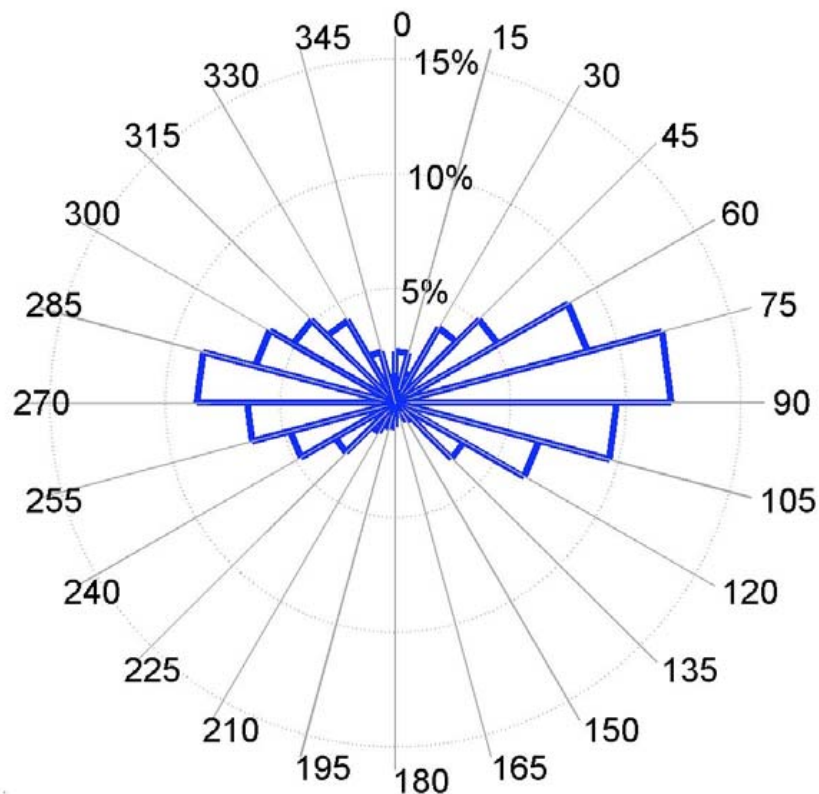


Strøm, turbiditet og hydrografi i fjordbassenget utenfor Engebø, Førdefjorden

Målinger utført for konsekvensutredning for deponi av gruveavgang

Retningsfordeling av vanntransport ved Vevring, Førdefjorden, mai 2008, 335 m dyp



Hovedkontor

Gaustadalléen 21
0349 Oslo
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 22 18 52 00
Internett: www.niva.no

Sørlandsavdelingen

Televeien 3
4879 Grimstad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 37 04 45 13

Østlandsavdelingen

Sandvikaveien 41
2312 Ottestad
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 62 57 66 53

Vestlandsavdelingen

Postboks 2026
5817 Bergen
Telefon (47) 2218 51 00
Telefax (47) 55 23 24 95

NIVA Midt-Norge

Postboks 1266
7462 Trondheim
Telefon (47) 22 18 51 00
Telefax (47) 73 54 63 87

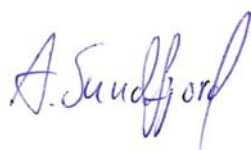
Tittel Strøm, turbiditet og hydrografi i fjordbassenget utenfor Engebø, Førdefjorden. Målinger utført for konsekvensutredning for deponi av gruveavgang.	Løpenr. (for bestilling) 5662-2008	Dato 01.09.2008
	Prosjektnr. Undernr. O-27199 WP	Sider Pris 30
Forfatter(e) Arild Sundfjord Birger Bjerkeng	Fagområde Oseanografi	Distribusjon
	Geografisk område Sogn og Fjordane	Trykket NIVA

Oppdragsgiver(e) Nordic Mining AS	Oppdragsreferanse
--------------------------------------	-------------------

Sammendrag

I 2007 og 2008 ble det gjort strøm- og turbiditetsmålinger i tre månedsperioder i dypbassenget ved Vevring i Førdefjorden. Disse målingene ble gjort i to dyp: like over bunn (335 m) og i terskeldyp (305 m). Det ble også gjort profilerende målinger av saltholdighet, temperatur, oksygeninnhold og turbiditet på flere tidspunkt. Målingene viser at tidevannsdrevet strøm dominerer strømbildet på kortere tidsskala. Middels strømhastigheter var av størrelse ca 2,0-3,5 cm/s. På lengre skala varierer også nettostrømretningene i dypvannet. I første måleperiode gikk nettostrømmen innover fjorden nær bunn og utover i terskeldyp. I vintermålingene gikk strømmen ut i begge dyp, og strømhastighetene var noe høyere i begge dyp. I siste måleserie gikk strømmen hovedsakelig inn fjorden i begge dyp. Det så ut til å ha vært en større vannutskifting i løpet av våren, med tilhørende vertikale forflytninger av vannmasser. Det meste av vannvolumet under ca 100 m dyp er enten skiftet ut eller forflyttet oppover i vannsøylen. Det var likevel lite variasjon i temperatur og saltholdighet i dypvannet. Det var bra oksygenforhold (60-90 % metning) i dypbassenget ved alle måletidspunkt.

<p>Fire norske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Strømmålinger 2. Turbiditet 3. Hydrografi 4. Førdefjorden 	<p>Fire engelske emneord</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Current measurements 2. Turbidity 3. Hydrography 4. Førdefjorden
--	---



Arild Sundfjord
Prosjektleder



Dominique Durand
Forskningsleder



Jarle Nygard
Fag- og markedsdirektør

Strøm, turbiditet og hydrografi i fjordbassenget utenfor Engebø, Førdefjorden

Målinger utført for konsekvensutredning for deponi av gruveavgang

Forord

Som del av konsekvensutredningen for det planlagte gruveanlegget ved Engebø i Naustdal Kommune ble det i 2007 og 2008 gjort målinger av strømforhold, turbiditet, hydrografi og oksygen i dypbassenget ved Vevring i Førdefjorden. Det ble gjort strøm- og turbiditetsmålinger i tre månedsperioder samt målinger med profilerende instrumenter.

Måleprogrammet ble utført for Nordic Mining AS, som ett av flere delprosjekter gjort av NIVA i forbindelse med konsekvensutredningen.

Feltarbeidet ble gjennomført av Arild Sundfjord og Lars G. Golmen, med teknisk støtte fra Pierre Jaccard. Halvar Espeseth og hans mannskap på M/S Solkongen har gjort feltarbeidet både hyggelig og praktisk.

Tromsø, 01.09.2008

Arild Sundfjord

Innhold

Sammendrag	5
Summary	6
1. Introduksjon	7
2. Materiale og metode	8
2.1 Oversikt over måleprogrammet	8
2.2 Instrumentering	9
2.3 Dataprosessering	10
3. Resultater	11
3.1 Strømforhold	11
3.2 Turbiditet	12
3.3 Hydrografi: saltholdighet og temperatur	16
3.4 Oksygen	20
4. Diskusjon	21
Vedlegg A. Plott av strømmålinger	22

Sammendrag

Som del av konsekvensutredningen for det planlagte gruveanlegget ved Engebø i Naustdal Kommune ble det i 2007 og 2008 gjort målinger av strømforhold, turbiditet, hydrografi og oksygen i dypbassenget der deponering av gruveavgang er planlagt. Det ble gjort strøm- og turbiditetsmålinger i tre perioder, for å dekke sesongmessige variasjoner i fjorden. I tillegg er det gjort målinger av saltholdighet, temperatur, oksygeninnhold og, noen ganger, turbiditet, fra overflate og til nær bunn, med profilerende instrument.

Strømmålingene ble gjort i to dyp: like over bunn (335 m) og i terskeldyp (305 m). Målingene viser at strøm som veksler med det halvdaglige tidevannet dominerer strømbildet på kortere tidsskala. I første måleperiode (september 2007) var middelstrømmen i begge måledyp på knapt 2 cm/s. Maksimale strømhastigheter var på under 8 cm/s. I denne perioden viste de dypeste målingene en svak netto vanntransport innover fjorden (0,17 cm/s) og en noe sterkere nettostrøm ut fjorden ved terskeldyp (0,48 cm/s). I vintermålingene gikk strømmen utover i begge dyp, og strømhastighetene var noe høyere (middelverdi knapt 3,5 cm/s, maksimum strømhastighet knapt 13,0 cm/s). Nå var nettostrømmen sterkst nær bunn (0,78 cm/s) og svak ved terskeldyp (0,12 cm/s). I siste måleserie (mai 2008) gikk strømmen hovedsakelig inn fjorden i begge dyp. Middels strømhastighet henholdsvis nær bunn og i terskeldyp var på 1,6 og 2,9 cm/s, med tilhørende maksimalverdier på ca 5 og 10 cm/s. I terskeldyp gikk det aller meste av vanntransporten nå inn fjorden (nettostrøm 2,35 cm/s). Nettostrømmen i 335 m dyp var svakere (0,26 cm/s) men også her rettet inn fjorden.

Hydrografimålingene viste generelt lite variasjon i saltinnhold og temperatur i dypvannet. Det var også svært homogene forhold i det meste av vannsøylen fra bunn og opp til ca 150 m dyp. En større vannutskiftning ser ut til å ha funnet sted i løpet av våren, med tilhørende vertikale forflytninger av vannmasser. Det meste av vannvolumet under ca 100 m dyp ble da enten skiftet ut eller forflyttet oppover i vannsøylen. Siden fjorden ikke har en grunn terskel kan slike dypvannutskiftninger foregå mer eller mindre kontinuerlig, men kan også ha mer episodisk karakter som respons på tetthetsendringer i kystvannet utenfor. Det var bra oksygenforhold (60-90 % metning) i dypbassenget ved alle måletidspunkt. Dette indikerer også at jevnlig vannutskiftning finner sted.

Turbiditetsmålingene viser stort sett moderate verdier (0,3-0,5 NTU) i begge dypene med måleinstrumenter (305 og 335 m). Målingene gjort med profilerende sonder viser generelt noe høyere verdier nær bunn enn i dypvannet ellers. Siden de målte strømhastighetene er lave er det lite sannsynlig at dette skyldes resuspensjon av sedimentert materiale. Den siste profilen viser høyere partikkelinnhold opp til ca 100 m dyp. Siden dette sammenfaller med dybdeintervallet der en generell vannutskiftning ser ut til å ha funnet sted, kan de økte turbiditetsverdiene godt skyldes innstrømmende vann med høyere partikkelinnhold.

Summary

Title: Currents, turbidity and hydrography in the fjord basin outside Engebø, Førdefjorden.

Measurements made for impact study of mine tailings deposition.

Year: 2008

Author: Arild Sundfjord

Source: Norwegian Institute for Water Research, ISBN No.: ISBN 82-577-5397-9

In 2007 and 2008, three month-long measurement series of currents and turbidity were made in the deep basin near Vevring in Førdefjorden. Profiling measurements of salinity, temperature, oxygen and turbidity were also carried out in connection with deployment and retrieval of the instrument moorings. The measurements show periodic changes in the current regime in the deep water. Although a large water renewal episode with associated vertical exchanges appears to have taken place, deep water salinity and temperature varied only modestly. Oxygen conditions were satisfactory in the whole water column.

1. Introduksjon

Som del av konsekvensutredningen for det planlagte gruveanlegget ved Engebø i Naustdal Kommune er det i 2007 og 2008 gjort målinger av strømforhold og turbiditet i dypbassenget der deponering av gruveavgang er planlagt.

Det er gjort strøm- og turbiditetsmålinger i tre perioder, for å dekke sesongmessige variasjoner i ferskvannstilførsel, lagdeling og vannutskiftning i fjorden. Hver måleperiode har en måneds varighet, og dekker dermed variasjoner som skyldes tidevannsfasene (spring og nipp flo).

I tillegg er det gjort målinger av saltholdighet, temperatur og oksygeninnhold. Dette er viktige parametre for å karakterisere variabilitet og vannutskiftning i den dype delen av fjorden. Disse målingene er gjort parallelt med utsetting og opphenting av strømmålerne, det vil si til sammen seks ganger.

Datamaterialet fra målingene kan brukes som dokumentasjon på naturtilstanden i området slik den er før prosjektet settes i gang, og er også nyttig for valg og utforming av deponeringsløsning.

2. Materiale og metode

2.1 Oversikt over måleprogrammet

Det ble gjort målinger i tre perioder: sensommer 2007, senvinter 2008 og vår 2008. Hver måleperiode for strøm og turbiditet varte i drøyt fire uker, altså nok til å dekke hele spring-nipp tidevannsperioder. Mer detaljert informasjon om måleperiodene og målesensorer er vist i Tabell 1. I første måleperiode fungerte strømsensoren på det nederste instrumentet bare i knapt halve perioden. Også i siste måleperiode sviktet det dypeste instrumentet, denne gang etter 6 døgn.

Samtidig med utsetting og opphenting av strømriggeren ble det gjort målinger av oksygen, temperatur, saltholdighet og, på enkelte tokt, turbiditet i vannsøylen. Ved første gangs utsetting ble det tatt vannprøver for oksygenanalyse på dyp ca 325 m. På de fem neste feltrundene ble det gjort målinger med profilerende instrumenter (Tabell 2).

