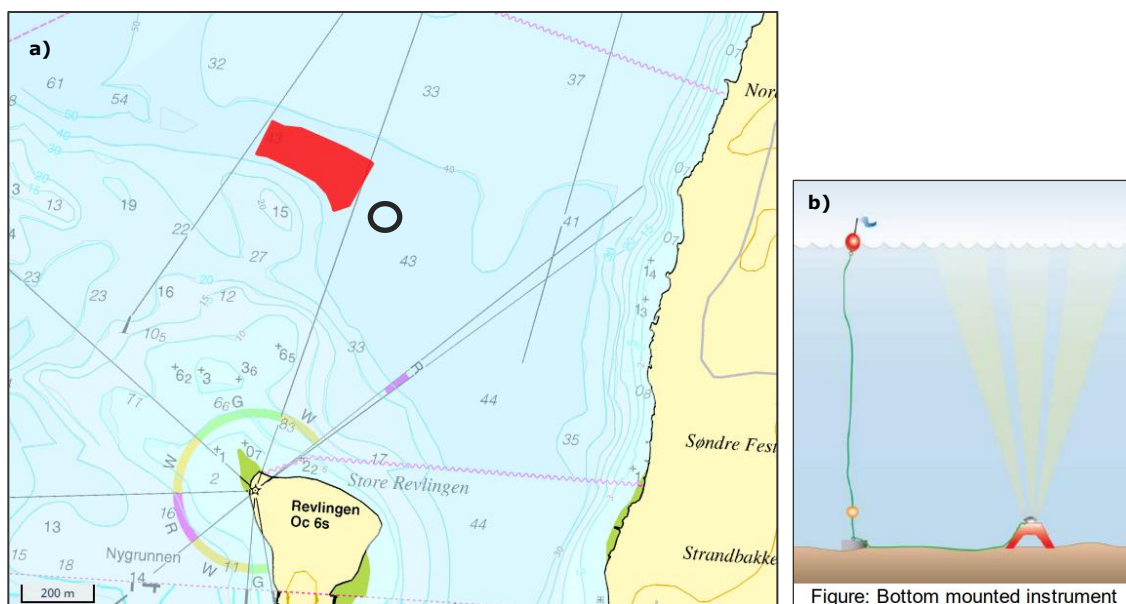
3. MATERIALE OG METODE

3.1 Måleinstrument og målinger

Det er gjort profilerende målinger av horisontal og vertikal strøm i perioden 2020-06-24 11:20:00 til 2020-08-06 08:50:00. Måleren ble plassert så nære deponilokalitet som var mulig i praksis grunnet trafikk inn og ut fra havna. Målingene ble utført ca. 40 m øst for deponilokalitet (se Figur 3). Sjøbunnen mellom målested og deponiområdet er relativt flat, og målingene antas dermed være representative også for deponiområdet.

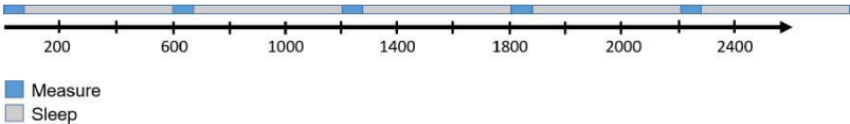
Strømretning og -hastighet ble målt med en akustisk Doppler profilmåler (Aquadopp Profiler 400 kHz fra Nortek (Nortek, 2018)). Målingene er basert på dopplereffekten: instrumentet sender ut en akustisk puls og måler frekvensen av innkommende refleksjoner som er forårsaket av zooplankton, små partikler eller bobler i vannet. Ut ifra frekvensskiftet beregnes hastigheten av partiklene i vannet, som er antatt å være lik strømhastigheten. Instrumentet sender ut pulser i tre stråler i forskjellige retninger, og er satt opp å måle den horisontale og vertikale strømhastigheten i flere dyp gjennom vannsøylen. Detaljer rundt måleren og målingene er gitt i Tabell 1. Set-up for instrumentet (cellestørrelse, måleintervall) er valgt for å optimalisere kvalitet på dataene, samtidig ved å sikre at instrumentet har tilstrekkelig strøm og minne for hele måleperioden.

Det ble totalt målt 6178 profiler med intervall på 10 min. Utsetting av måleren ble gjennomført med FF Trygve Braarud. Fartøyets ekkolodd ble brukt for å finne en egnet lokalitet med jevn sjøbunn for plassering av riggen. Måleren ble plassert ca. 1 m over sjøbunnen, og markert ved overvannsbøye ved ca. 25 m avstand til selve måleren (se Figur 3b for skisse av riggen). Det ble benyttet L-formet tauverk for å redusere bevegelser av instrumentet grunnet bølger, vind og strøm som overflatebøya er utsatt for.



Figur 3. a) Kart som viser deponiområdet (rød polygon) og plassering av strømmålere rett øst for deponiområdet i ca. 44 m vanddyb (svart sirkel) (kartgrunnlag fra Kystinfo.no). b) Skisse av måleriggen, figuren er hentet fra Nortek (2018).

Tabell 1. Generell informasjon om strømmålinger utført ved Revlingen, deponilokalitet for prosjektet «Utbedring farled Innseiling Moss».

Posisjon	59°24.312' N, 10°38.315' Ø (se Figur 3a)
Vannndyp ved målested	44 m
Måledyp	Cirka 1 m over sjøbunnen, 43 m
Varighet av målinger	2020-06-24 11:45:00 to 2020-08-06 08:45:00 1 måned, ca. 13 dager – lengre enn månedlige tidevannssyklusen
Antall målinger	6184 (10 minutters intervaller)
Instrument	Nortek Aquadopp Profiler 400 kHz, serienummer AQD158624.24
Firmware versjon	3.43
Horisontal nøyaktighet	± 0,5 cm/s
Vertikal nøyaktighet	± 1,0 cm/s
Cellestørrelse	2 m
Blanking avstand	0,5 m (dvs. første måling i 0,5 m avstand fra instrumentet)
Nr. av beams	3 (25 °C vinkel)
Koordinatsystem	ENU (East, North, Up)
Måleintervall	Standard «stand-alone» set up: (Nortek, 2018) Hver 10 minutter måling over 60 sekunder (blå intervaller i figuren under) Instrumentet beregner og lagrer gjennomsnitt over måleperioden på 60 sekund: 
Måleretning	Upwards (se Figur 3b)
Rådata filnavn	Moss_jun_aug_2020.prf

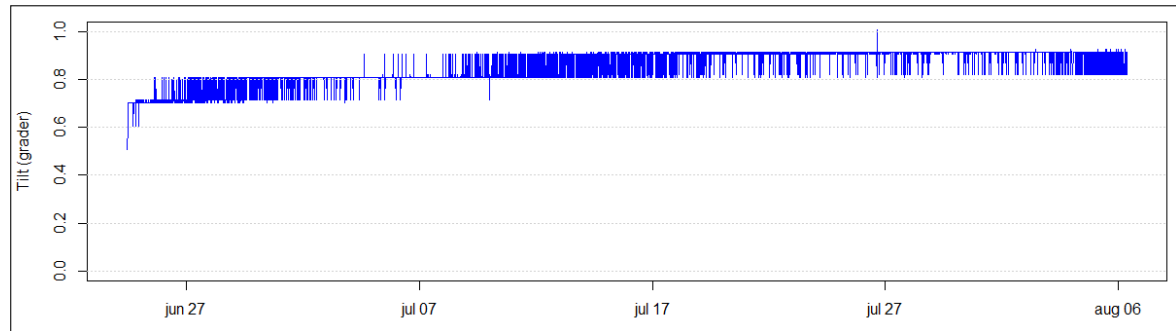
3.2 Kvalitetssikring og bearbeiding av strømdata

Måledata fra strømmålere ble kvalitetssikret i henhold til anbefalingene fra instrumentenes produsenter, Nortek (2018). Deler av databehandlingen gjøres automatisk av selv instrumentet under dataloggingen. Som vist i Tabell 1 beregner instrument automatisk gjennomsnitt av flere pinger sent over en periode på 60 sekunder. Dette gjøres for å redusere feilen fra enkelte pulser, men samtidig medfører dette en forskjell mellom den resulterende middelstrømmen og den målte strømmen. Gjennomsnittmålingers avvik fra de aktuelle strømmålinger kalles «bias». Denne biasen er generelt mye mindre enn de feilene man fjerner ved å beregne et gjennomsnitt over en periode på 1 minutt. Den langsiktige biasen håndteres av instrumentets signalbehandling og for Aquadopp målere er vanligvis mindre enn 1 cm/s (Nortek, 2018). Datapunktene som ble logget da måleren var i lufta (trykk ~ 0 dbar) ble fjernet ved import før videre behandling av dataene.

Det er noen begrensninger i akustiske målinger. En av de er et fenomen som kalles «sidelobe». Dette fenomenet oppstår når signalene fra strømmåleren treffer vannoverflaten og skaper akustisk støy som forstyrrer målinger i øvre delen av vannsøylen. Vanligvis vil denne effekten kunne påvirke 5 til 10 % av profilen (Nortek, 2018). Med en vannsøyle på 44 m vil man da kunne benytte data fra de nederste ca. 40 m, mens øvre 0-5 m av profilene må forkastes grunnet dårlig kvalitet.

Rådataformat er hastighet langs de 3 beamer (XYZ hastigheter), og det er derfor nødvendig å måle instrumentets orientering i sjø for å relatere måledata til et brukbart koordinatsystem. Instrumentet har sensorer for blant annet trykk, «pitch», «roll» og temperatur, samt kompass («heading») (Se Vedlegg 1). Måledata transformeres automatisk til Øst – Nord – Opp koordinater (ENU) basert på instrumentets orientering og bevegelser over tid.

Med tanke på kvaliteten av dataene er parameter «tilt» (dvs. vertikal helling) en viktig faktor. Vi har beregnet tilt ut ifra «pitch» og «roll» loggen. Fra erfaring kan store variasjoner i tilt eller tilt over 5° gi lavere kvalitet på dataene. Tilt av instrumentet reduseres betydelig ved å koble overflatebøya til forankringen, og ikke direkte til instrumentet (se Figur 3b). Måledata viser at under hele måleperioden er tilt under 1° , dvs. den vertikale hellingen var svært liten. Det er derfor ikke gjort noen filtrering basert på denne parameteren for måledataene.



Figur 4. Tilt ($^\circ$) av Aquadopp for hele måleperioden.

Øvrig kvalitetssikring er hovedsakelig basert på signalstyrke (amplitude) for de tre beamene. Med signalstyrke menes det styrken av signalet som returneres til instrumentet (enhet «counts»). Det er vanlig at signalstyrke synker noe med avstand fra instrumentet som følge av demping i vannsøylen. I tillegg vil signalstyrken variere avhengig av antall og type partikler i vannet. Signalstyrken benyttes for å etablere området for brukbare måledata, måledata med for høy eller lav signalstyrke er forkastet. Økt signalstyrke svært nær instrument eller i overflate tyder på støy i måledataene.