De profilerende målingene ble gjort på omtrent samme sted som der strømriggeren var plassert, se Figur 1.

Tabell 1. Oversikt over måleperioder og instrumenter i rigg. ✓ = instrument OK, ✗ = instrumentsvikt.

Måledyp [m]		Instrument ID	Turbiditet	Strøm	Saltholdighet	Temp.	Kommentar
335 m		RCM9 # 225	✓	✗/✓	✓	✓	Strømsensoren fungerte bare andre halvdel av perioden
305 m		RCM9 # 1346	✓	✓	✓	✓	
335 m		RCM9 # 225	✗	✓	✓	✓	Feil på turbiditetssensor
305 m		RCM9 # 1346	✓	✓	✗	✗	Feil på saltholdighet og temperatur
335 m		RCM9 # 225	✗	✓/✗	✗	✓/✗	Feil på turbiditet og saltholdighet, og total instrumentsvikt etter 6 døgn
305 m		RCM9 # 1346	✓	✓	✗	✗	Feil på saltholdighet og temperatur

Tabell 2. Oversikt over måletidspunkt og profilerende instrumenter. ✗ = sensor ikke på instrumentet.

Dato	Instrument	Saltholdighet	Temperatur	Trykk	Turbiditet	Oksygen
04.10.2007	SAIV # 511	✓	✓	✓	✓	✓
02.03.2008	SAIV # 511	✓	✓	✓	✓	✓
01.04.2008	SBE # 1811	✓	✓	✓	✗	✓
30.04.2008	SAIV # 205	✓	✓	✓	✗	✓
30.05.2008	SBE # 1811* + SAIV # 158**	✓*	✓*	✓*	✓**	✓*

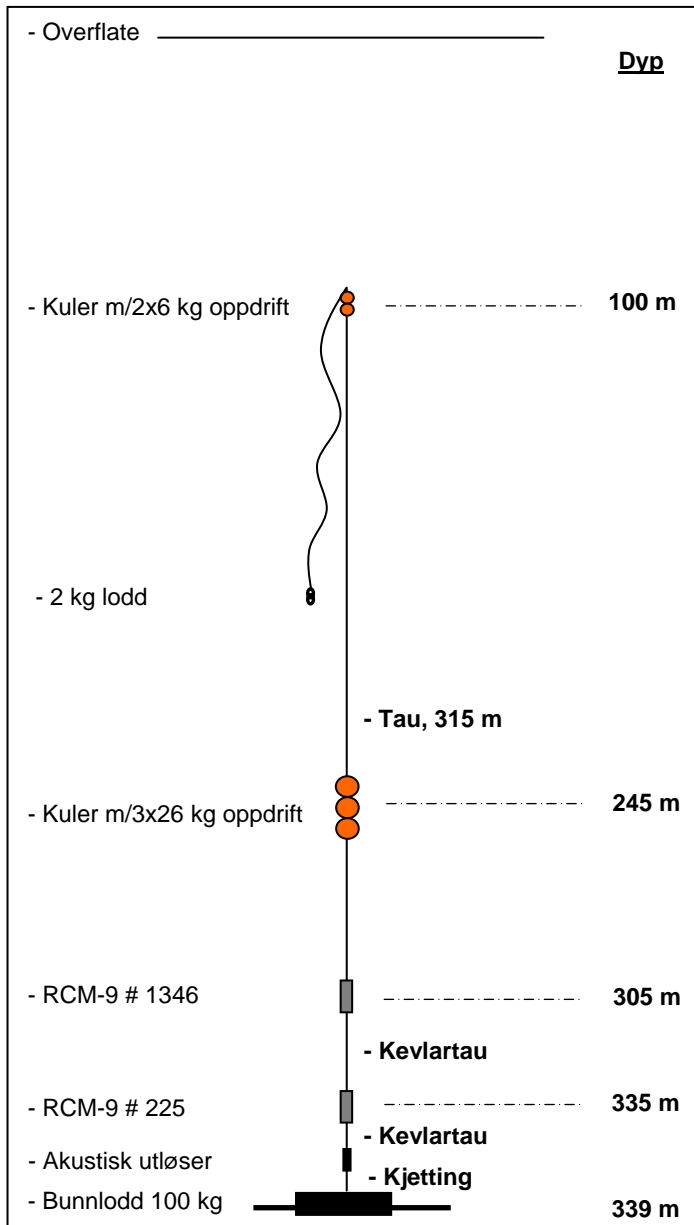


Figur 1. Kart over måleområdet. Omtrentlig posisjon for instrumentrigg og måleprofiler er markert med rødt.

2.2 Instrumentering

Strøm- og turbiditetsmålerne som ble brukt var av type AADI RCM9, som er akustiske dopplerinstrumenter som måler strøm i horisontalplanet. Turbiditet måles med en sensor som registrerer spredning av infrarødt lys fra en lysdiode. Målerne var programmert med måleintervall på 10 minutter. Figur 2 gir en skjematisk framstilling av riggen med målerne. Riggen ble senket ned med tau fra overflaten. Topptauet ble så senket ned med et lodd slik at toppen av riggen sto ca 100 m under overflaten. Ved opphenting ble den så løst fra bunnloddet med en akustisk utløser.

Måleprofilene av saltholdighet, temperatur, oksygen og turbiditet ble tatt med to ulike typer sonder: SAIV SD204 og Seabird SBE19. Vannprøvene som ble tatt for oksygenanalyse på første tokt ble tatt med en Niskin vannhenter.



Figur 2. Skjematisk framstilling av rigg med strømmålere.

2.3 Dataprosessering

Alle data er prosessert med programvare levert fra produsentene, etter standardiserte anbefalte prosedyrer. Perioder med sensorfeil er fjernet manuelt fra dataseriene. Vi har videre korrigert saltholdighetsverdiene fra SAIV # 511 med +0,20 enheter, basert på sammenligning med data fra Seabird SBE19 # 1811 og AADI RCM9 # 225.

Merk at oksygenverdiene fra de profilerende instrumentene er noe usikre, da disse sensorene på grunn av måleprinsippet har relativt høy drift i felt. Målingene må derfor ses på som indikative på relative forskjeller i oksygeninnhold i ulike dyp, og ikke som korrekte absoluttverdier.

Oksygenprøvene fra første feltrunde ble analysert på NIVA med Winkler-titrering, som er en mer nøyaktig metode.

3. Resultater

3.1 Strømforhold

Statistiske verdier fra de to strømmålerne er vist i Tabell 3. I tillegg til minimum, middel og maksimum strøm er det oppgitt verdier for 5-prosentilen (den høyeste av de laveste 5 % av målingene) og 95-prosentilen (den laveste av de høyeste 5 %). Disse verdiene kvantifiserer hvor stor del av tiden strømmen er over en gitt verdi, uavhengig av hvilken retning strømmen har. Strømstyrken, sammen med partikkelbeskaffenhet, bestemmer hvor stor del av et utslipp som holdes suspendert i grensesjiktet over bunn, og om det er sannsynlighet for resuspensjon etter at materialet har sedimentert. Residualstrømmen er summen av vektorkomponentene fra alle målingene, og kan ses på som en gjennomsnittlig nettostrøm for perioden. Residualretningen er retningen for denne nettostrømmen. Residualstrømmen forteller hvor stor netto transport (av vann med et gitt partikkelinnhold) det er, og i hvilken retning. Figurer som viser strømhastighet, strømrretning og relativ volumtransport i ulike retninger (fluksroser) er samlet i Vedlegg 1.

Det er flere likheter mellom de to måledypene, med moderate men signifikante strømhastigheter i alle periodene. Tidevannsgenerert strøm er tydelig i alle måleseriene, med strøm som veksler mellom inn og ut fjorden. I første periode var residualstrømmen noe sterkere i 305 m dyp enn nær bunn, og rettet ut fjorden. I 335 m dyp var det en liten nettostrøm inn fjorden (mot sør-øst). Sammenligning av data bare fra perioden da strømsensoren på instrumentet i 335 m dyp fungerte viser også stort samsvar mellom de to dypene. Strømmen var faktisk noe svakere i 305 m dyp i denne perioden (middel 1,77 cm/s), og residualstrømmen (0,20 cm/s) var svært lik den i 335 m, men fortsatt rettet ut fjorden. I målingene fra mars 2008 var det betydelig sterkere strøm i begge måledyp. Spesielt i 335 m dyp var residualstrømmen sterkere. Residualstrømmen var rettet ut fjorden i begge dyp. I begge dyp er strømhastighetene sterkere ved full- og nymåne (springflo), rundt 07. og 21.03. I siste måleperiode var strømmen igjen noe svakere. Nå var residualstrømmen rettet inn fjorden i begge dyp. Fra 13-15.05 var det i 305 m dyp en sammenhengende periode med relativt sterk strøm (~5 cm/s) som gikk kontinuerlig inn fjorden. Etter dette ble strømmønsteret i dette dypet vesentlig forandret, med mye tydeligere veksling mellom sterk tidevannsstrøm inn fjorden og svak strøm ut fjorden. Resulterende residualstrøm for denne måleperioden er dermed sterk, og rettet inn i fjorden.

Tabell 3. Statistiske verdier fra strømmålingene. Alle verdier er gitt i cm/s, unntatt residualretningen som er i grader (med klokken fra nord, dvs. 0 grader = rett mot nord, 90 = øst, 180 = sør, 270 = vest).

Periode 1: 04.09-04.10.2007								
Måledyp [m]	Instrument ID	Minimum strøm	5 %-strøm	Middelstrøm	95 %-strøm	Maks. strøm	Residualstrøm	Residualretning
335 m	RCM9 # 225*	0,0	0,59	1,87	3,81	7,63	0,17	159,2
305 m	RCM9 # 1346	0,0	0,29	1,92	4,11	7,33	0,48	267,7
Periode 2: 02.03-01.04.2008								
Måledyp [m]	Instrument ID	Minimum strøm	5 %-strøm	Middelstrøm	95 %-strøm	Maks. strøm	Residualstrøm	Residualretning
335 m	RCM9 # 225	0,0	0,59	3,49	7,92	12,61	0,78	252,8
305 m	RCM9 # 1346	0,0	0,59	3,35	7,63	12,91	0,12	258,6
Periode 3: 30.04-30.05.2008								
Måledyp [m]	Instrument ID	Minimum strøm	5 %-strøm	Middelstrøm	95 %-strøm	Maks. strøm	Residualstrøm	Residualretning
335 m	RCM9 # 225*	0,0	0,29	1,64	3,52	4,99	0,26	36,3
305 m	RCM9 # 1346	0,0	0,59	2,89	7,04	10,56	2,35	92,6

* Data bare fra den delen av måleperioden der strømsensoren fungerte på dette instrumentet.

3.2 Turbiditet

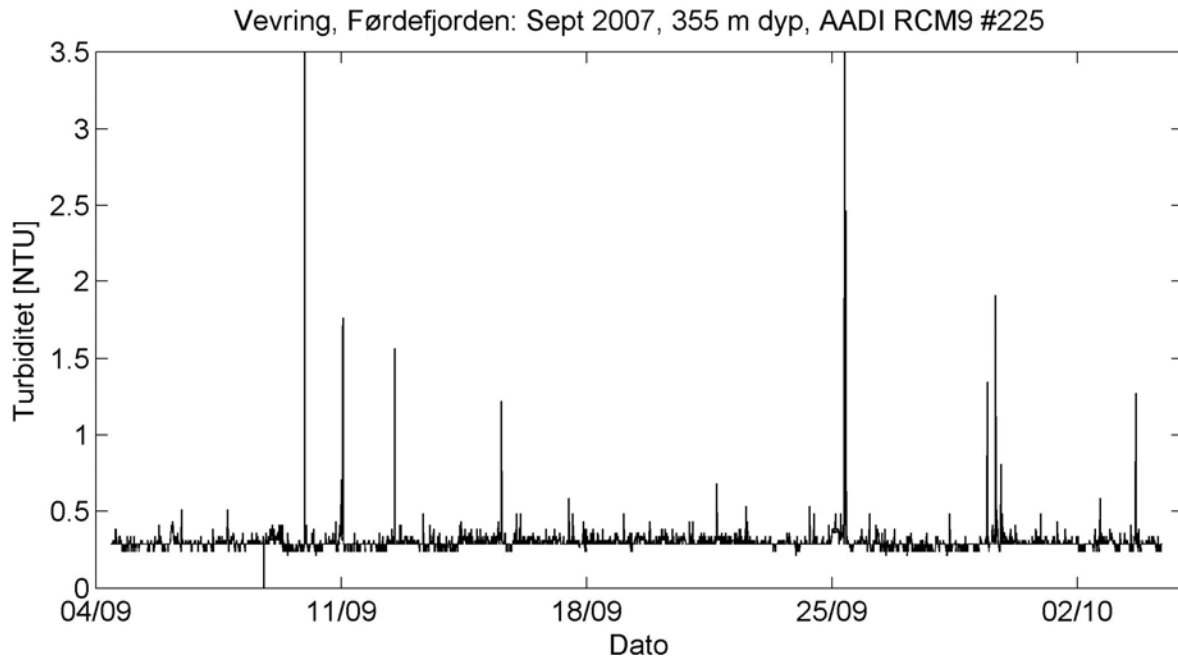
Enkle statistiske verdier fra turbiditetsmålingene er vist i Tabell 4. I første måleperiode er det sammenlignbare verdier i de to måledypene. Det aller meste av tiden er det verdier mellom null og 0,5, og bare sporadisk er det enkeltmålinger på over 1,0 (**Figur 3** og **Figur 4**). Forskjellen i middelverdi mellom de to instrumentene kan skyldes ulik kalibrering. Det er lignende resultater for målingene i 305 m dyp i de to senere måleperiodene (**Figur 5** og **Figur 6**), med noe lavere middelverdi i mars 2008.

Data fra de tre tidspunktene der turbiditet ble målt med profilerende sonde (04.10.2007, 02.03.2008 og 30.05.2008) er vist i **Figur 7**. I grove trekk er profilene lignende, med noe høyere verdier i sjikt på noen titalls meter i overflatelaget og nær bunn, og lavere partikkelinnhold i resten av vannsøylen. I den siste profilen er det betydelig høyere verdier fra ca 100 m og til bunns enn i de to foregående profilene. Dette kan skyldes at det ble brukt et annet instrument ved dette tidspunktet. Men siden resultatene er sammenfallende lenger oppe i vannsøylen kan det også skyldes reelle forskjeller i partikkelinnhold i dette dybdeintervallet. Hydrografimålingene indikerer også at det kan ha vært en utskiftning av vannmasser i dyp større enn 100 m i den foregående perioden (se Kapittel 3.3), slik at den målte økningen i turbiditet kan være reell. Strømhastighetene, både middel- og maksimalverdier, var høyest i den andre måleperioden. Det ble da ikke registrert forhøyede turbiditetsverdier over 300 m dyp. Det er derfor grunn til å tro at de høyere verdiene i profilen fra 30.05.2008 heller skyldes at det innstrømmende vannet i utgangspunktet hadde større partikkelinnhold.

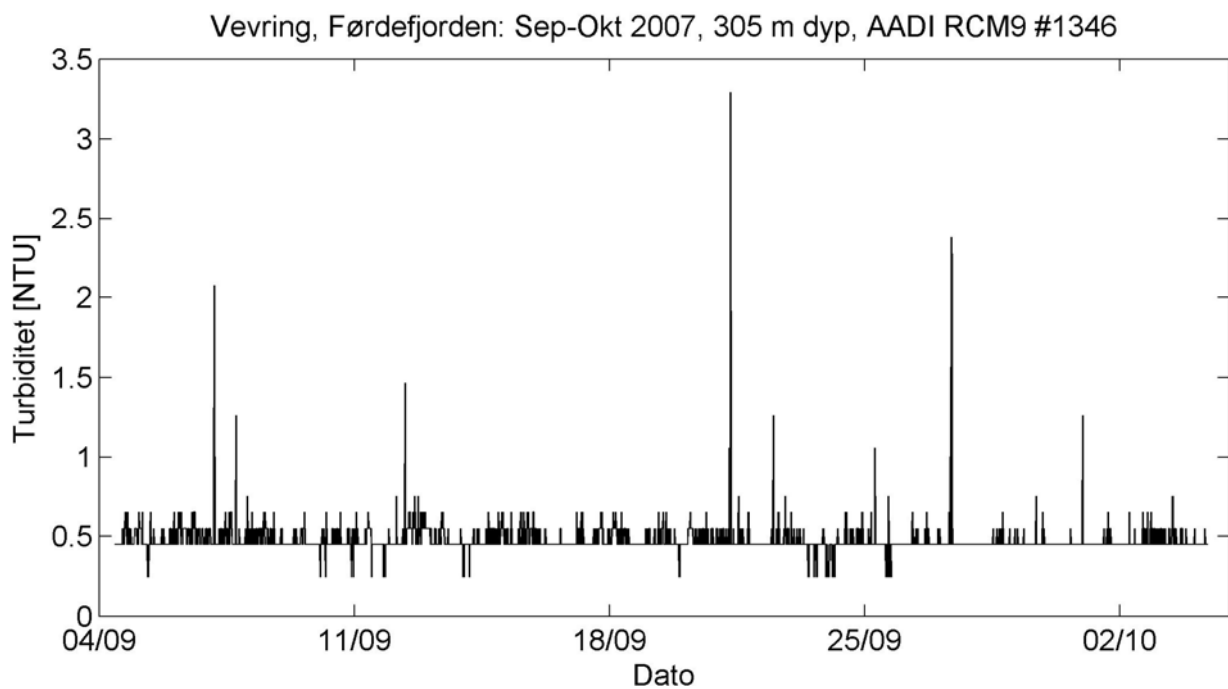
Merk at høye enkeltverdier som ses i plottene både fra de riggmonterte instrumentene og profilmålingene med sonde sannsynligvis skyldes større enkeltpartikler og ikke spesielle episoder med generelt høyere partikkelinnhold.

Tabell 4. Statistiske verdier fra turbiditetsmålingene.

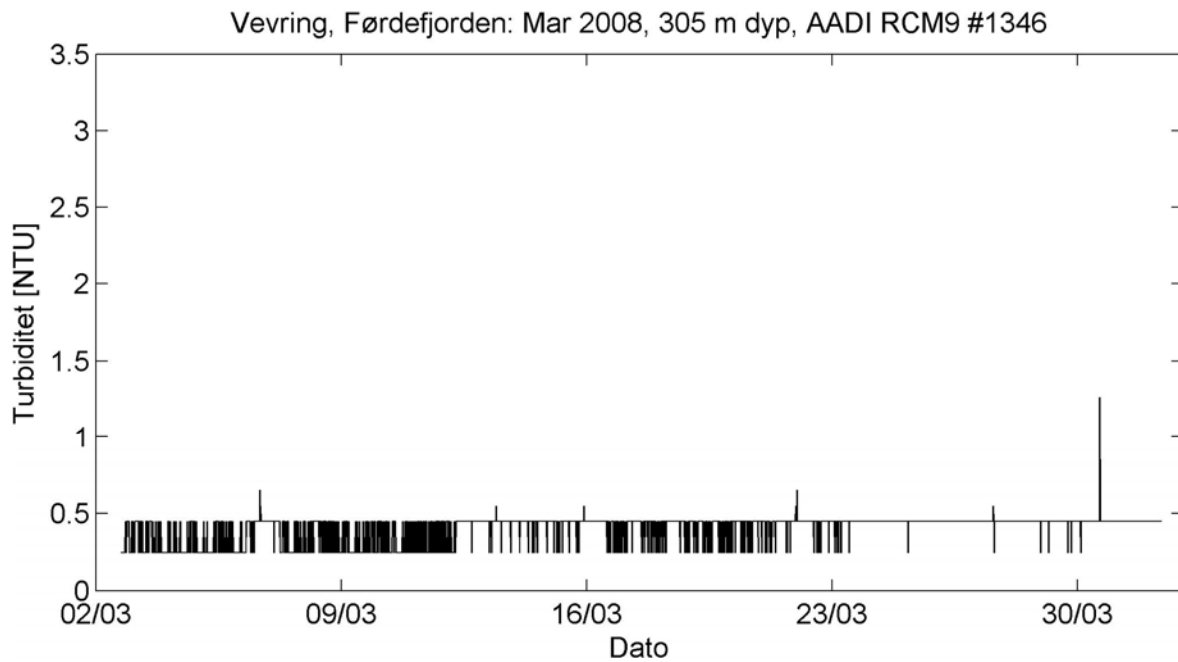
Periode 1: 04.09-04.10.2007				
Måledyp [m]	Instrument ID	Minimum	Middel	Maksimum
335 m	RCM9 # 225	0,0	0,30	23,8
305 m	RCM9 # 1346	0,25	0,47	3,29
Periode 2: 02.03-01.04.2008				
Måledyp [m]	Instrument ID	Minimum	Middel	Maksimum
305 m	RCM9 # 1346	0,25	0,40	1,26
Periode 3: 30.04-30.05.2008				
Måledyp [m]	Instrument ID	Minimum	Middel	Maksimum
305 m	RCM9 # 1346	0,25	0,47	27,9



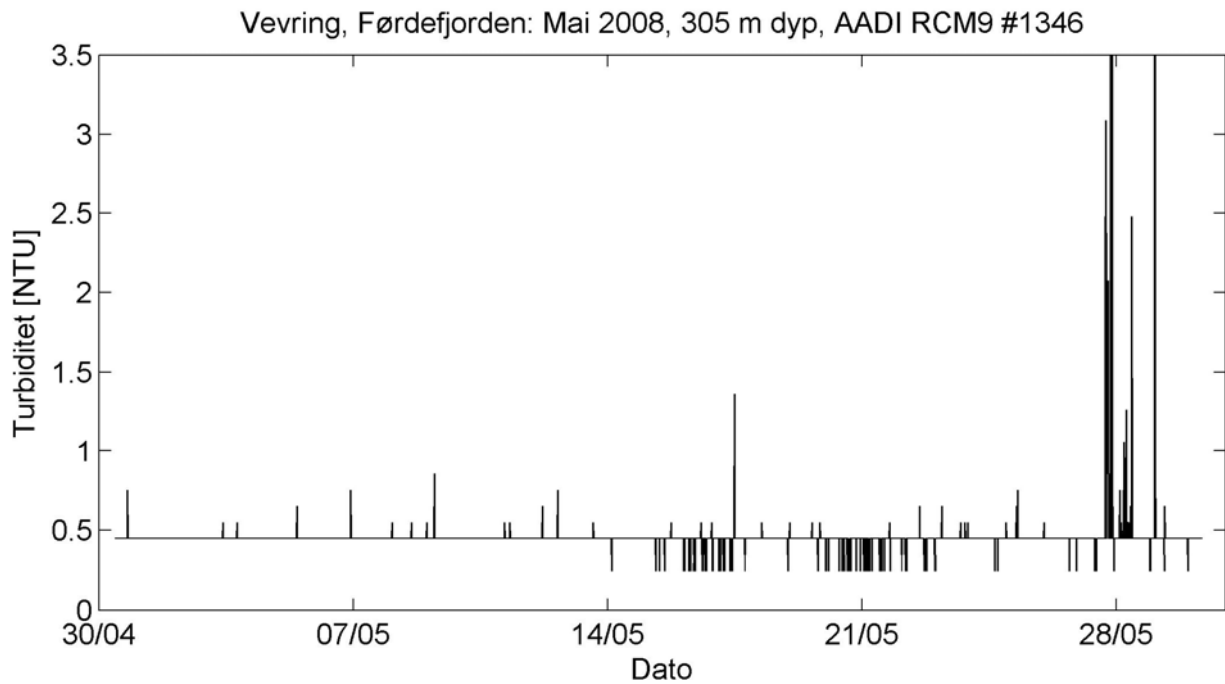
Figur 3. Turbiditet i 335 m dyp fra måleserien i september-oktober 2007. Merk at enkelte målinger er høyere enn maksimalverdien på y-aksen.



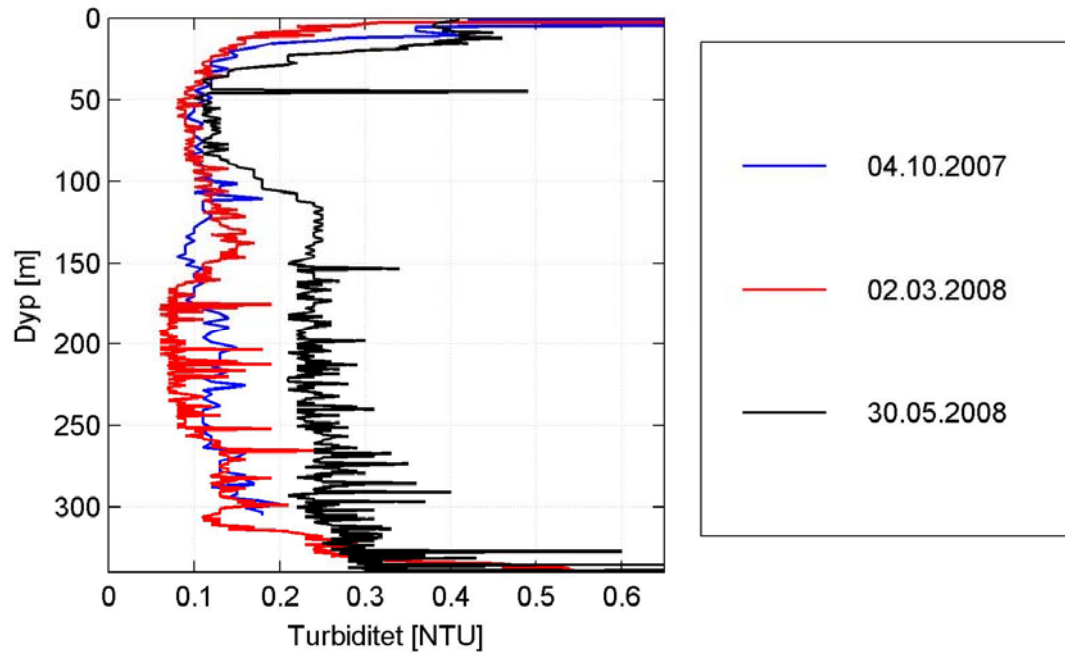
Figur 4. Turbiditet i 305 m dyp fra måleserien i september-oktober 2007.