Vi har i hovedsak benyttet Oce pakke (Kelley, 2020) i R programvare for å kvalitetssikre og bearbeide dataene. Figur 15 i Vedlegg 1 viser amplitude for beamene 1 til 3 (hhv. a_1 til a_3) som funksjon av avstand fra måleren og tid. Signalstyrken i øvre 0-5 m av vannsøylen (40-45 m avstand fra måleren) er høy (>120 counts) og disse resultatene er forkastet. I tillegg er signalstyrken høy nær måleren (>120 counts), noe som indikerer lavere kvalitet på måledata ved 0,5-2,5 m avstand fra måleren. Det er følgelig ikke tatt med data fra celle nr. 01 (0,5-2,5m) og plottene benyttet starter med resultater for celle nr. 02. Denne måler strøm i 2,5-4,5m avstand fra måleren, tilsvarende ca. 40,5-38,5 m vanddyb.

For flere grafer i denne rapporten er det videre beregnet et gjennomsnitt av strømhastighet og -retning over en periode på 1 time. Der det er tilfellet er midlingstid oppgitt under figuren. 1 timer gjennomsnitt ble beregnet for å forbedre leseligheten av figurer. Alle statistikkene er beregnet uten videre midling av dataene.

3.3 Hydrografi

Under utsetting av instrumentet ble det også gjennomført profilerende måling med CTD-måler som måler konduktivitet som mål for salinitet, temperatur og dybde som funksjon av trykk. Omregningen til salinitet og dybde er gjennomført direkte av instrumentets programvare. Dataene benyttes for å kartlegge lagdelingen i vannsøylen. Profilen ble målt i samme lokasjon som strømmåleren ble satt ut (se posisjon i Tabell 1). CTD-måling ble utført med en YSI-EXO2 instrument som ble senket rolig ned gjennom vannsøylen mens instrumentet loggførte verdier av konduktivitet, temperatur og trykk hvert 2. sekund.

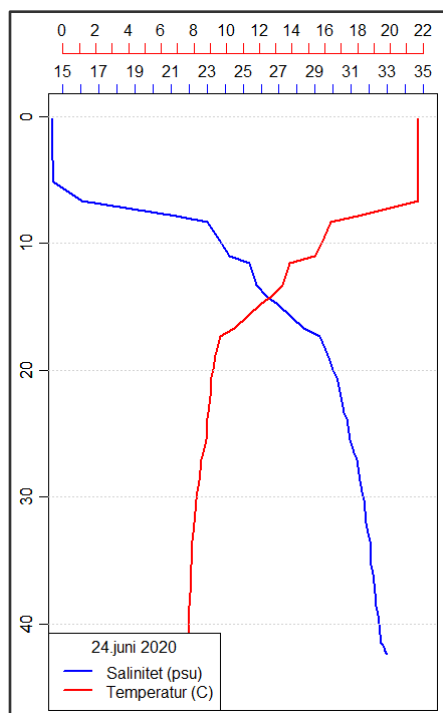
4. RESULTATER

I dette avsnittet presenteres utvalgte resultater fra hydrografi og strømmålinger. Vedlegg 1 oppgir parameterne benyttet i kvalitetssikringen av strømdata. Vedlegg 2 oppgir histogrammer for horisontale strømhastighet og - retning. Det er her diskutert i hovedsak kun horisontale strømmer i dette avsnittet. I Vedlegg 3 oppsummeres vertikale hastigheter og retninger målt. Vertikale hastigheter er betydelig lavere enn horisontale hastigheter, samt det er svært lite variasjon i ulike vannlag.

4.1 Hydrografi: salinitet og temperatur

Ferskvannstilførselen danner lagdeling (sjikting) i vannet. Brakkvann har lavere tetthet enn sjøvann og vil legge seg over tyngre vann. Det er ingen store elver med direkte utløp til Verlebukta og forholdene med tanke på hydrografi i Verlebukta er stort sett påvirket av Mosseelva, som renner ut sør i Mossesundet, rett nord for kanalen (se Kapittel 2). I tillegg er hydrografien i Ytre Oslofjord påvirket av ferskvannstilstrømning fra Drammensfjorden (NIVA, 2014). Figur 5 viser salinitet og temperatur i vannsøylen ved utsetting av strømmåleren, den 24.juni 2020. Det er registrert tydelig sjikting i vannsøylen. I øvre ca. 0-6 m av vannsøylen er både salinitet og temperatur relativt stabil på hhv. 14,5 psu og 21 °C. Fra vanddyb 6 m til og med vanddyb på ca. 18 m øker salinitet og temperatur synker. Under vanddyb på ca. 18 m er temperatur og salinitet mer stabil på hhv. 7,5-9 °C og 30-33 psu.

Det er også tidligere gjort hydrografimålinger i Verlebukta og Mossesundet (for eksempel Rambøll, 2018, Multiconsult, 2017). Resultatene fra tidligere undersøkelser er ikke presentert i denne rapporten, men vurderinger av resultatene viste at tykkelsen på brakkvannslag kan variere stort gjennom året. Generelt er det mest sjikting i vannet i vår- og sommermånedene, mens det om vinteren er mer homogene vannmasser.



Figur 5. Resultater fra CTD måling ved utsetting av strømmålere, 24.juni 2020. Figuren viser salinitet (psu) og temperatur (C grader) som funksjon av vanddyb (m).

4.2 Roseplott: dominerende strømrørninger

Figur 6 viser fordeling av strømhastighetene med kompass (strømrører). Strømrører er vist for vanddyb på 6 m, 15 m, 25 m og 40 m. Strømrører gir et godt oversiktsbilde av det generelle strømbildet ved deponilokaliteten, samt godt bilde av dominerende strømrørning og vanntransport.

Strømrørerne for de fire dypene (Figur 6) viser at fordelingen av strømrørning er forholdsvis lik i alle dyp. Noe høyere hastigheter ble målt på 5 og 15 m vanddyb, sammenlignet med resultater fra vanddyb på 25 m og 40 m. I tillegg er strømmen mot sørvest noe vanligere i den øvre delen av vannsøylen enn dypere vann. Sterkest strøm er målt på 6 m og 15 m dybde, og sterkeste strømmene var rettet mot sørøst – sør – sørvest, samt i mindre grad mot nordvest og nord. I vanddyb på 25 og 40 m var hastighetene noe lavere og sterkeste strømmene var rettet mot sør og sørvest.

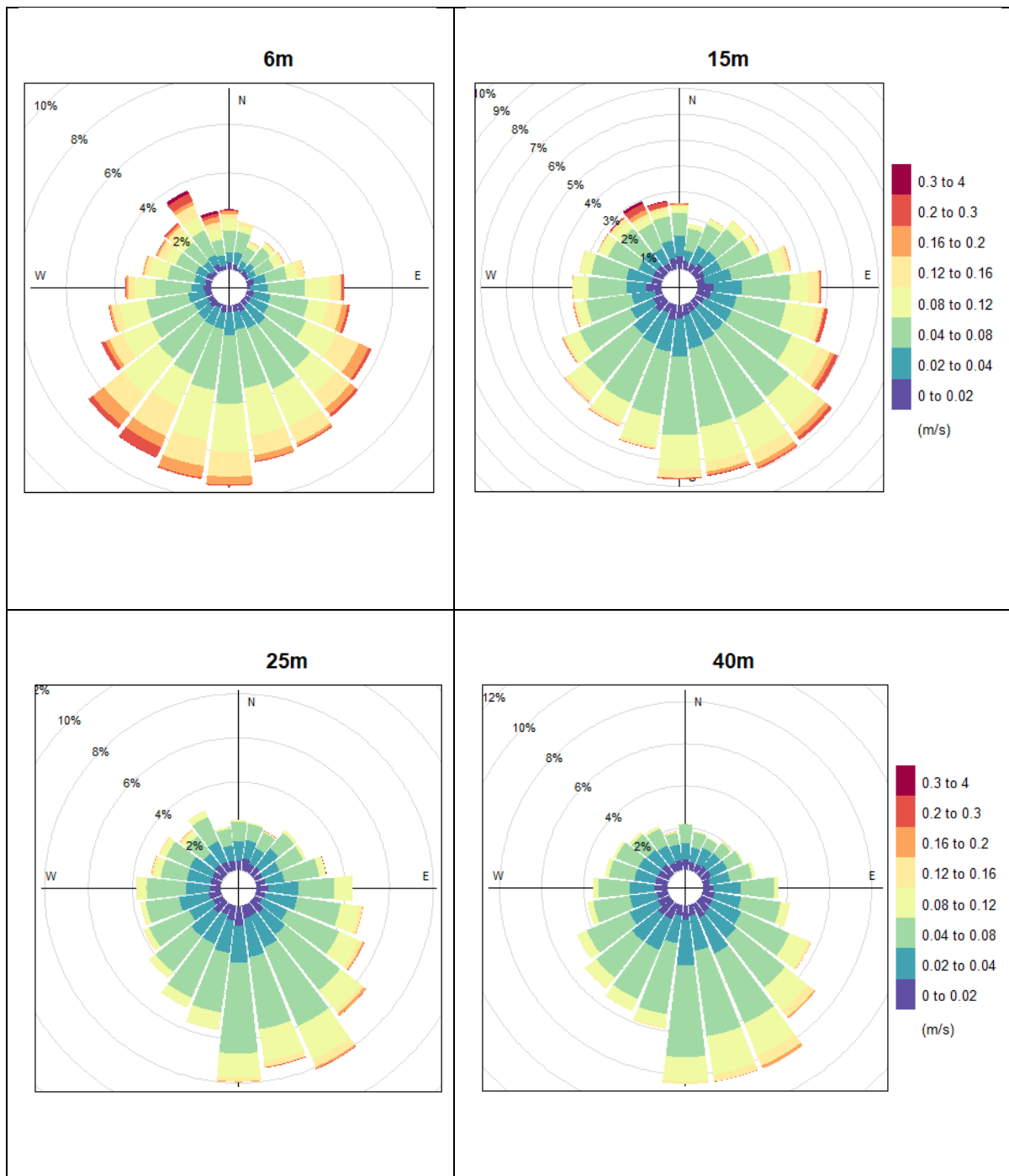
Figur 7 viser strømstatistikk for strømhastigheter med kompass. Resultater er vist for vanddyb på 6 m, 15 m, 25 m og 40 m. Rosene viser:

- Minimum hastighet: (5 % persentil)
- Medianverdi: (50 % persentil)
- Gjennomsnittshastighet
- Maksimum hastighet (95 % persentil)

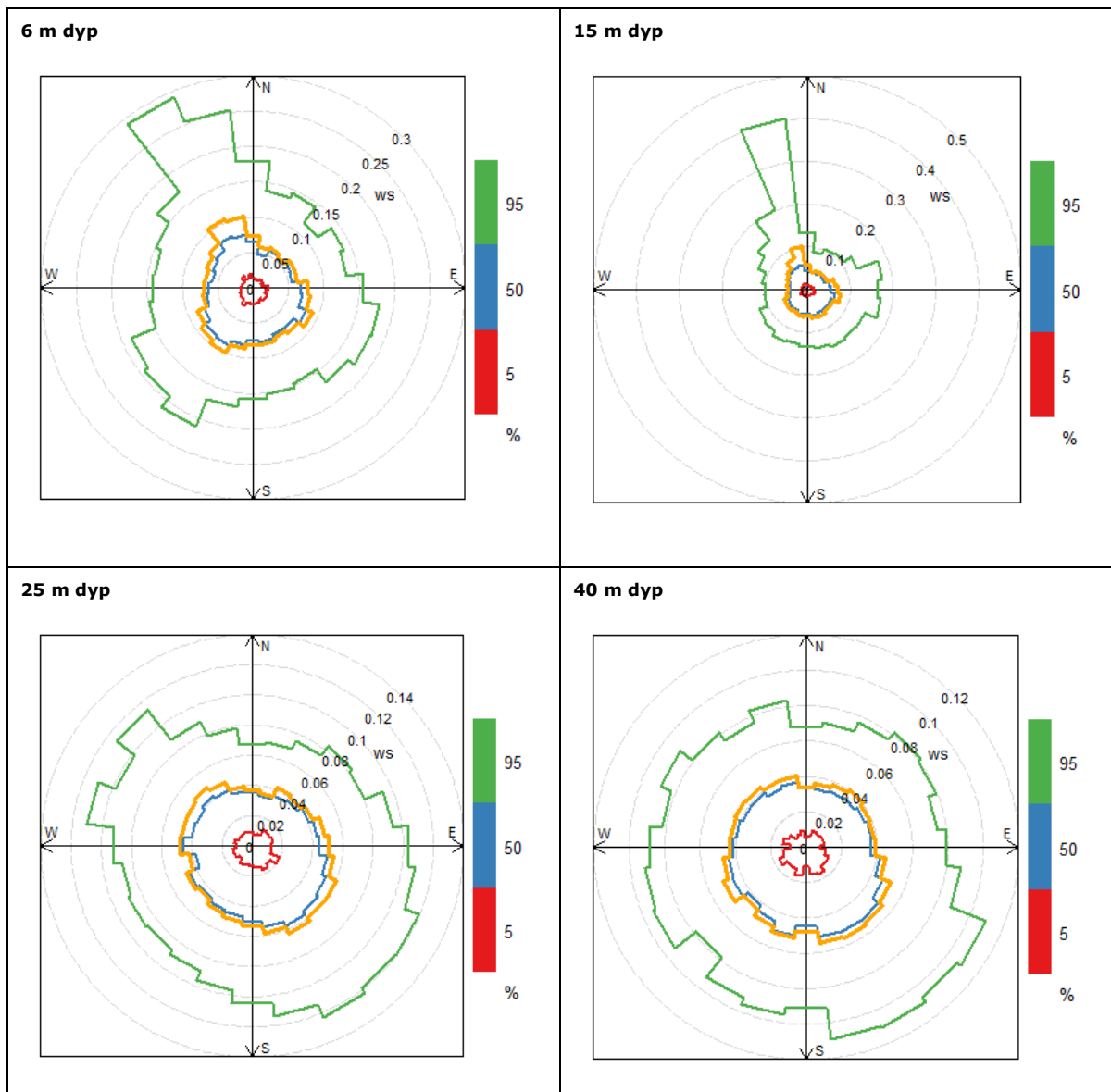
Gjennomsnittshastighet er summen av alle målte hastigheter delt på antall målinger, mens median er den midterste målingen av alle målte hastigheter. Medianverdi er følgelig mindre påvirket av enkelte ekstremverdier.

Roseplottene i Figur 7 viser at det er lite forskjeller i lave og medianhastigheter sektorvis, men i øvre delen av vannsøylen (6-15 m dyp) er hastighetene noe høyere sammenlignet med dypere vann (25-40 m vanddyb). Sektorvis middelhastighet varierer mellom 0,05-0,07 m/s, 0,04-0,06 m/s, 0,04-0,05 m/s og 0,04-0,05 m/s hhv. for vanddyb 6, 15, 25 og 40 m (Figur 7).

Gjennomsnittshastighet er noe høyere sammenlignet med medianverdi i alle vanddyb. Det er mer variasjon i maksimale hastigheter målt i ulike retninger. I øvre del av vannsøylen (6-15 m dyp) ble sterkeste strøm målt i retning nordvest.



Figur 6. Strømroser som viser fordelingen av hastigheter (m/s) for utvalgte vanddyb (m). 10 min midlingstid.



Figur 7. Strømroser som viser sektorvis gjennomsnittstrømhastighet i ulike retninger i oransje. Minimum (5 % persentil), middels (50 % persentil) og maksimale hastigheter (95 % persentil) er vist hhv. med rød, blå og grønn. 10 min midlingstid.

4.3 Tidsserier av horisontale strømhastighet og -retning

Figur 8 viser strømhastighet (i alle retninger) og strømretning i hele måleperioden som funksjon av vanddyb og tid. Kvalitet på dataene i øvre 0-5 m av vannsøylen er dårlig grunnet «side lobe» effekten (se Kapittel 3). Resultatene fra disse vanddyb er likevel vist i grafene. 1 timers midlingstid er benyttet for grafene. Dette for å forbedre leseligheten av grafer.

Resultatene viser at særlig i nedre delen av vannsøylen (under 20 m dyp) er hastighetene lave, og at det forekom forholdsvis lite variasjon i strømfart under måleperioden i disse vanddyb. I øvre delen av vannsøylen (5-15 m vanddyb) var det mer variasjon i hastighetene, og det kom flere perioder med strømhastigheter opp mot 0,25 m/s (Figur 8a). Strømretninger er mer detaljert diskutert i kapittel 4.2, men Figur 8b viser variasjoner i strømretning i hele måleperioden som funksjon av dyp. Mørk rød og blå farge indikerer strøm mot nord, mens hvitere farge viser strøm mot sør.

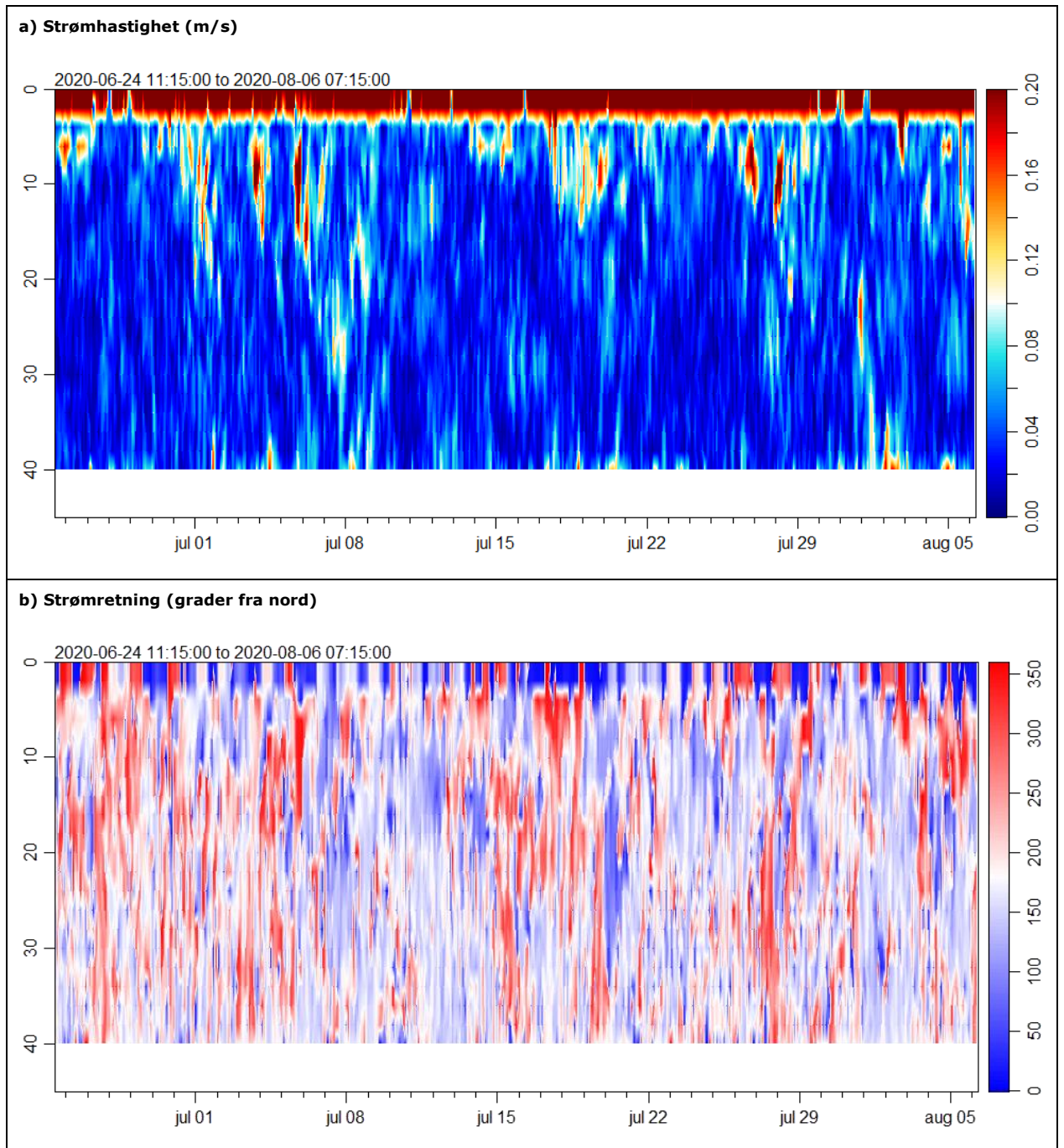
Figur 9 viser tidsserier for horisontal strømhastighet for utvalgte vanddyb. Hovedresultatene og statistikk over hastigheter i alle retninger er oppsummert i Tabell 2. Medianstrømmen ved 6, 15, 25 og 40 m vanddyb er hhv. 0,075, 0,054, 0,045 og 0,044 m/s. Gjennomsnittshastighet er noe høyere og hhv. 0,082, 0,064, 0,050 og 0,047 m/s. Også maksimum og minimumshastigheter er høyest i vanddyb 6-15 m (se Tabell 2). Maksimumstrømmen (95 % persentil) ble målt til 0,175, 0,143, 0,105 og 0,094 m/s hhv. i vanddyb 6, 15, 25 og 40 m.

Tidsserier i Figur 9 viser at i korte perioder ble det målt hastigheter opp til 0,3-0,4 m/s i overflatelag (6-15 m). I bunnlaget viste enkelte målinger strømstyrker opp til 0,2 m/s.