Figur 5. Turbiditet i 305 m dyp fra måleserien i mars 2008.



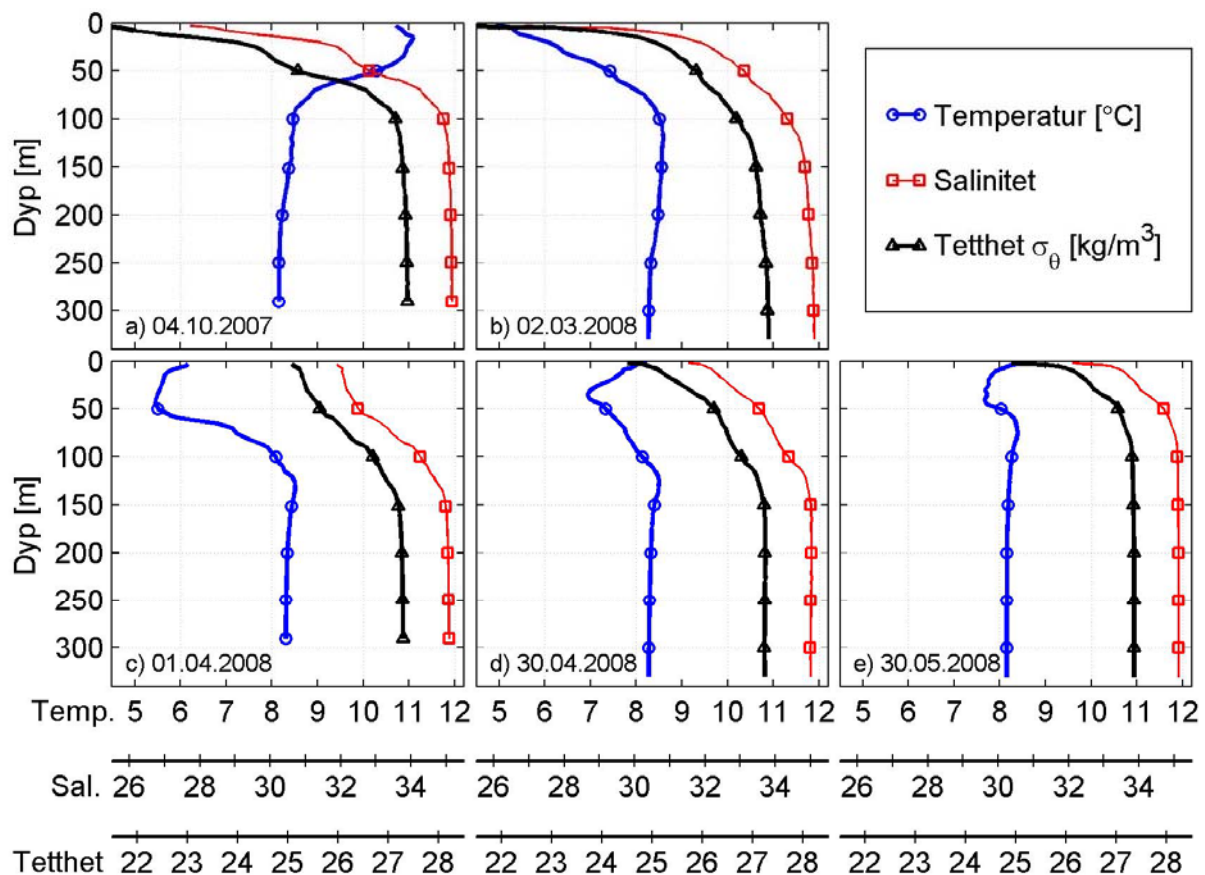
Figur 6. Turbiditet i 305 m dyp fra måleserien i mai 2008. Merk at enkelte målinger er høyere enn maksimalverdien på y-aksen.



Figur 7. Turbiditetsprofiler fra tre måletidspunkt.

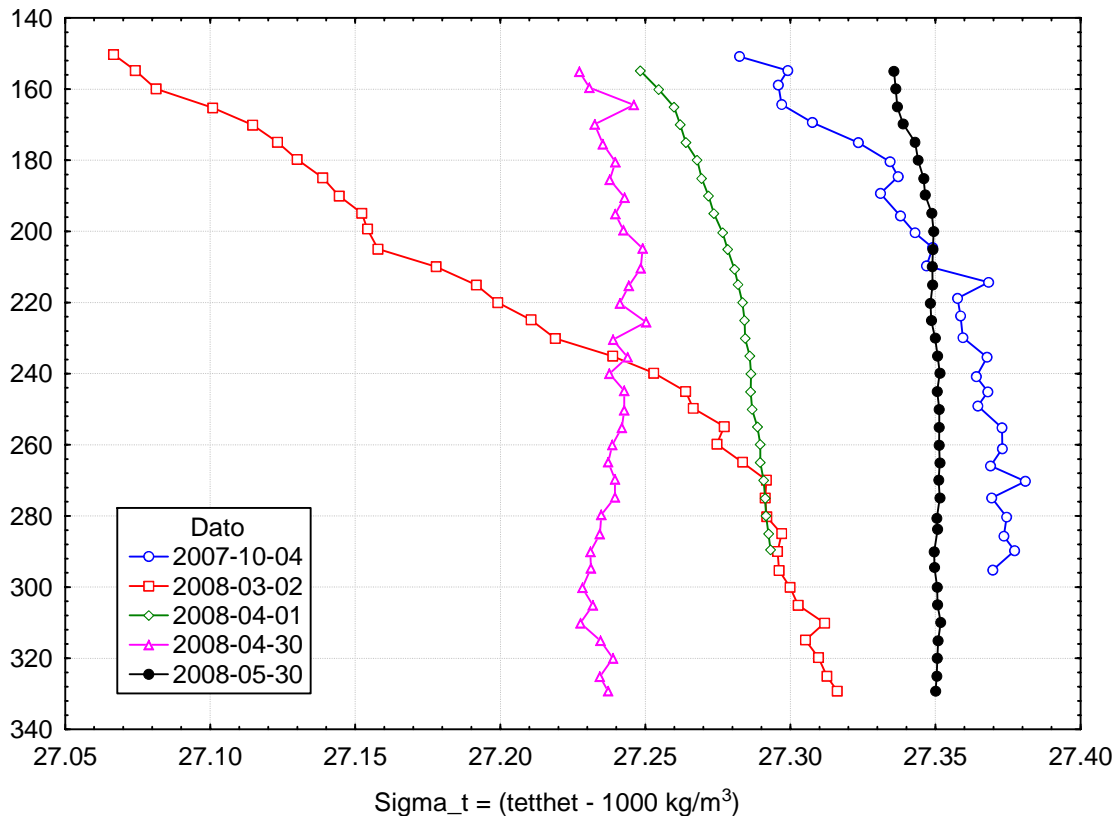
3.3 Hydrografi: saltholdighet og temperatur

Profiler med saltholdighet, temperatur og resulterende tetthet fra de fem måletidspunktene er vist i Figur 8. I oktober 2007 var overflatevannet relativt varmt. Overflatelaget inneholdt mye ferskvann (altså lav saltholdighet). Temperaturen avtok og saltholdigheten økte mye ned til ca 100 m dyp, og det var derfor stor forskjell i tetthet mellom overflaten og dette dypet. Videre nedover var temperatur og saltholdighet ganske homogene, og det var bare en svak økning i tetthet med dypet ned mot bunn. I målingene fra mars 2008 var temperaturen mye lavere i de øvre 100 m. Det var også mindre ferskvann i denne profilen, med saltholdighet under 30 bare i de øvre 10 m. Fra ca 150 m og ned var det liten forskjell fra oktober, og spesielt fra 250 m dyp var profilene nærmest identiske. 01. april 2008 var det mer homogent forhold i de øvre 50 m. Dette skyldes tildels lite ferskvannstilførsel i systemet, og dermed liten tilførsel av stabilitet, og sannsynligvis også mye vind som effektivt blandet vannmassene i øvre del av vannsøylen. Igjen var det liten endring i temperatur og saltholdighet på større dyp. I slutten av april 2008 var gradientene igjen noe større i øvre lag. I slutten av mai 2008 var det ennå mindre ferskvann, og det var bare en moderat tetthetsøkning i de øverste 100 m.



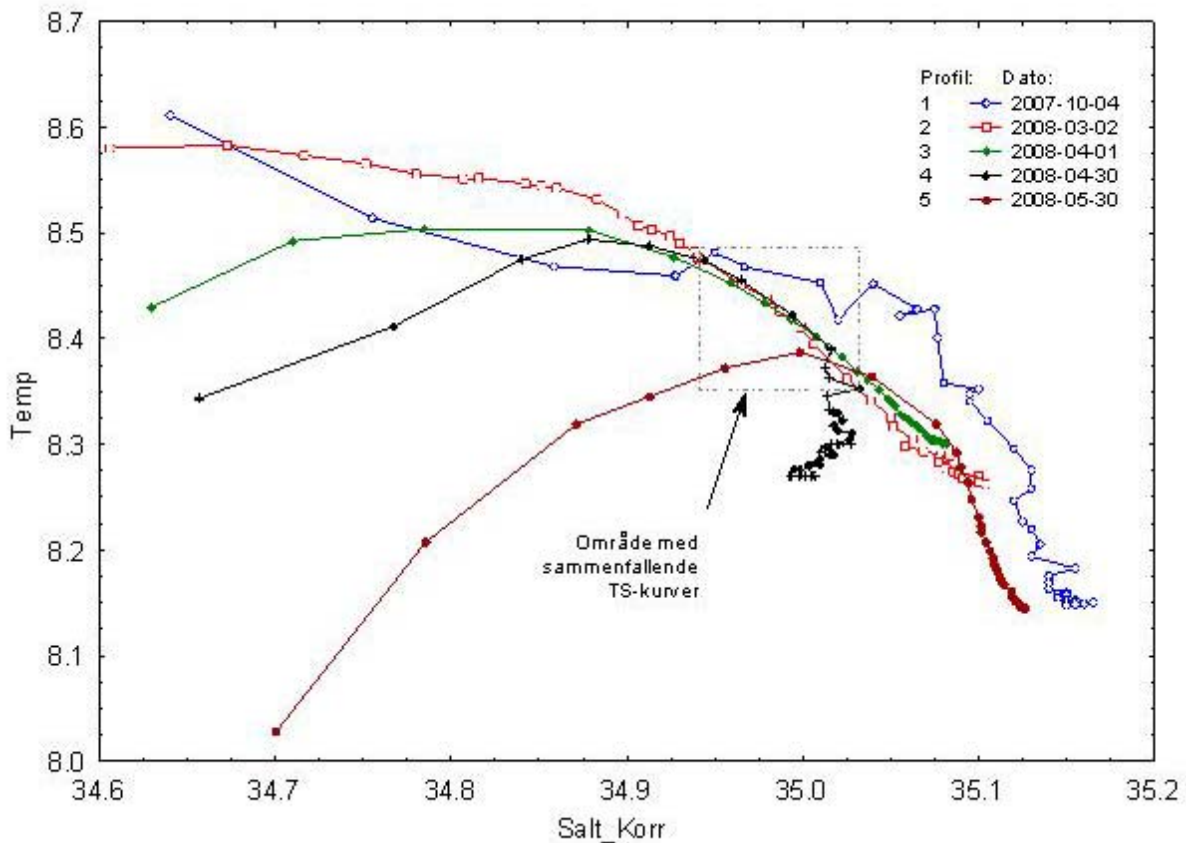
Figur 8. Temperatur, saltholdighet og tetthet fra fem måleprofiler sør for Vevring i Førdefjorden.

På dyp større enn 200 m er det ganske homogent sjøvann med saltholdighet omkring 35 og temperatur omkring 8, og med tetthet mellom 1027,15 og 1027,4 kg/m³. I de 5 dybdeprofilene som er målt fra oktober 2007 til slutten av mai 2008 øker tettheten med maksimalt 0,05 kg/m³ i de dypeste 100 m av hver profil, med unntak av ett tilfelle der tettheten øker med 0,10 kg/m³ i dette dybdeintervallet (Figur 9).



Figur 9. Tetthetsprofiler målt i Førdefjorden for dyp større enn 150 m.