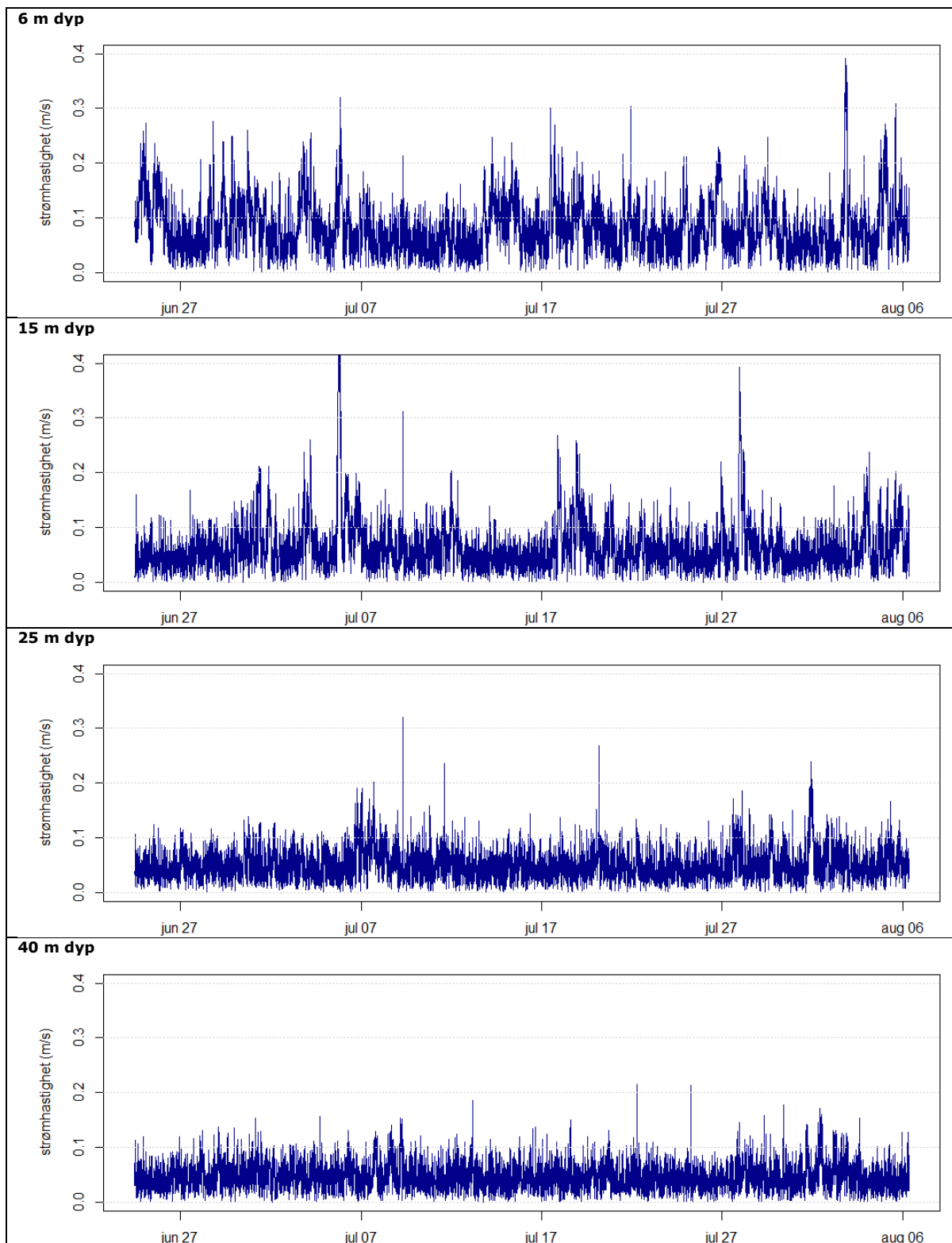
Histogrammer for hastighet og retning for samme utvalgte vanddyb er vist i Vedlegg 2.

Tabell 2. Oppsummering av strømhastigheter til alle retninger (m/s) for utvalgte vanddyb (m). 10 minutters måleintervall.

Dyp	5 %	25%	Gjennom- snitt	Middel 50%	75 %	95 %
6 m	0,019	0,045	0,082	0,072	0,108	0,175
15 m	0,014	0,034	0,064	0,054	0,081	0,143
25 m	0,011	0,028	0,050	0,045	0,066	0,105
40 m	0,011	0,028	0,047	0,044	0,062	0,094



Figur 8. Strømhastighet (m/s) og -retning (grader fra nord) for hele måleperioden som funksjon av vanddyb og tid. For øverste 0-5 m av vannsøylen er kvaliteten på måledata dårlig (side lobe effekt). 1 timers midlingstid benyttet for grafene. Vanddyb (m) på y-aksen.



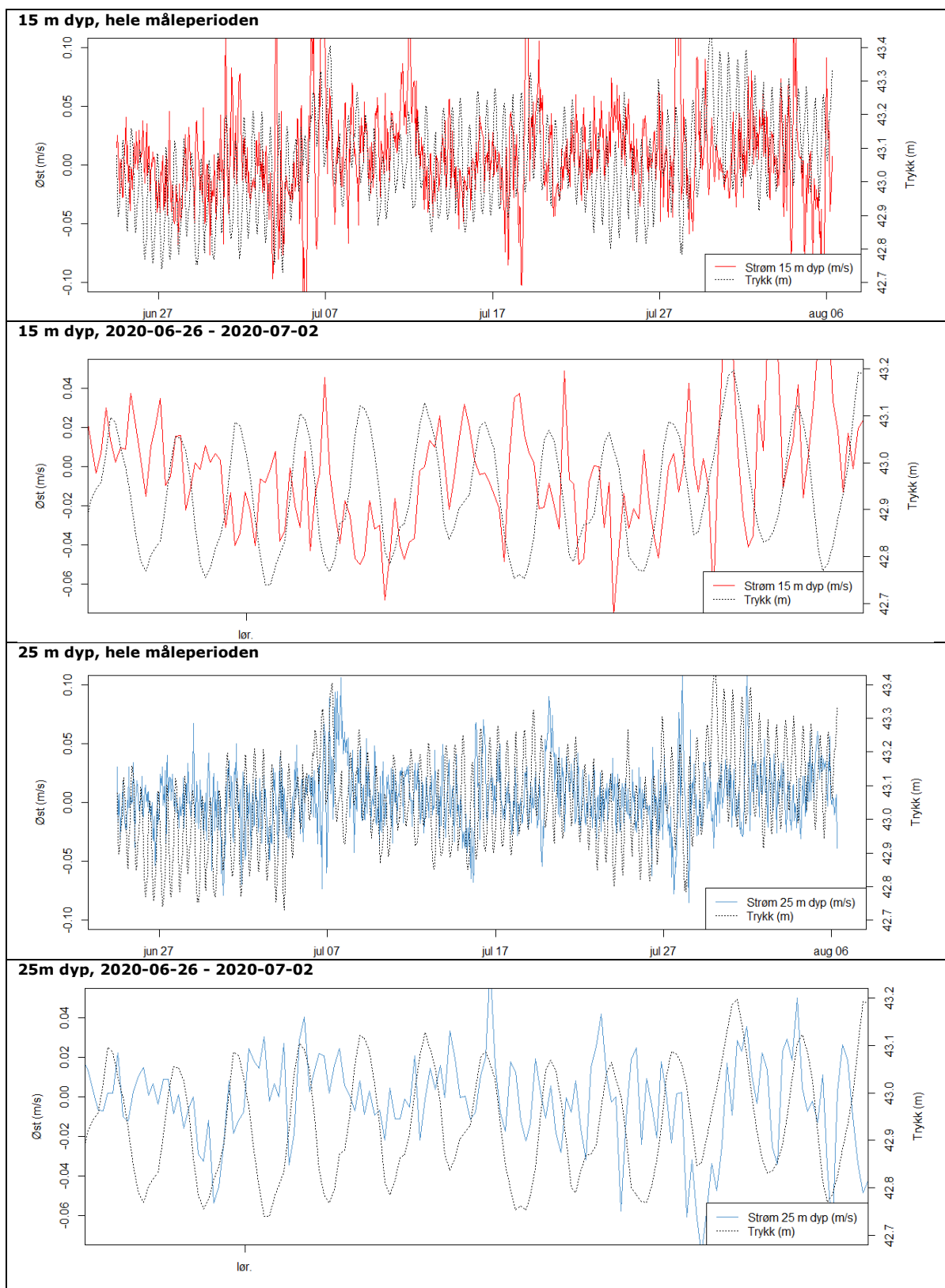
Figur 9. Vertikale strømhastighet (m/s) for utvalgte vanddyb og for hele måleperioden. Histogrammer er oppgitt i Vedlegg 2. 10 min midlingstid.

4.4 Strømstyrker i forhold til tidevannsvariasjonene

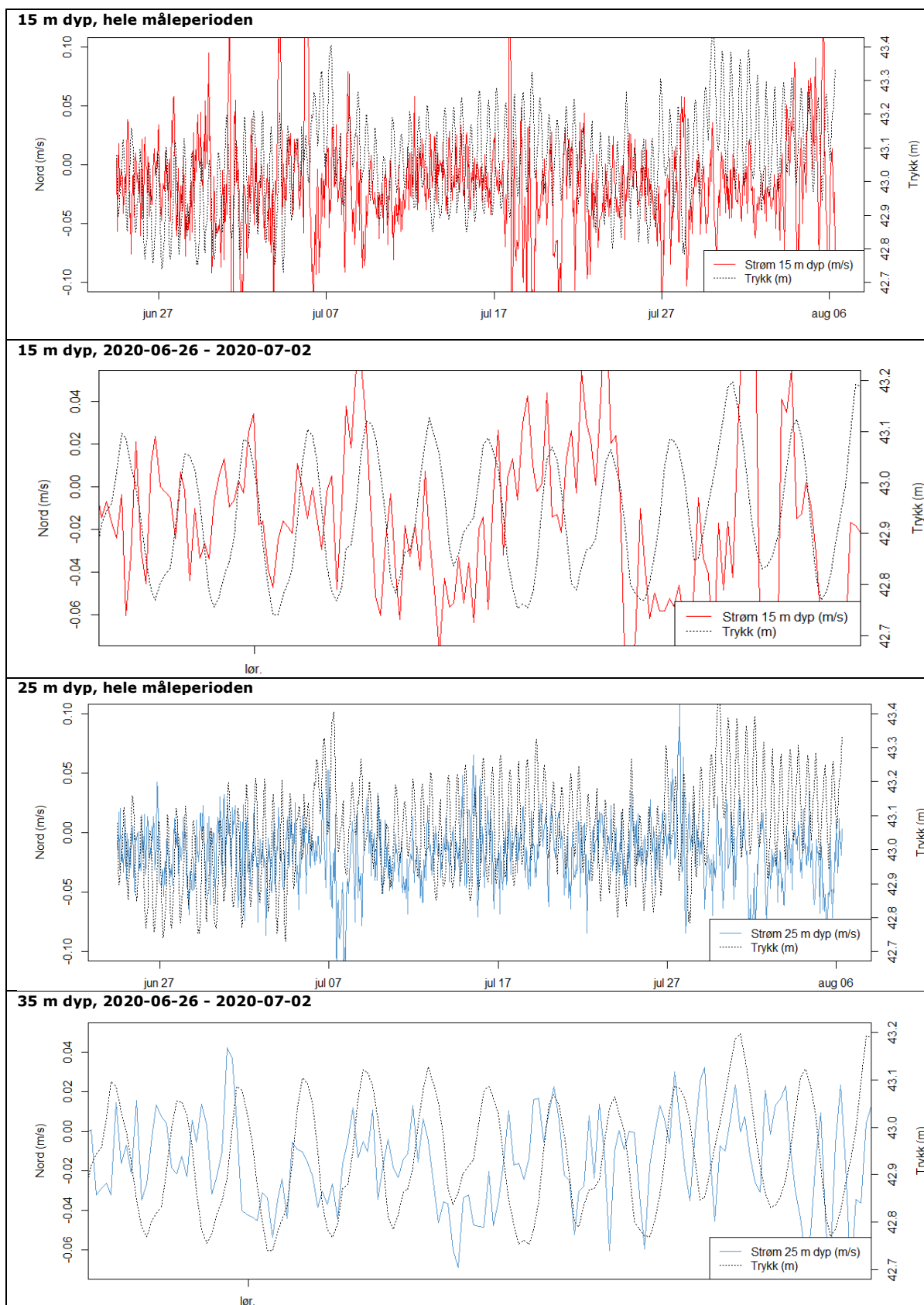
I dette avsnittet sammenstilles strømhastighetene mot nord og øst med tidevannets variasjoner i måleperioden. Dette er gjort for å avgjøre om målingene avdekker et tydelig mønster i forhold i tidevannssyklusen. Denne gir informasjon om tidevannets bidrag til strømbildet ved lokaliteten.