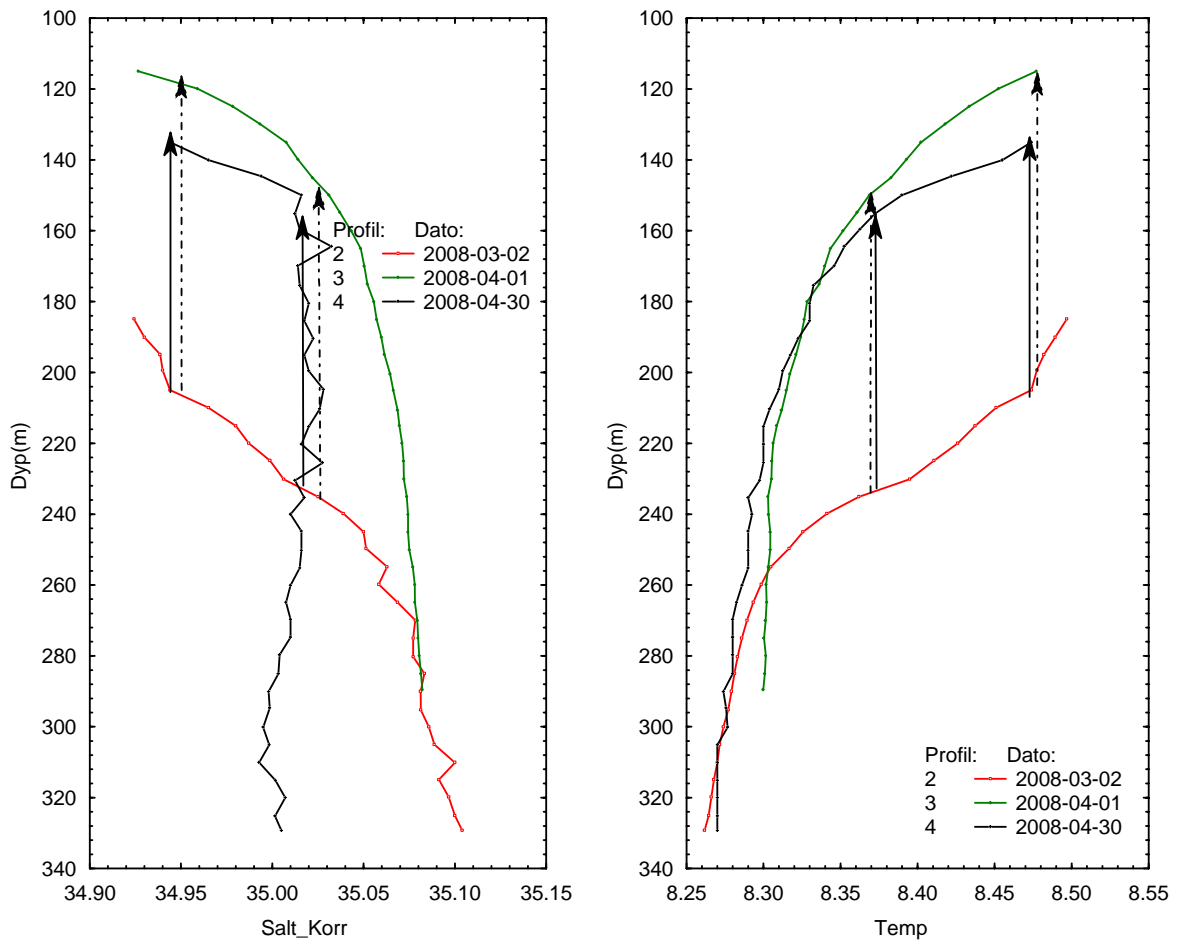
Selv om variasjonene er små på store dyp, kan de likevel si noe om vertikal blanding, og forflytning og utskiftning av vannmasser dersom instrumentene er nøyaktige og godt kalibrert, slik at målinger fra ulike tidspunkter kan sammenlignes. En måte å gjøre det på er å sammenligne kurver for temperatur som funksjon av saltholdighet (TS-kurver) i de dypeste vannlagene fra de forskjellige profilene. Dette er gjort i Figur 10. Vi fokuserer videre på de tre profilene som har størst sammenfall i TS-området med saltholdighet mellom 34,95 og 35,03 og temperatur mellom 8,35 og 8,45 °C (profil 2, 3 og 4). Figur 11 viser hvilke dybdeintervaller vannlaget med denne TS-variasjonen lå i ved de tre tidspunktene. I første profil (2. mars) lå dette vannet mellom 200 og 240 m dyp. To måneder senere, i profilen fra 30. april som ble målt med samme instrument, lå det samme laget mellom 140 og 160 m dyp, med helt lik samvariasjon mellom saltholdighet og temperatur. Det ser derfor ut som dette vannlaget er løftet opp med mellom 60 til 80 m i tidsrommet mellom profilene. Ved det mellomliggende tidspunktet (01. april) ser det ut til at vann med omtrent lik lagdeling har vært løftet enda høyere, med opptil 100 m. Merk at det er gjort en korreksjon av saltholdigheten på SAIV-instrumentet, som beskrevet i Kapittel 2.3.



Figur 10. TS-diagram som viser samvariasjon mellom målt temperatur og saltholdighet for dyplagene i de fem hydrografiprofilene. Profilene er midlet i 5-m dypintervaller og saltholdighet for SAIV-data korrigert som beskrevet i Kapittel 2.3.

Under 240 m dyp lå det 2. mars et lag med svakt økende saltholdighet og avtagende temperatur med dypet. Ved målingen 30. april fantes i stedet et ganske homogent dypvann fra 160 m og nedover, med saltholdighet omtrent som det en hadde tidligere på 240 m. Under 230 m dyp var saltholdigheten faktisk litt lavere, og selv om også temperaturen også avtok med dypet, var tettheten ved konstant trykk også litt avtagende med dyp, dvs. at vannet er tilsynelatende ustabil. Dette kan tyde på drift i måleinstrumentet, slik at en skal være forsiktig med å tolke detaljer og mindre avvik. Sammenligning av de to profilene kan likevel tyde på utskiftning av dette vannet med en annen vannmasse utenfra, med ganske homogen saltholdighet, men en viss lagdeling i temperatur. En ny profil fra 30. mai, målt med Seabird-instrumentet, viste at det nå var kommet inn kaldere og saltere vann i hele volumet under 100 meter, mens det på 60-80 m dyp var vann med omtrent samme temperatur- og saltholdighet som det som en måned tidligere lå i 150-120 m dyp. Disse endringen kan være resultat av horisontale utskiftninger av vann som svar på endringer i tetthetsfordeling i kystvannet utenfor Førdefjorden.

Instrumentene i instrumentriggene viste svært stabile verdier for saltholdighet og temperatur (ikke vist). Temperaturen i 335 m dyp lå i middel på 8,11 °C i september 2007, 8,28 °C i mars og 8,26 °C i mai 2008. I løpet av en måleperiode varierte temperaturen med maksimalt 0,3 °C. Saltholdigheten var også svært stabil innenfor hver enkelt måleperiode, med verdier like rundt 35,0 i begge måledyp.

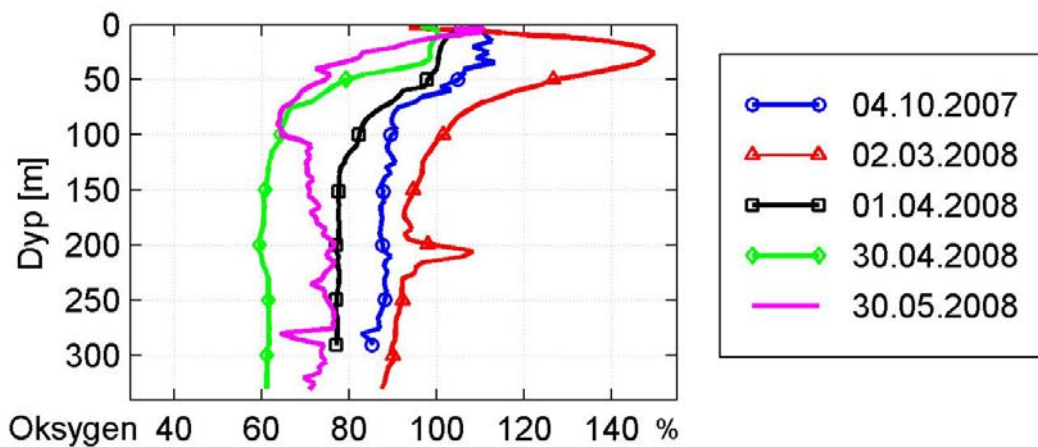


Figur 11. Vertikal beliggenhet i Førdefjorden av vann med samme saltholdighet (justert for SAIV som beskrevet i teksten) og temperatur ved ulike tidspunkt i mars-april 2008. Heltrukne piler antyder vertikal bevegelse av vannlag fra 2. mars til 30. april, mens de stiplede pilene angir tilsvarende fra 2. mars til 1. april (korrigert saltholdighet for profil 2 og 4).

3.4 Oksygen

Laboratorieanalyse av oksygenprøvene som ble tatt 04.09.2007 (2 parallelle flasker fra 325 m dyp) viste oksygeninnhold på henholdsvis 7,76 mg O₂/liter og 7,86 mg O₂/liter. Nærmeste sammenlignbare oksygenmåling gjort med sonde er fra profilen 04.10.2007. Her viste instrumentet 7,88 mg O₂/liter på 305 m som var største måledyp for denne profilen. Sondemålingen viste altså svært likt oksygeninnhold som vannprøven som ble tatt en måned tidligere. Disse verdiene tilsvarer en oksygenmetning på ca 85 %, som er høyt for såpass stort dyp.

Profiler av oksygenmetning fra de fem siste måletidspunktene er vist i Figur 12. Som nevnt i Kapittel 2.3 er oksygenverdiene fra disse profilerende sondene indikative for relative forskjeller nedover i vannsøylen, og gir ikke sammenlignbare absoluttverdier fra gang til gang. Profilene kan derfor ikke tolkes inngående, utover at de viser tilfredsstillende oksygeninnhold i hele vannsøylen, på alle måletidspunkt.



Figur 12. Oksygenmetningsprofiler fra stasjon sør for Vevring, Førdefjorden, på fem måletidspunkt 2007-2008.

4. Diskusjon

Den delen av Førdefjorden måleprogrammet har fokusert på har en relativt åpen og dyp forbindelse med kysten utenfor. Ved Vevring er bunndypet omlag 340 m, og grunneste passasje like utenfor er på ca 300 m. Strømmålingene viste at det kan være ganske varierende strømforhold også på dyp større enn 300 m. Selv om vekslende tidevannsstrøm er det dominerende signalet i målingene, er det også karakteristiske forskjeller mellom de ulike periodene. For eksempel var det nettostrøm rettet ut fra dypbassenget i mars, mens det var en klar strøm inn fjorden i mai 2008. Dette skyldes endringer i hydrografiske forhold i kystvannet utenfor fjorden. Slike endringer kan i løpet av en årssyklus gjøre at vannet inne i fjordbassenget i perioder er lettere enn vannet utenfor. Bassengvannet vil da erstattes av "nytt" vann utenfra. Vannet som fortreges kan da finne et nytt likevektsdyp inne i fjorden, men vil gjerne samtidig i større eller mindre grad strømme ut av fjorden i et høyere dybdeintervall.

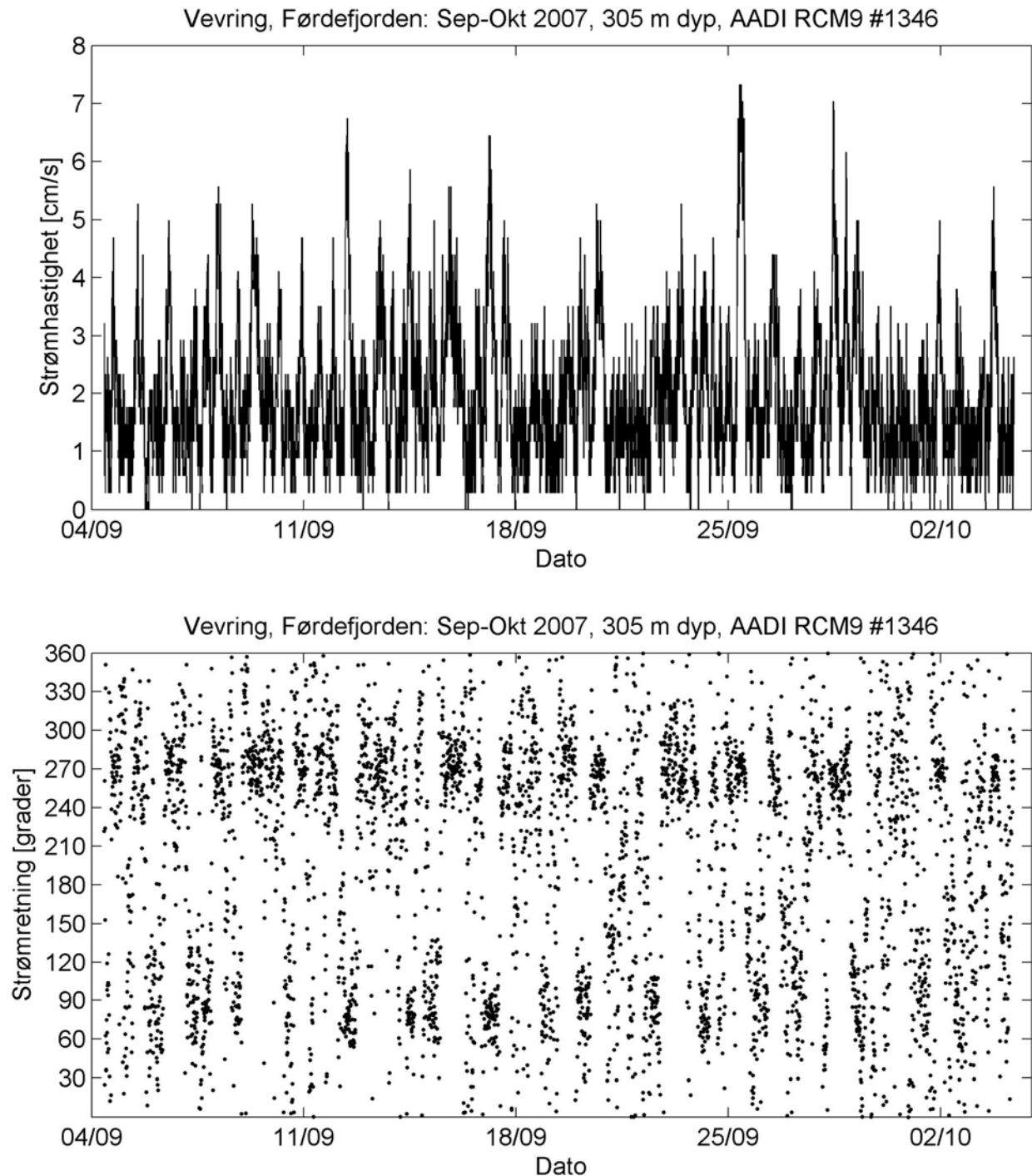
Også i hydrografidataene ser det ut til at en slik vannutskiftning har funnet sted. Vann fra de dypere lagene har blitt forflyttet oppover i vannsøylen, muligens med så mye som 100 m eller mer. For eksempel var det i begynnelsen av april vann med samme karakteristikk i drøyt 100 m dyp som det som tidligere lå i ca 200 m dyp. Turbiditeten i dypvannet økte også noe i denne perioden om våren, også i dyp opp til 100 m.

Siden det ikke er grunne terskler som begrenser vannutskiftningen til denne delen av Førdefjorden kan slik vannutskiftning forekomme flere ganger i året og i ulike årstider. Dette avhenger både av vindforhold, elvetilførsler og vertikale blandingsprosesser inne i fjorden, og av endringer i tettheten i kystvannet utenfor.

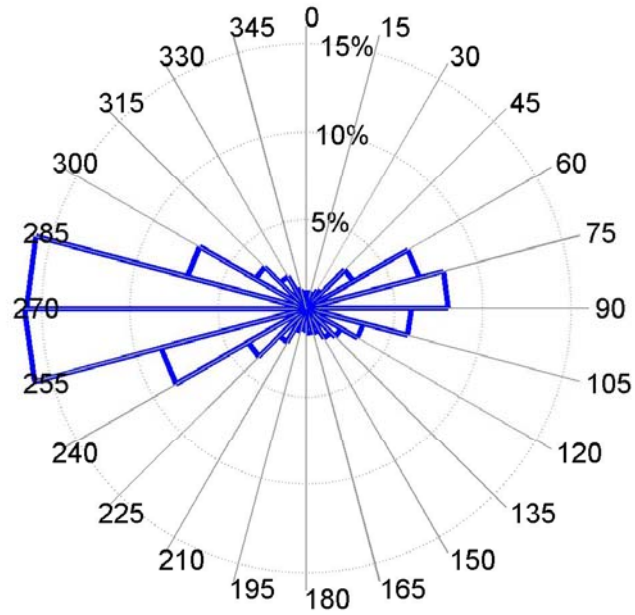
Til sammen gir det foreliggende datamaterialet et godt bilde på strøm-, turbiditets- og hydrografiforholdene i den dype delen av fjordbassenget, og hvordan disse kan variere gjennom ulike årstider. Til tross for at det er stabile temperatur- og saltholdighetsforhold i dypbassenget kan dette karakteriseres som godt ventilert, med moderate men signifikante strømhastigheter som deler av året kan gi effektiv utskiftning av de dypeste vannmassene. Måleprogrammet dekker bare tre månedsperioder i ulike årstider. Det må forventes at variasjon i dynamikken også utover det som målingene har vist kan finne sted, for eksempel i forbindelse med svært sterke vindepisoder eller ekstrem nedbør og snøsmelting. Det er imidlertid ikke grunn til å tro at slike episoder knyttet til overflatelaget vil gi store, raske endringer i dypvannsdynamikken.

Vedlegg A. Plott av strømmålinger

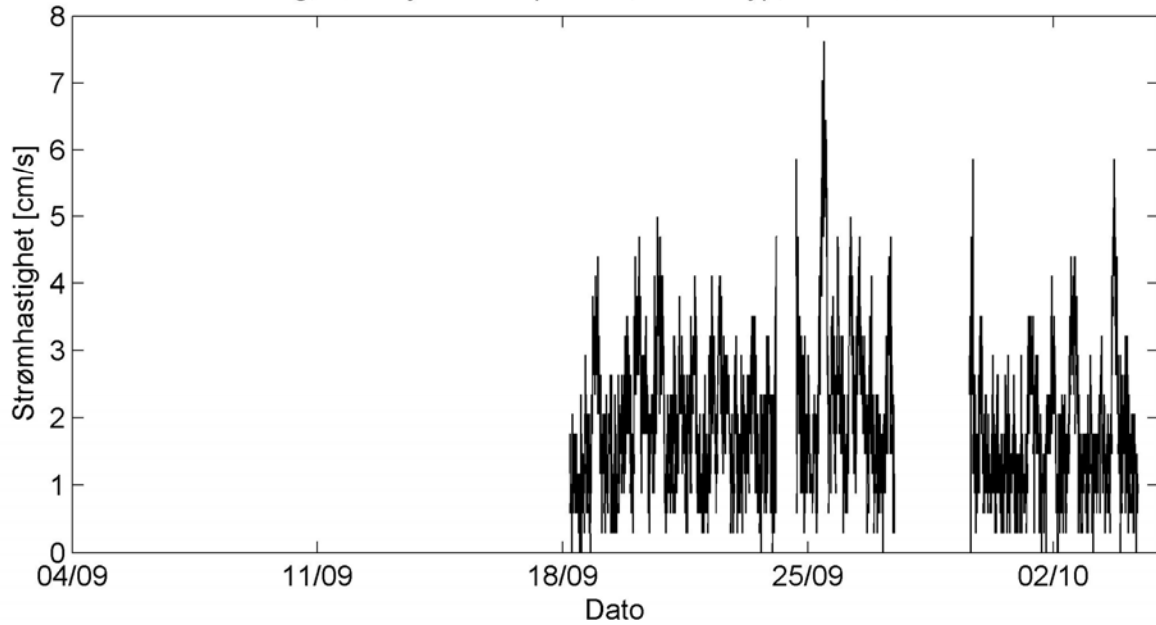
Plott av strømhastighet, -retning og resulterende fluksroser (retningsfordeling av volumtransporten) er vist for begge målerne, for de tre periodene.