Vektormidlet strøm mot øst og nord er vist hhv. i Figur 10 og Figur 11. Vektormidlet strøm er vist for hele måleperioden, samt for en utvalgt representativ periode for å gi mer detaljert bilde av strømmens retning under synkende og stigende tidevann.

Grafene viser at ved lokaliteten er det svært lite sammenheng mellom strømmens komponenter og tidevann. Dette gjelder både strøm i retning øst-vest og strøm i retning nord-sør. Resultatene fra strømmålingene i perioden juni-august 2020 indikerer at tidevannet direkte har en svært begrenset påvirkning til strømretning ved deponilokalitet. Det er i hovedsak andre faktorer som påvirker strømmen, blant annet vind, lufttrykk og tetthetsforskjeller. Tidligere modellberegninger (drevet av tidevann) har heller ikke vist at det skulle være et tydelig tidevannsdrevet strømmønster ved deponilokaliteten (se Kapittel 2).



Figur 10. Strømhastighet mot øst ved 15 m og 25 m vanddyb, sammen med vannstands nivå målt ved stasjonene. Strømhastighet og trykk er glattet med 1 timers midlingstid. Det er vist resultater for hele måleperioden og i tillegg mer detaljert bilde av hastighetene for en utvalgt periode: 26.juni-2.juli 2020.

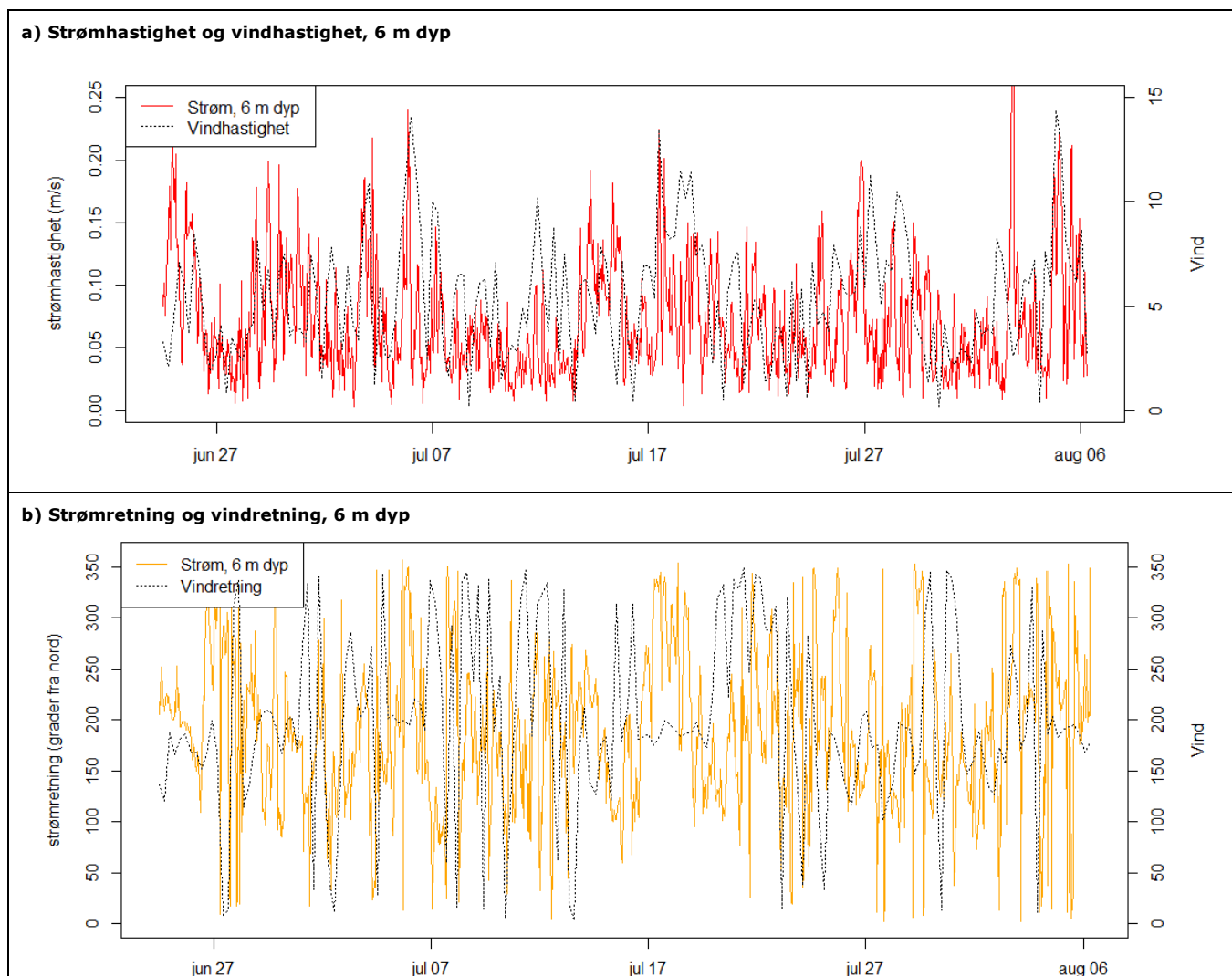


Figur 11. Strømhastighet mot nord ved 15 m vanddyb, sammen med vannstands nivå målt ved samme stasjon. Strømhastigheten og trykk er glattet med 1 timers midlingstid. Det er vist resultater for hele måleperioden og i tillegg mer detaljert bilde av hastighetene for en utvalgt periode: 26.juni-2.juli 2020.

4.5 Strømstyrker i forhold til vind

Særlig strømningene i brakkvannslaget kan være påvirket av vind. Meteorologiske data er hentet fra eKlima database. Vi har hentet data fra stasjon Gullholmen (st. nr. 17280, 59.4352 N, 10.5780 Ø, 14 moh) for samme perioden som strømmålingene ble utført. Måledata fra denne stasjon er vurdert som mest representative for deponistedet ut ifra lokasjon og høyde. Figur 12 viser strømhastighet og retning i overflatelag (6 m dyp) sammenlignet med vindhastighet og -retning registrert ved Gullholmen, ca. 4 km nordvest for deponiområdet.

Noen av de høyeste registrerte strømhastighetene (> 15 cm/s) i overflatelaget sammenfaller med perioder med sterk vind (> 10 m/s). Dette gjelder for eksempel perioder rundt 5-7.juli, 18 juli og 28.juli og 5.august 2020 (Figur 12a). Likevel viser Figur 12b at vindretning og strømretning er mindre samfallende under disse perioder. Det er også registrert høye hastigheter i overflatelag, samtidig med lave vindhastigheter, og motsatt.



Figur 12. a) Strømhastighet (m/s) i 6 m dyp (m) og b) strømretning plottet sammen med a) vindhastighet og b) retning registrert ved stasjon Gullholmen, ca. 4,5 km nordvest for deponiområdet. 1 timers midlingstid for strømmålinger. Vindhastighet registreres hver 8. time.

4.6 Partikkelspredning under deponering

Under deponering av mudringsmasser kan del av mudringsmasser bli suspendert i vannmassene. I tillegg kan in-situ sedimenter virvles opp fra sjøbunnen under deponering. Økt turbiditet og tilslamming kan medføre effekter for vannlevende organismer. Andel masser som spres utenfor tiltaksområdet er avhengig av flere faktorer, men generelt varierer andelen mellom 1 og 5 % av volumet som deponeres (Becker et al. 2015). Andelen som spres er avhengig av massenes karakter (kornfordeling, vanninnhold mfl.), deponeringsmetode (vannndyp mfl.) og forholdene ved deponistedet (strømstyrke mfl.). Andelen som kan spres over lengre avstander øker ved høyere strømhastighet. Det er i hovedsak kun finfraksjonen (partikler < 63 µm, i.e. leire og silt) som kan spres over lengre avstander. Disse fraksjoner spres med strømmen og dermed er strømforholdene ved deponisted avgjørende for hvilke områder kan bli utsatt. Grovere fraksjoner (partikler > 63 µm, dvs. sand, grus) suspendert i vannmassen vil sedimentere nær deponistedet og i mindre grad spres med kyststrømmer.

Sjøbunnen ved deponilokalitet ble undersøkt av Rambøll i juni 2020 (rapport M-Rap-001, Rambøll, 2020). Videotransektene viste en relativt homogen sjøbunn bestående av relativt fine partikler (sand/silt), med noen små stein. Det ble også tatt sedimentprøver for analyse av miljøgifter og bunnfauna. Resultatene viser at sedimenter ved lokalitet består i hovedsak av silt (62-87 %), samt noe sand (11-36%). Andelen leire i bunnsedimentene var lav, mellom 1,9-2,6%. Disse fine sedimentene kan virvles opp når sedimentene forstyrres under deponeringen.