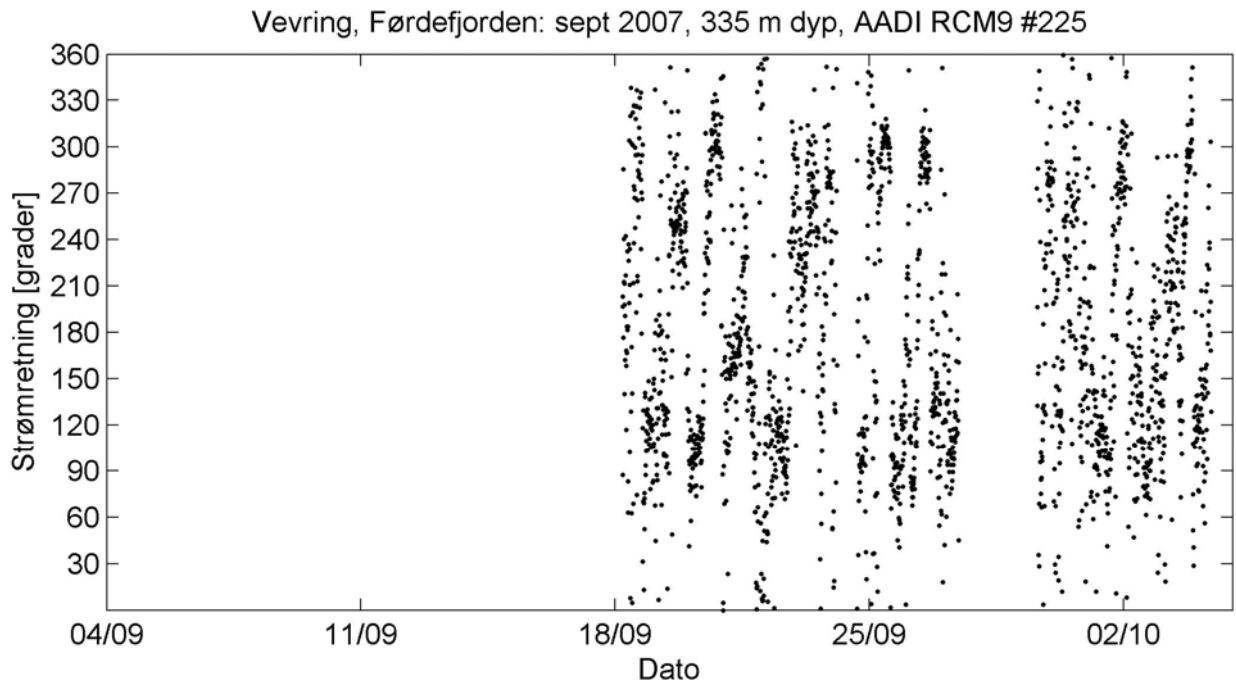


Vevring, Førdefjorden: Sep-Okt 2007, 305 m dyp, AADI RCM9 #1346

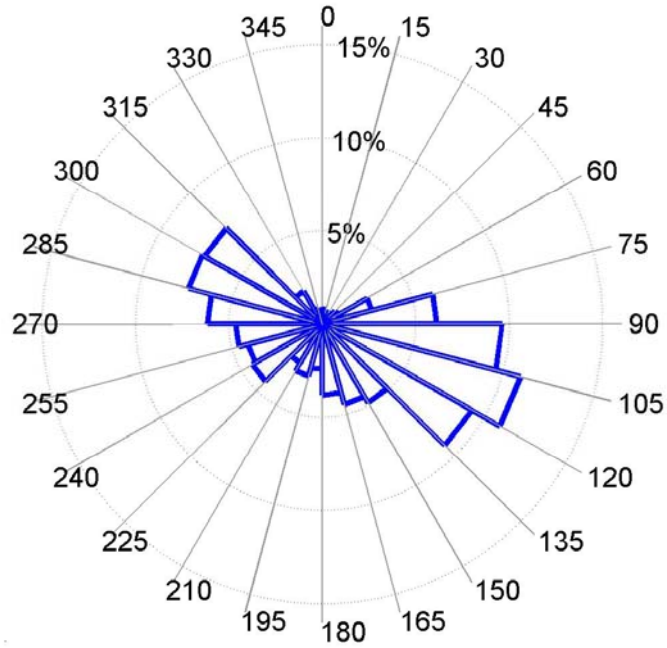


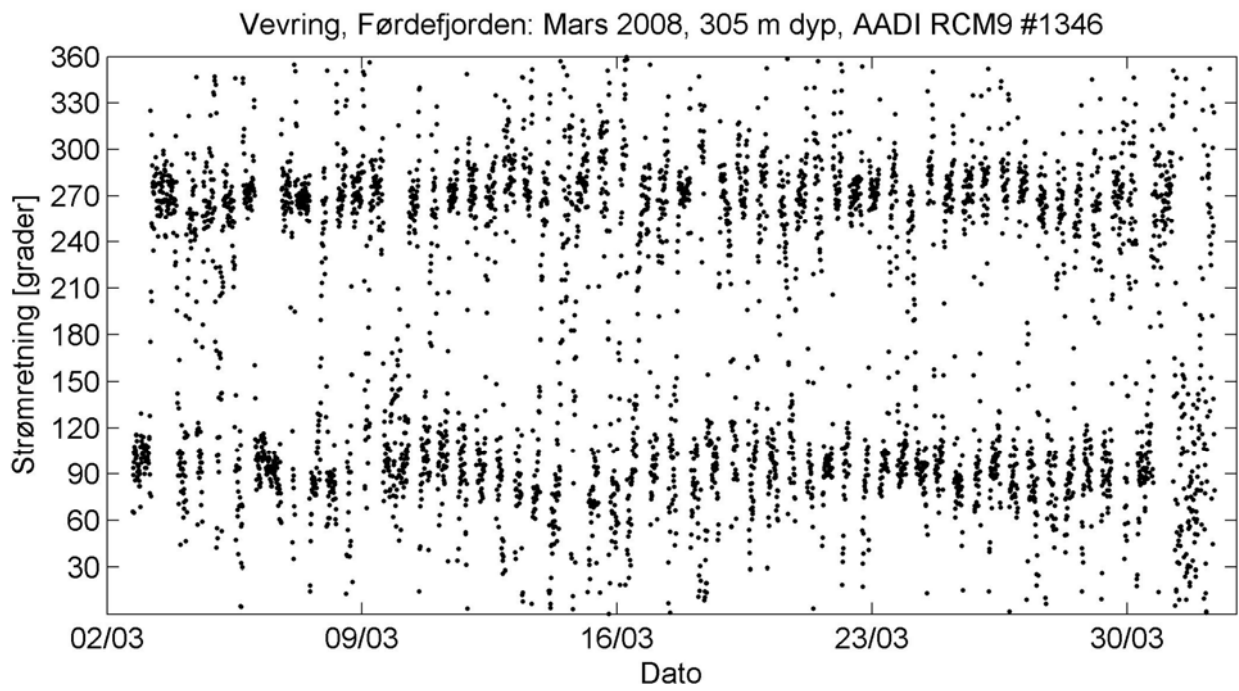
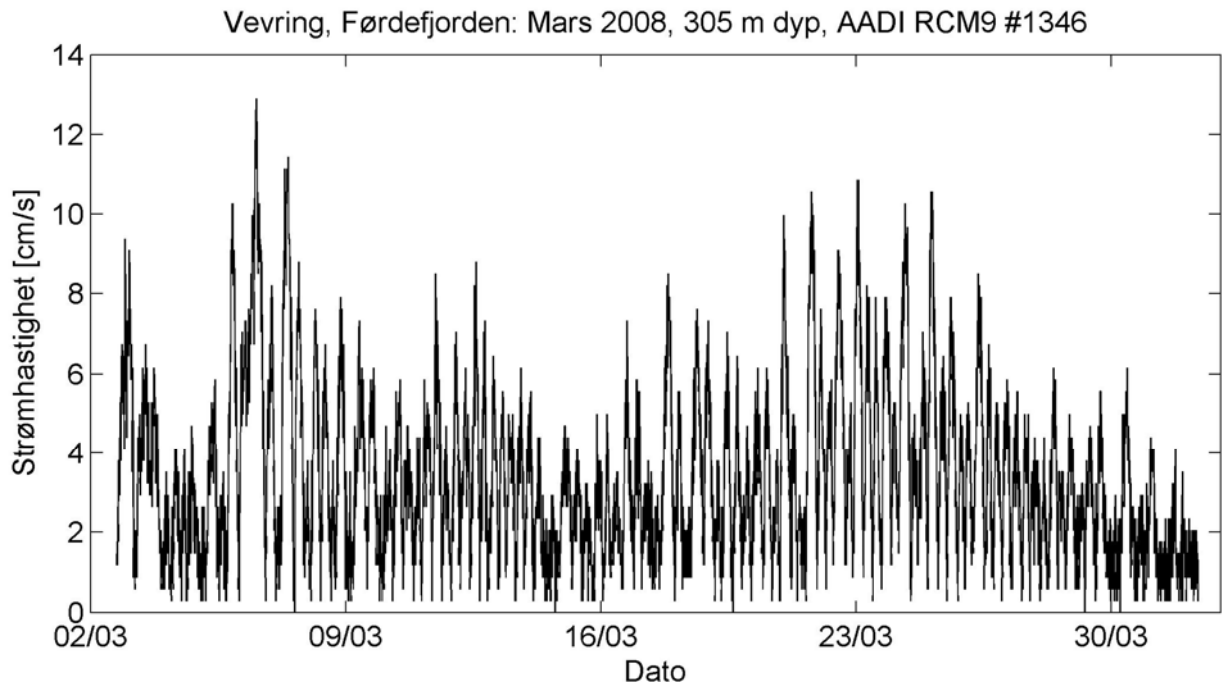
Vevring, Førdefjorden: sept 2007, 335 m dyp, AADI RCM9 #225



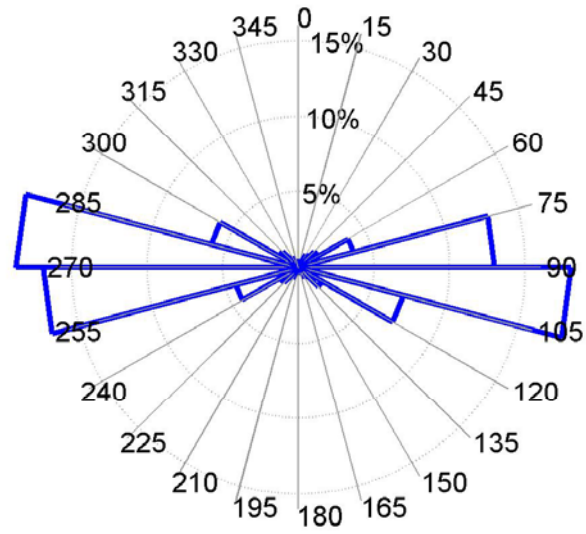


Vevring, Førdefjorden: Sep-Okt 2007, 335 m dyp, AADI RCM11 #255

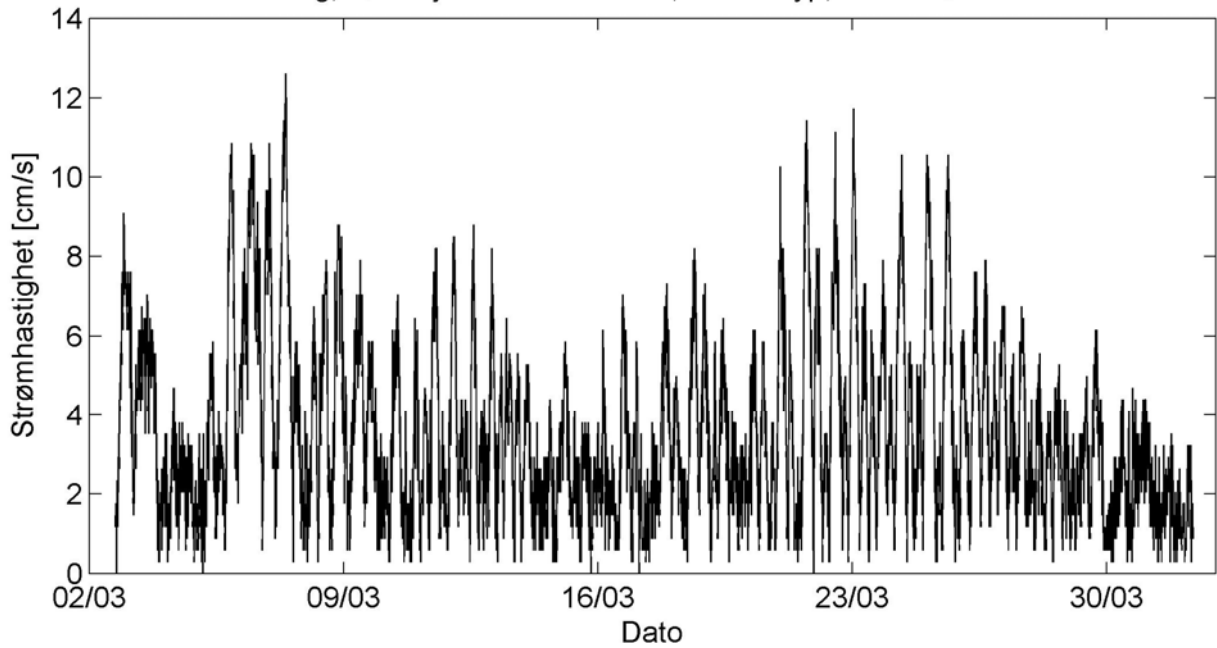


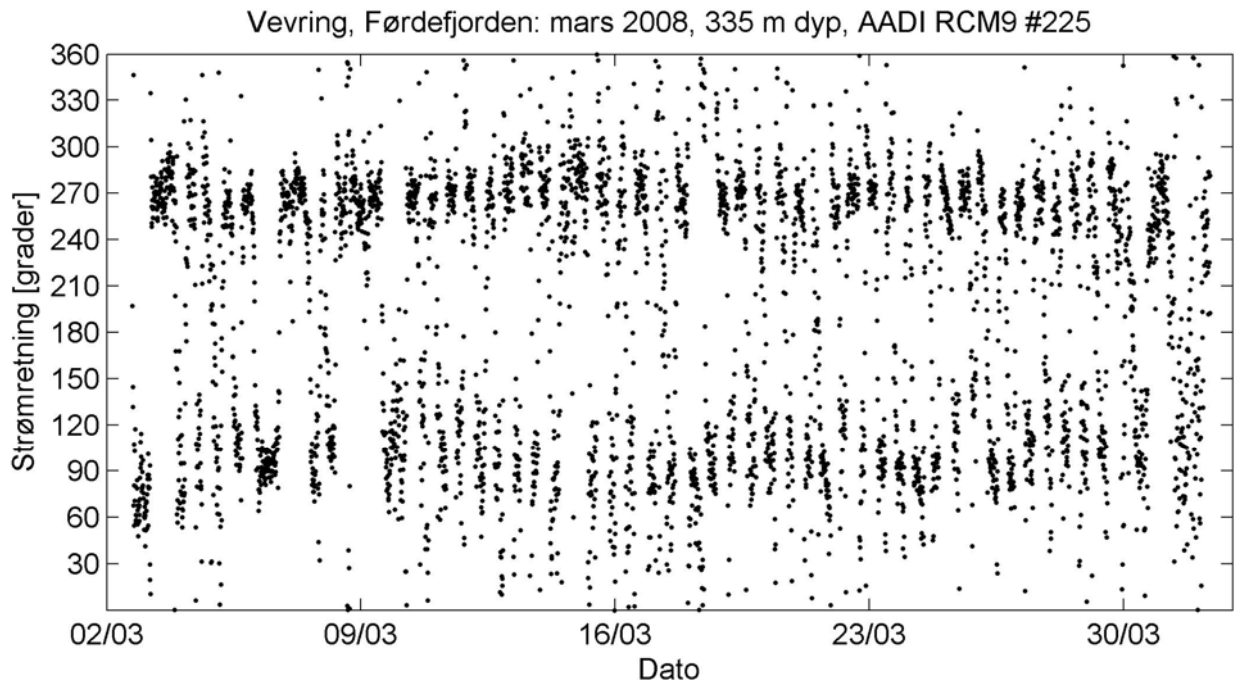


Vevring, Førdefjorden: Mars 2008, 305 m dyp, AADI RCM9 #1346

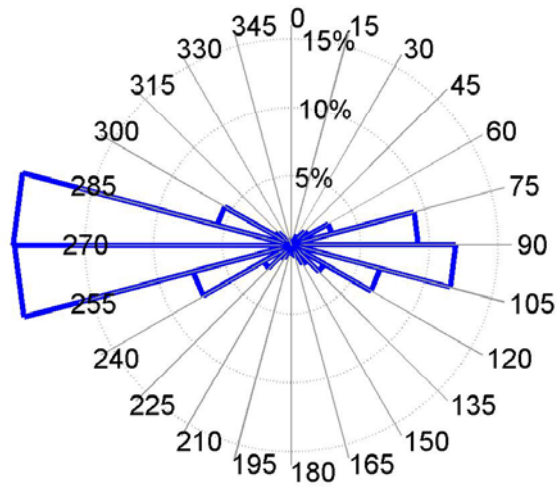


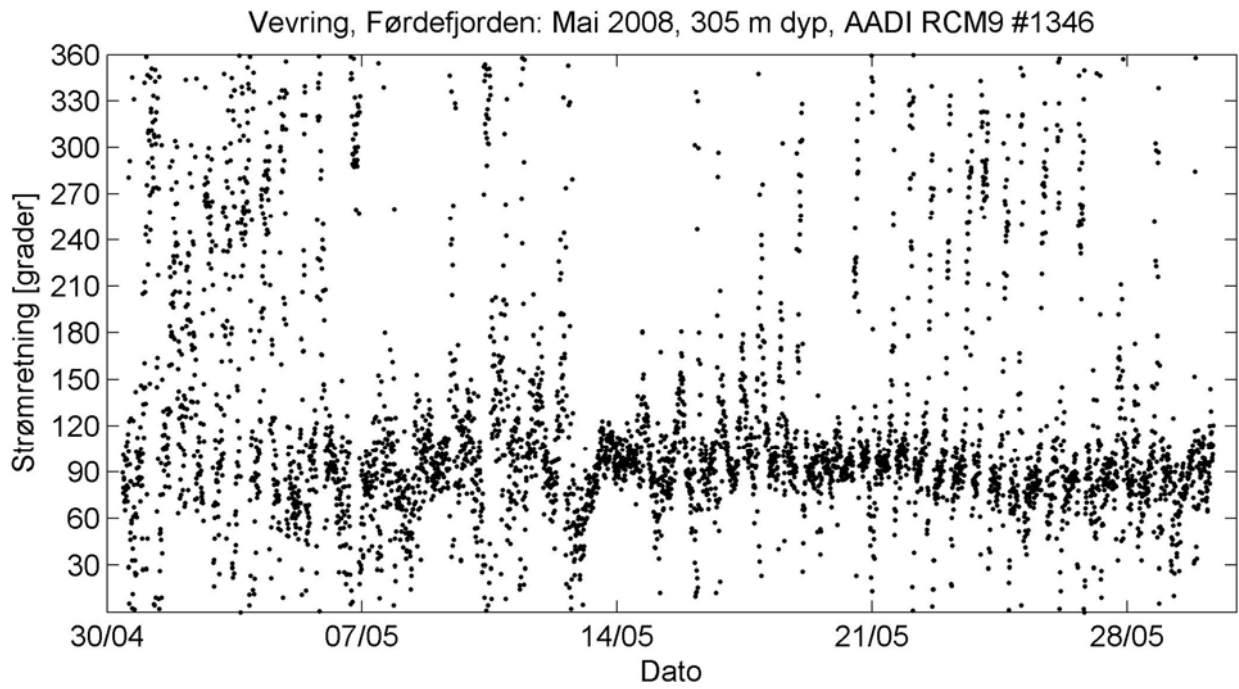
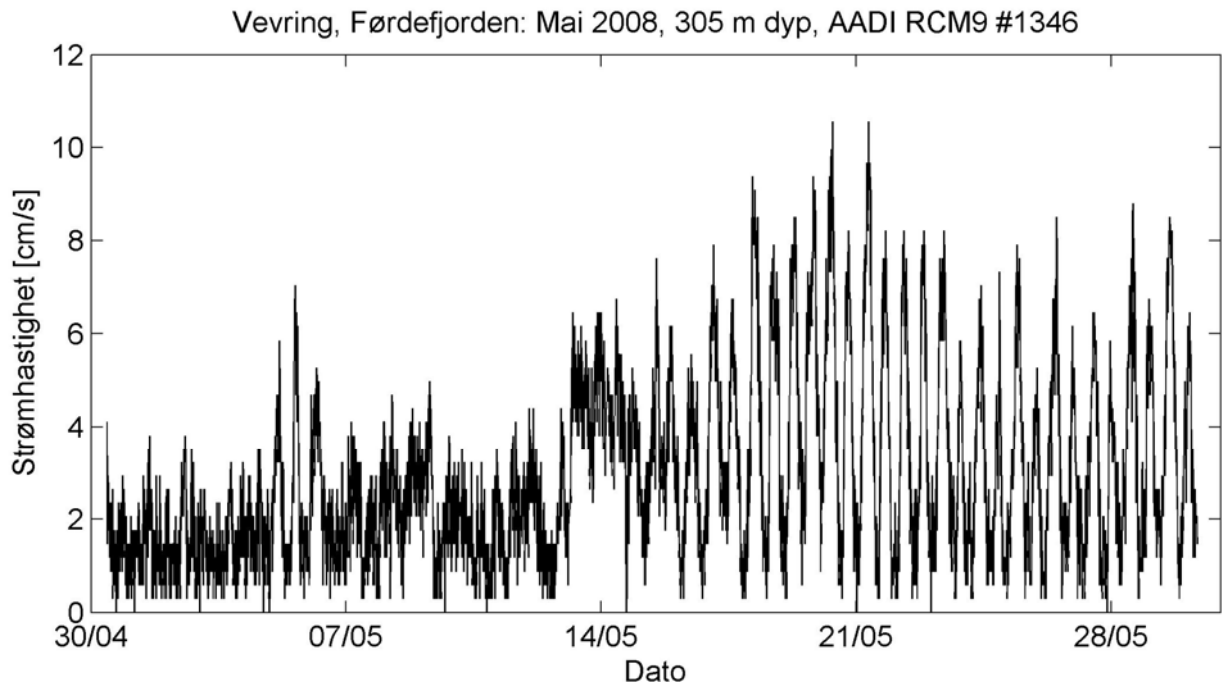
Vevring, Førdefjorden: mars 2008, 335 m dyp, AADI RCM9 #225



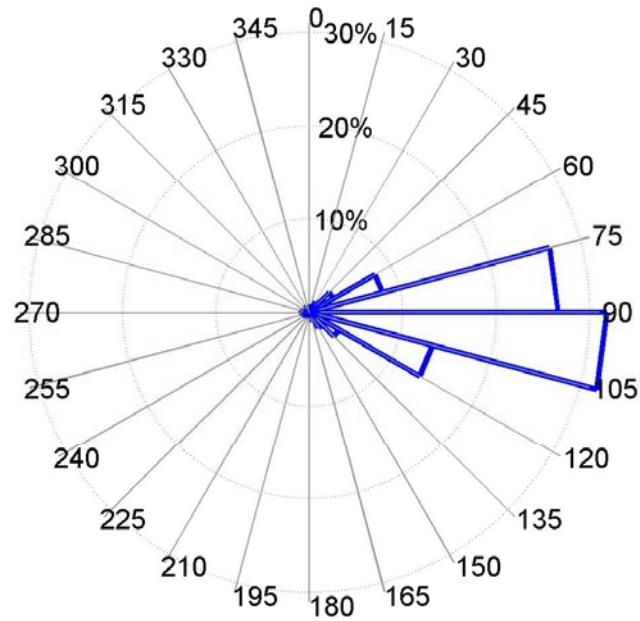


Vevring, Førdefjorden: mars 2008, 335 m dyp, AADI RCM9 #225



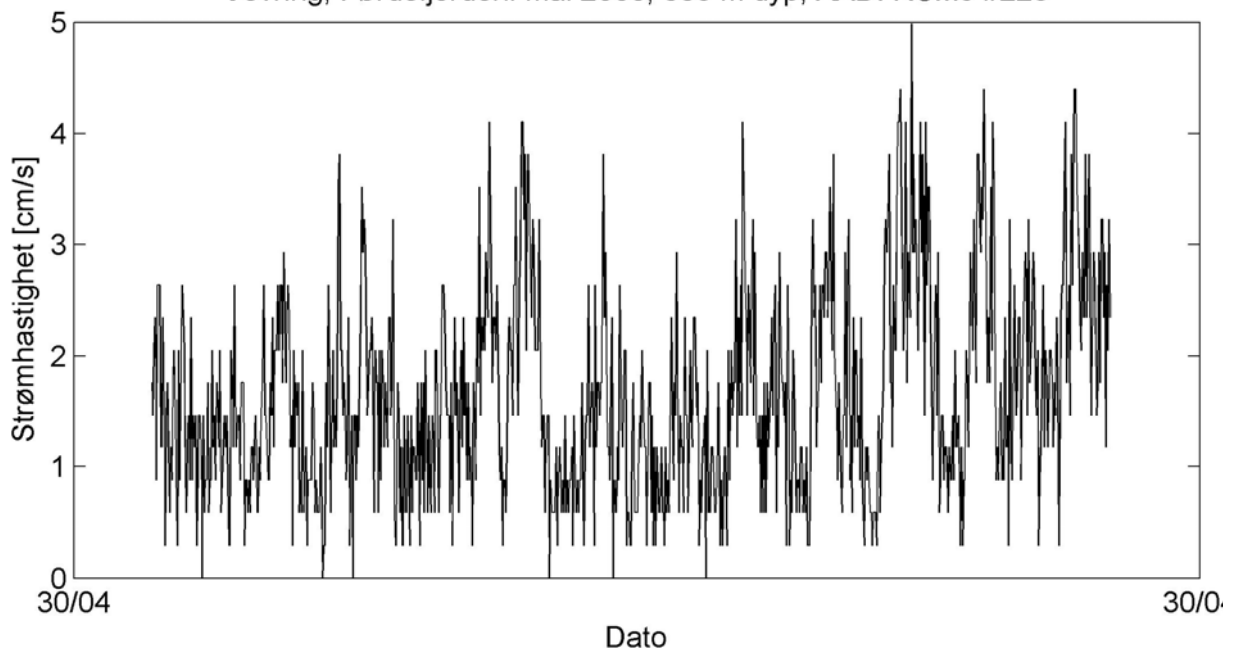


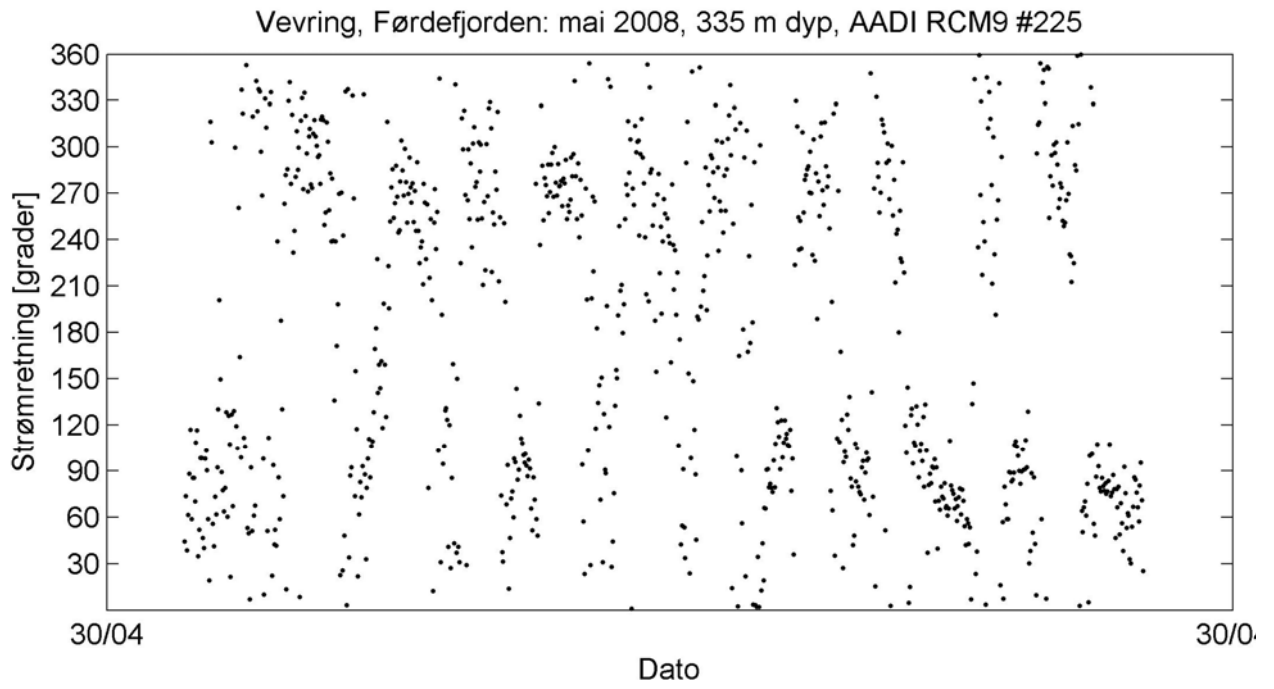
Vevring, Førdefjorden: Mai 2008, 305 m dyp, AADI RCM9 #1346



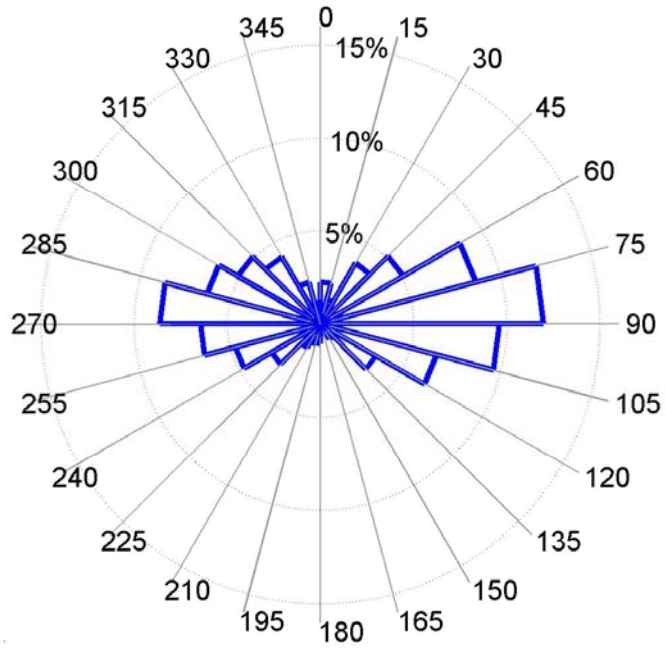
Merk at skalaen her er forskjellig fra de andre fluksrosene.

Vevring, Førdefjorden: mai 2008, 335 m dyp, AADI RCM9 #225





Vevring, Førdefjorden: mai 2008, 335 m dyp, AADI RCM9 #225



NIVA: Norges ledende kompetansesenter på vannmiljø

NIVA gir offentlig vannforvaltning, næringsliv og allmennheten grunnlag for god vannforvaltning gjennom oppdragsbasert forsknings-, utrednings- og utviklingsarbeid. NIVA kjennetegnes ved stor faglig bredde og godt kontaktnett til fagmiljøer i inn- og utland. Faglig tyngde, tverrfaglig arbeidsform og en helhetlig tilnæringsmåte er vårt grunnlag for å være en god rådgiver for forvaltning og samfunnsliv.



Norsk institutt for vannforskning

Gaustadalléen 21 • 0349 Oslo
Telefon: 02348 • Faks: 22 18 52 00
www.niva.no • post@niva.no