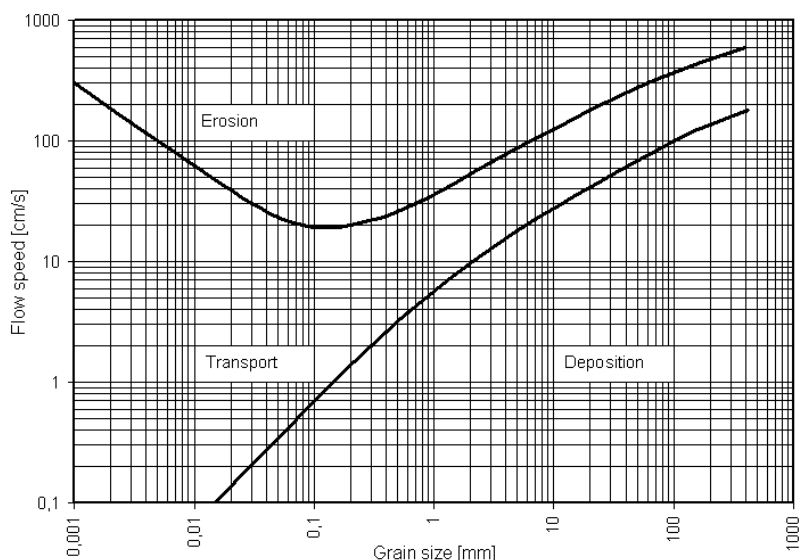
Resultatene i kapitlene 4.2 og 4.3 viser at strømhastighetene i området er forholdsvis lave, og under 0,6-0,11 m/s 95 % av tiden i ulike vannlag, mens middelhastighet er mellom 0,04-0,07 m/s. Dominerende strømreretning ved deponisted er mot sør og sørøst, og i overflatelag også mot sørvest. Det betyr at oppvirvlede partikler fra deponeringen vil hovedsakelig bli transportert mot Lille og Store Revlingen og mot sundet mellom øyene og fastlandet. I øvre del av vannsøylen forekommer det også sterke strømmer mot nord – nordvest, og dette kan medføre spredning også i disse retningene dersom massene deponeres fra overflaten og deponeringen skjer uten spredningshindrende tiltak.

Tabell 3 viser Stokes sedimentasjonshastighet for silt og leirepartikler, samt teoretisk tid som kreves for at partiklene sedimenteres for utslippsdyp på 40 m og 10 m. Sedimentasjonshastighet kan benyttes til å teoretisk vurdere hvor langt finstoff fra deponering kan spres ved ulike strømhastigheter. I Tabell 3 har vi beregnet teoretisk avstand med middelshastighet over vannsøylen (ca. 0,05 m/s). Særlig fin silt og leire (partikler < 20 µm) har svært lav sedimentasjonshastighet og disse fraksjoner kan spre over flere kilometers avstand (se Tabell 3). Konsentrasjonen av partiklene fortynnes under transport og små partikler spres over større områder, men gir generelt lite nedslamming. I praksis vil sedimentasjonshastighet også være avhengig av flere faktorer, for eksempel kohesjon og turbulens. Partikler sedimenterer lettere hvis de blir transportert for eksempel til bukter med roligere strømforhold. Transport er også avhengig av i hvilke vannndyp partiklene virvles opp til vannmassene (Tabell 3).

Tabell 3. Stokes sedimenteringshastighet for silt og leirepartikler i sjøvann. Basert på sedimentasjonshastighet er det teoretisk beregnet sedimentasjonstid og transport ved å ta i utgangspunkt i at masser slippes ut 40 og 10 meter over sjøbunnen ved deponiet.

Partikkelstørrelse	Stokes hastighet	Oppvirvlet i overflatelag (40 m over sjøbunnen)		Oppvirvlet nære sjøbunnen (10 m over sjøbunnen)	
		Tid før partikkel har sedimentert 40 m vertikalt	Horisontal transport under sedimentering (0,05 m/s strøm)	Tid før partikkel har sedimentert 10 m vertikalt	Horisontal transport under sedimentering (0,05 m/s strøm)
mm	m/s	timer	km	timer	km
0,063 (silt)	2,52E-03	4	0,8	1	0,2
0,04 (silt)	1,01E-03	11	2	3	0,5
0,013 (silt)	1,07E-04	104	19	26	5
0,004 (silt)	1,01E-05	1095	197	274	49
0,002 (leire)	2,54E-06	4381	789	1095	197

I bunnlag er strømhastighetene lave og under 0,09 m/s over 95 % av tiden, kun en enkelte målinger viste hastigheter over 0,2 m/s i bunnlag (Figur 9). I dagens situasjon består bunnsbstat av fine sedimenter (Rambøll, 2020) og også dette tyder på gode sedimentasjonsforhold ved deponisted. Dette vil si at det er lite sannsynlig at fine sedimenter blir virvlet opp fra bunnen etter deponeringen. Hjulstrøms diagram (Figur 13) kan benyttes for å vurdere hvor høye hastigheter det trengs for å virvle opp ulike sedimentfraksjoner fra sjøbunnen. Kurven viser at sandfraksjoner med diameter på ca. 0,1-0,2 mm virvles opp lettest med strømmen. For disse fraksjoner vil strømhastighet på ca. 0,2 m/s være tilstrekkelig å virvle opp sedimenter. Resultater fra strømmålinger viser at det er lite risiko for spredning av masser fra deponiet etter deponeringen.



Figur 13. Hjulstrøms diagram som viser strømhastighet (cm/s, y-aksen) som kan virvle opp (erosion) og sedimentere (deposition) ulike sedimentfraksjoner (mm, x-aksen).

Partikkelspredning under anleggsarbeidene vil kunne vurderes mer detaljert når deponeringsmetode, volum og massenes karakter er kjent.

5. KONKLUSJON

I forbindelse med planlagt forbedring av farleden til Moss Havn, har det blitt utført strømmålinger ved deponilokalitet i perioden 24.juni.2020 til 6.august.2020 (varighet på ca. 44 døgn). Strømmålingene er utført som en del av en tilleggsundersøkelse for å kartlegge konsekvenser og behov for eventuelle tiltak i forhold til spredning av masser under og etter deponering. Strømretning og hastighet ble målt gjennom hele vannsøylen.

Strømretningen var relativt ensartet i vannsøylen og dominerende strømretning i alle dybder var mot sør og sørøst. I overflatelag forekom det også en del sterk strøm mot sørøst. Vurdering av vektormidlet strøm viste at tidevannsstrømmen spiller en liten rolle i det totale strømbildet for lokaliteten. Det er heller ikke funnet noe tydelig sammenheng mellom vind og strøm ved deponilokalitet. Mulige andre prosesser som påvirker strømmen er vær-situasjon over et større område (f.eks. lufttrykk), samt ferskvannsavrenning som bidrar til lagdeling særlig i sommerhalvåret. Strømstyrken er høyest i overflatelag, men generelt er strømhastighetene forholdsvis lave ved lokaliteten. Også undersøkelser av bunnsedimentene ved deponilokalitet indikerer at sedimentasjonsforholdene er gode. Målt middelstyrke ved vanddyp på 6, 15, 25 og 40 m var hhv. 0,072, 0,054, 0,045 og 0,044 m/s. Strømretning og -hastighet er avgjørende for spredning av finstoff i vannmasser under deponering. Det er enda ikke kjent hvordan massene deponeres, og det er dermed kun gjort overordnet vurdering om potensiell spredning av massene.

6. REFERANSER

Becker, J. et al. 2015. Estimating source terms for far field dredge plume modelling. Journal of Environmental Management Volume 149, 1 February 2015, Pages 282-293

eKilma, 2020 (eklima.no): Meteorologisk data fra Meteorologisk Institutt.

FjordOs, 2013. Strømforhold i Moss havn. Forfattere: Staalstrøm, A. (NIVA) og Hjelmervik, K. (HIVE).

Nortek, 2018: Comprehensive Manual for ADCP. 137 sider.

Nortek. 2017. System Integrator manual. 81 sider.

Multiconsult 2017. Innseiling Moss, Moss kommune 06.12.2016-24.01.2017. Strømanalyse. Rapport nr. 713150-RIMT-Rap-001. 52 sider.

Multiconsult 2016b. Kystverket, innseiling Moss. Miljøgeologiske sedimentundersøkelser. Rapport nr. 713150-RIGm-Rap-001. 13 sider.

Konsekvensvurdering for marint naturmangfold og naturressurser Rådgivende biologer Utkast datert 13.12.2017.

NIVA. 2014. Simulert tidevann i Oslofjorden. Tre forskjellige utforminger av havneområdet i Moss. NIVA-rapport 6717-2014.

Rambøll. 2018. Sandbukta – Moss – Såstad, Bane NOR Notat nr. 003-2018. Temanotat utslippsberegninger.

Kelley, D. 2020. Package «oce» February 21, 2020. <https://CRAN.R-project.org/package=oce>

Rådgivende Biologer, 2017. Innseiling Moss. Konsekvensvurdering for marint naturmangfold og naturressurser

VEDLEGG 1 OVERSIKT OVER MÅLEDATA OG KVALITETSSIKRING

Oversikt over datasett etter målinger i lufta ble fjernet:

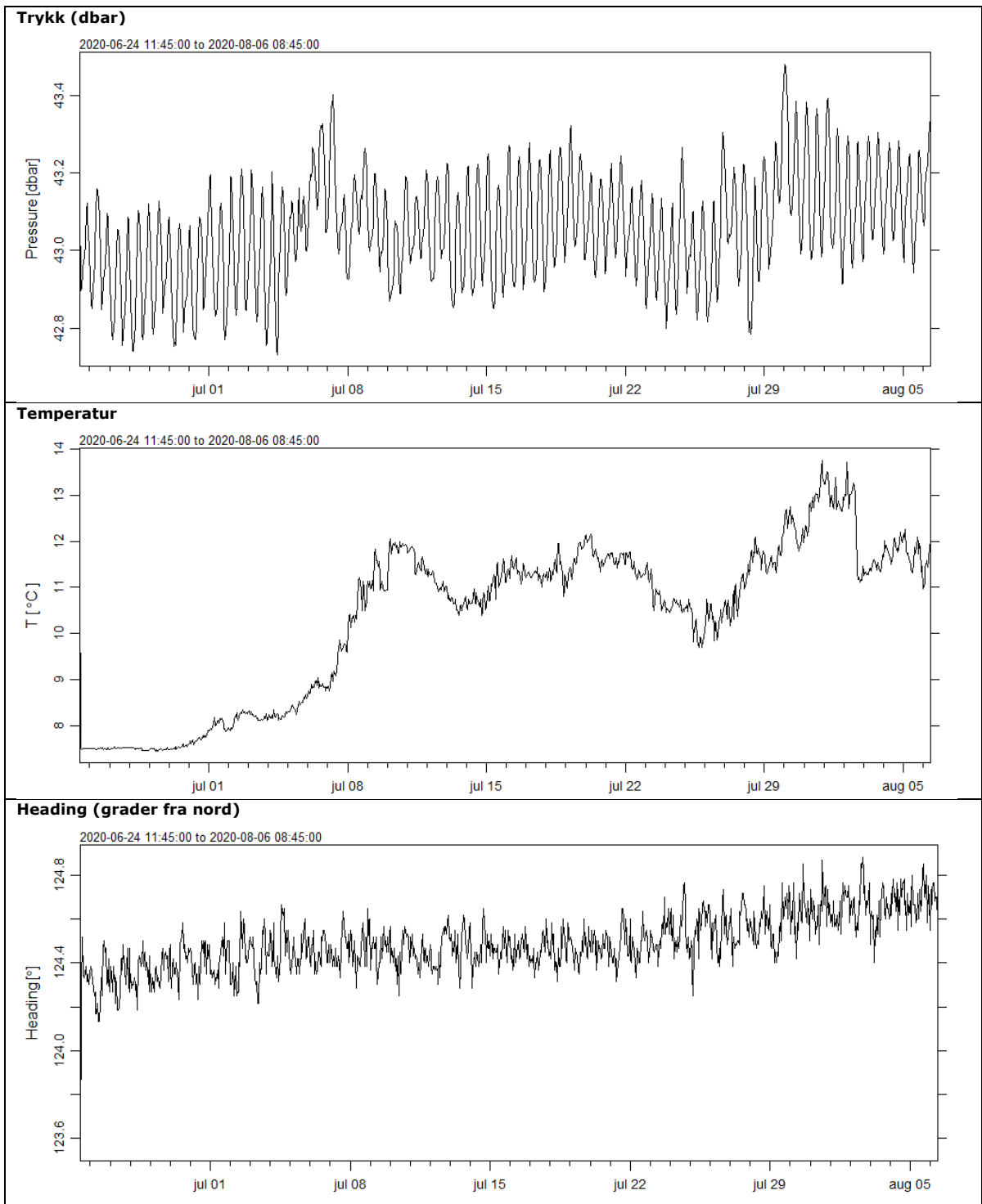
* Serial number: AQD158624.24
 * Firmware version: 3.43
 * Number of profiles: 6178
 * Number of cells: 23
 * Number of beams: 3
 * Cell size: 1.999389 m
 * Summary of times between profiles:
 Min. 1st Qu. Median Mean 3rd Qu. Max.
 600 600 600 600 600 600
 * Frequency: 400 kHz
 * Cells: 23, centered at 2.989 m to 46.975 m, spaced by 1.999 m
 * Coordinate system: enu [originally], enu [presently]
 * Beams::
 Number: 3
 Slantwise Angle: 25
 Orientation: downward
 Unspreaded: FALSE

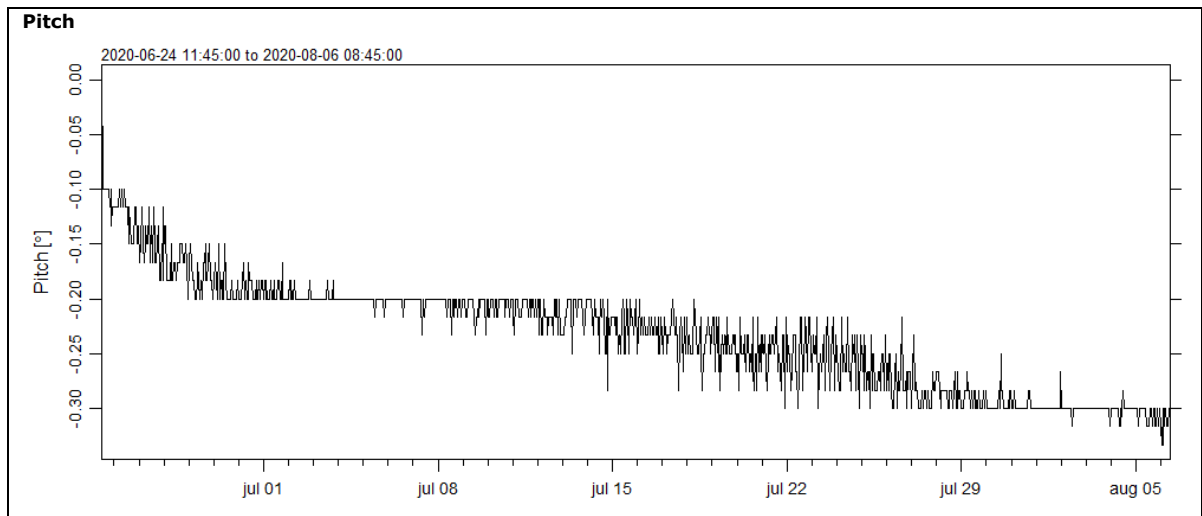
* Transformation matrix:
 1.5774 -0.7891 -0.7891
 0.000 -1.366 1.366
 0.3677 0.3677 0.3677

* Time ranges from 2020-06-24 11:20:00 to 2020-08-06 08:50:00 with 6178 samples and mean increment 10 min

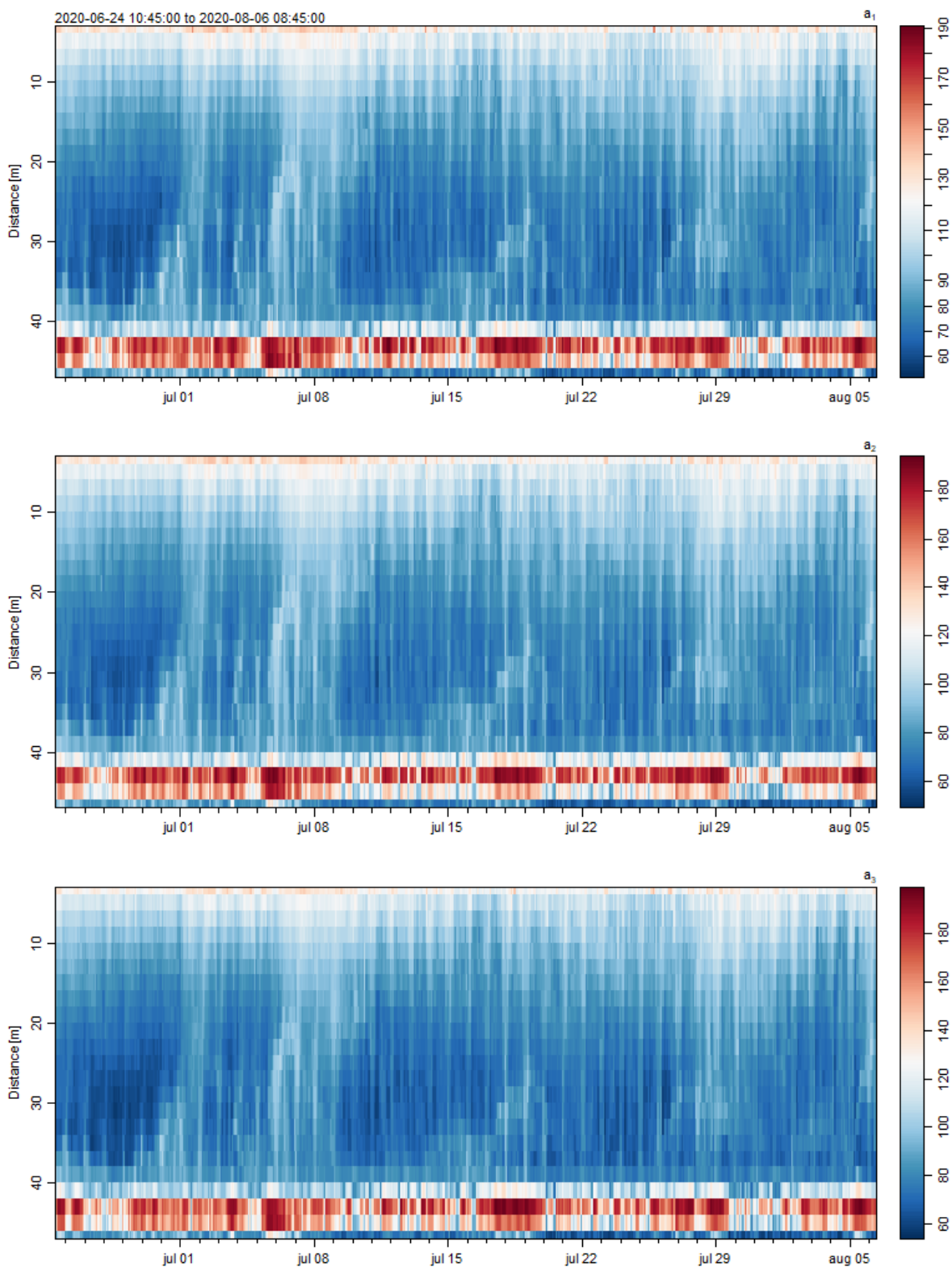
* Data Overview

	Min.	Mean	Max.	Dim.	NAs	OriginalName
v[m/s]	-1.08	0.0026479	1.155	6178x23x3	0	-
a	44	93.382	205	6178x23x3	0	-
q	0	100.94	255	6178x23x3	0	-
distance [m]	2.9886	24.982	46.975	23	0	-
pressure [dbar]	42.72	43.054	43.485	6178	0	-
error	0	0	0	6178	0	-
temperature [°C]	7.45	10.342	16.47	6178	0	-
heading [°]	122.8	124.49	125.2	6178	0	-
pitch [°]	-0.4	-0.23211	0.1	6178	0	-
roll [°]	-1	-0.83979	-0.5	6178	0	-



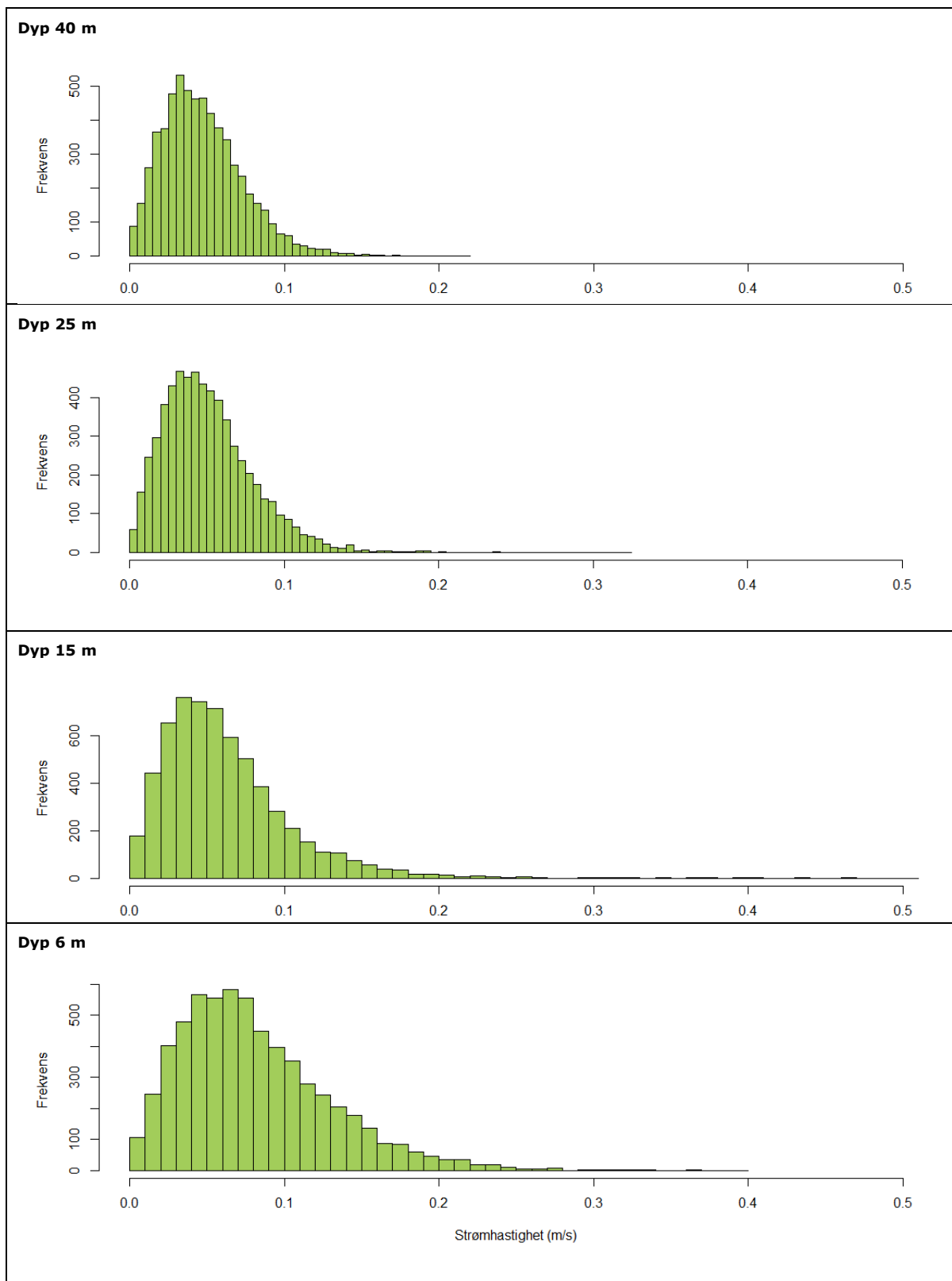


Figur 14. Tidsserier for trykkmåling (dbar), temperatur (°C), heading (°) og pitch (°) for hele måleperioden.

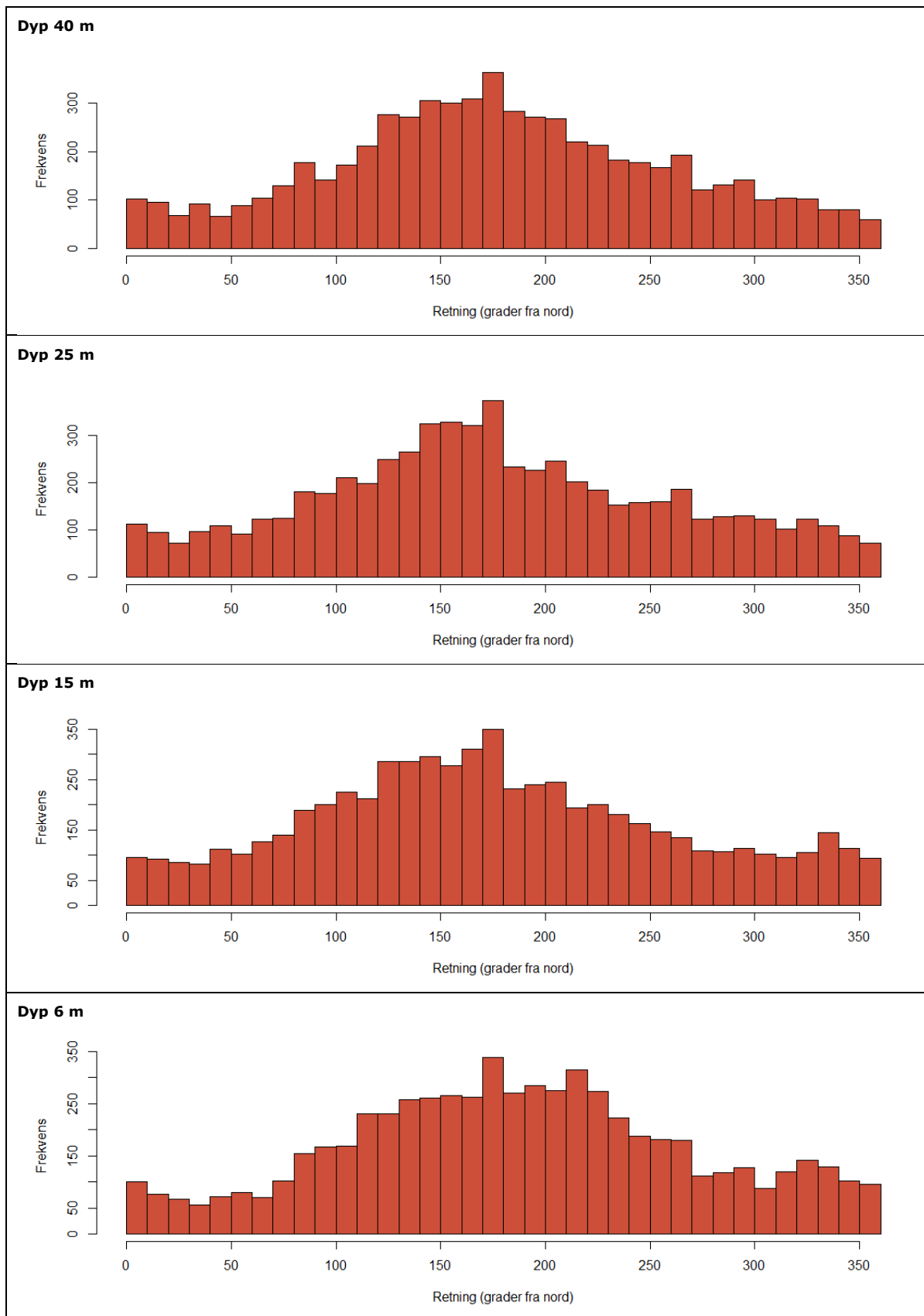


Figur 15. Signalstyrke («amplitude», enhet: counts) for beamene 1 til 3 (hvh. a_1 til a_3) for hele måleperioden 2020-06-24 til 2020-08-06. Cellestørrelse er 2 m. Y-aksen viser avstanden (m) fra instrumentet.

VEDLEGG 2 HISTOGRAMMER FOR HASTIGHET OG RETNING



Figur 16. Histogram av horisontal strømhastighet (m/s) for utvalgte vanddyb, hele måleperioden.

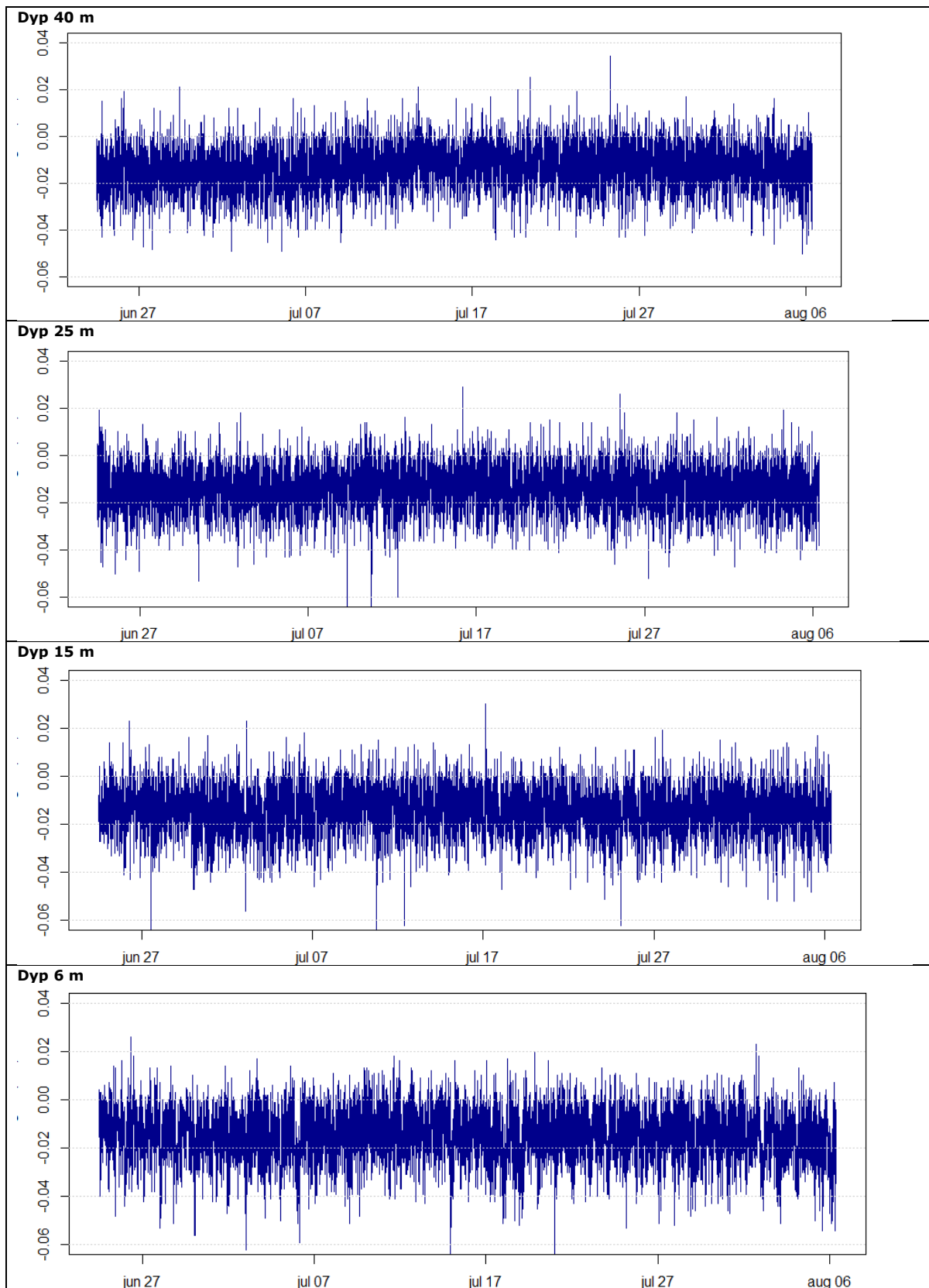


Figur 17. Histogram av horisontal retning for utvalgte vanddyb, hele måleperioden.

VEDLEGG 3 VERTIKALE HASTIGHETER

Figur 18 viser et tidsserier for vertikal strømhastighet for hele måleperioden. Negative verdier betyr transport nedover og positive verdier betyr transport oppover i vannsøylen.

Tabell 4 oppsummerer resultater for vertikale hastighet for utvalgte vanddyp. Variasjon i vertikale hastigheter er svært små, og i hovedsak under 0,02 m/s, og i hovedsak nedover i vannsøylen. Nøyaktighet av vertikale hastigheter er $\pm 0,01$ m/s (Nortek, 2018)



Figur 18. Vertikale strømhastighet (m/s) for utvalgte vanddyb og for hele måleperioden. 10 minutters måleintervall.

Tabell 4. Oppsummering av vertikale strømhastigheter til alle retninger (m/s) for utvalgte vanddyb (m). 10 minutters måleintervall.

Dyp	5 %	25%	Gjennomsnitt	Middel 50%	75 %	95 %
6 m	-0,030	-0,020	-0,013	-0,013	-0,007	+0,020
15 m	-0,030	-0,021	-0,014	-0,014	-0,007	+0,020
25 m	-0,032	-0,021	-0,015	-0,014	-0,007	+0,020
40 m	-0,034	-0,022	-0,015	-0,014	-0,007	+0,030